

Kraftfahrzeug-Technologie

Das Autorenteam:

Hans-Dieter Döringer, OStR in Groß-Gerau

Harald Ehrhardt, StR in Groß-Gerau

Dipl.-Ing. Karl Manfred Erhardt, OStR in Stuttgart

Anton Herner, BMW AG München

Friedrich Kneip, StD in Gerolstein

Egbert H. Stein, StD in Gelsenkirchen

Dipl.-Ing. Reinhard Stolze, Berufsschullehrer in Erfurt

Helmut Strater, OStR in Duisburg

Reinhard Tomala, StR in Hannover

Mitarbeit: Franz Wacker, OStR in Dingolfing

3., aktualisierte und erweiterte Auflage

Verlag Handwerk und Technik Hamburg
Holland + Josenhans Verlag Stuttgart

Dieses Werk folgt der reformierten Rechtschreibung und Zeichensetzung.

Der Kfz-Technologie wurden die bei Manuskriptabschluss vorliegenden neuesten Ausgaben der DIN-Normen und der gesetzlichen Vorschriften zugrunde gelegt. Die Auswahl ist auf die Erfordernisse in Schule und Praxis zugeschnitten. Verbindlich sind jedoch nur die DIN-Blätter und die gesetzlichen Vorschriften selbst. Die DIN-Blätter können vom Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, bezogen werden.

3., aktualisierte und erweiterte Auflage 2006

Alle Rechte vorbehalten, das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Hinweis zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Dieses Buch ist auf Papier gedruckt, das aus 100 % chlorfrei gebleichten Faserstoffen hergestellt wurde.

© Handwerk und Technik GmbH, Postfach 63 05 00, 22331 Hamburg, Tel.: 040/5 38 08-134,
Fax: 040/5 38 08-101, E-Mail: info@handwerk-technik.de, Internet: www.handwerk-technik.de

© Holland + Josenhans GmbH & Co., Postfach 10 23 52, 70019 Stuttgart, Tel.: 0711/6 14 39 20,
Fax: 0711 / 6 14 39 22, E-Mail: verlag@huj.03.net, Internet: www.holland-josenhans.de

Projektleitung und Redaktion: Medienwerk Hanne Lier, Stuttgart

Zeichnungen: Grafische Produktionen Neumann, Rimpar

Layout und Satz: BUERO CAÏRO, Stuttgart

Umschlagabbildung: ID Image Direkt CD-ROM GmbH, Maintal-Dörnigheim

Druck und Bindung: Stürtz GmbH, Würzburg

ISBN-13: 978-3-7782-3800-4 (Holland + Josenhans); 978-3-582-03800-5 (Handwerk und Technik)

ISBN-10: 3-7782-3800-0 (Holland + Josenhans); 3-582-03800-9 (Handwerk und Technik)

Vorwort

Auf der Grundlage einer sachlogischen Gliederung bietet dieses Werk einen umfassenden und aktuellen Überblick über alle Inhalte der Kfz-Technologie. Den Zusammenhang zwischen dieser Gliederung und dem lernfeldorientierten Lehrplan bietet unser „Lernfeldkompass“ in der hinteren Umschlaginnenseite.

Drei wesentliche Punkte dienten Autoren und Verlag bei der Entwicklung:

Systemisches Denken:

Die inhaltliche Gliederung unterstützt den Gedanken vom Kraftfahrzeug als komplexem System. Funktionszusammenhänge zwischen verschiedenen Systemen werden deutlich dargestellt. Ein Netz von Querverweisen ermöglicht dem Nutzer das Nachvollziehen dieser Zusammenhänge. Auch Struktogramme und die tabellarische Darstellung von Inhalten sind optisch leicht erfassbar und bilden Zusammenhänge übersichtlich ab.

Moderne Aufbereitung:

Die Kraftfahrzeug-Technologie bietet ein klares, modernes Layout, dessen Farbleitsystem durch sieben Bereiche führt. Unterstützt werden sowohl das selbstständige Lernen als auch der Unterricht durch die Zeichnungen in einheitlichem, klarem und modernem Stil und die enge Zuordnung von Text und Bild.

Übergreifendes Lernen:

Die Kraftfahrzeug-Technologie orientiert sich an den didaktischen Anforderungen des Lernens in Lernfeldern. Der Bezug zur Werkstattpraxis ist überall dort hergestellt, wo konkrete Hinweise oder Vorschriften sinnvoll eingebunden werden können. Die Inhalte sind – wo es sich anbietet – mathematisiert und unterstützen einen fächerübergreifenden Unterricht. Aufgaben und Arbeitsaufträge aktivieren den Nutzer durch ihre projekt- und handlungsorientierte Formulierung.

Die Randspalte bietet mehrere Besonderheiten, die die Arbeit mit diesem Buch erleichtern:

- Querverweise leiten direkt auf die Seite, auf der ein Fachbegriff näher erläutert wird.
- Definitionen, Übersetzungen, Formeln oder weiterreichende kurze Erklärungen bieten zusätzliche Informationen.
- Symbole warnen vor besonderen Gefahren in der Werkstattpraxis.

Die nun vorliegende, komplett überarbeitete und erweiterte 3. Auflage bietet hauptsächlich folgende Neuerungen:

- Die GRUNDLAGEN wurden neu strukturiert, aktualisiert und an die lernfeldorientierten Lehrpläne angepasst.
- Der Bereich MOTOR wurde überarbeitet und aktualisiert (schwerpunktmäßig in den Kapiteln Gemischaufbereitung, Abgassysteme, Kühl- und Schmiersysteme).
- Der Bereich BREMSSEN wurde aktualisiert.
- Die ELEKTRISCHEN UND ELEKTRONISCHEN SYSTEME, insbesondere die Bussysteme, wurden komplett ergänzt und modernisiert.

Verlag und Autoren sind für Hinweise und Verbesserungsvorschläge jederzeit dankbar.

1	Service in der Kfz-Werkstatt	S. 12	2	Grundlagen der Fertigung	S. 34
1.1	Anforderungen an eine moderne Werkstatt und ihre Mitarbeiter	S. 12	2.1	Werkstoffeigenschaften	S. 34
1.1.1	Anforderungen der Kunden	S. 12	2.1.1	Physikalische Eigenschaften	S. 34
1.1.2	Anforderungen der Werkstatt an die Mitarbeiter	S. 12	2.1.2	Chemische Eigenschaften	S. 37
1.2	Aufbau- und Ablauforganisation eines Kfz-Betriebes	S. 13	2.1.3	Technologische Eigenschaften	S. 38
1.2.1	Qualitätssicherung	S. 13	2.2	Aufbau der Werkstoffe	S. 39
1.2.2	Aufbauorganisation	S. 13	2.2.1	Eisenmetalle	S. 39
1.2.3	Ablauforganisation	S. 14	2.2.2	Nichteisenmetalle	S. 42
1.3	Auftragsdurchführung	S. 16	2.2.3	Legierungen	S. 43
1.3.1	Fahrzeugdaten	S. 16	2.2.4	Kunststoffe	S. 43
1.3.2	Grundsätze der Auftragsdurchführung	S. 16	2.2.5	Verbundwerkstoffe	S. 44
1.3.3	Auftragserweiterung	S. 18	2.2.6	Werkstoffe im Kraftfahrzeug	S. 44
1.3.4	Umgang mit Kundeneigentum	S. 19	2.3	Werkstoffprüfverfahren	S. 46
1.3.5	Hol- und Bringdienst	S. 19	2.3.1	Zugversuch	S. 46
1.3.6	Fahrzeugübergabe	S. 19	2.3.2	Dauerschwingversuch	S. 46
1.4	Der Kfz-Mechatroniker im Geschäftsprozess	S. 19	2.3.3	Härteprüfverfahren	S. 46
1.4.1	Werkstattkultur	S. 20	2.3.4	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	S. 47
1.4.2	Kommunikation in der Werkstatt	S. 20	2.4	Werkstoffnormung	S. 48
1.4.3	Nonverbale Kommunikation oder Körpersprache	S. 21	2.5	Prüftechnik	S. 53
1.4.4	Arbeitstechniken	S. 23	2.5.1	Bedeutung der Prüftechnik	S. 53
1.4.5	Reklamationen	S. 25	2.5.2	Einheiten der Längen- und Winkelprüfung	S. 53
1.5	Schutzmaßnahmen	S. 25	2.5.3	Maßabweichungen und Toleranzen	S. 54
1.6	Umweltschutz in der Werkstatt	S. 27	2.5.4	Längenmessgeräte	S. 56
1.6.1	Organisation des Umweltschutzes in der Werkstatt	S. 27	2.5.5	Prüffehler	S. 57
1.6.2	Sammlung und Entsorgung von Abfällen	S. 27	2.5.6	Anreißen	S. 57
1.6.3	Abwasser	S. 28	2.6	Fertigungsverfahren (außer Fügen)	S. 59
1.6.4	Gefahrstoffe	S. 29	2.6.1	Urformen	S. 59
1.6.5	Altlasten, Luft und Lärm	S. 29	2.6.2	Umformen	S. 61
1.7	Inspektion mit Ölwechsel	S. 30	2.6.3	Trennen	S. 62
1.7.1	Der Kundenauftrag	S. 30	2.6.4	Beschichten	S. 73
1.7.2	Inspektion eines Fahrzeuges	S. 31	2.6.5	Stoffeigenschaften ändern	S. 73
1.7.3	Der Ölwechsel	S. 31	2.7	Fügen	S. 76
			2.7.1	Schraubverbindungen	S. 76
			2.7.2	Stift- und Bolzenverbindungen	S. 79
			2.7.3	Nabenverbindungen	S. 79
			2.7.4	Gasschmelzschweißen	S. 80
			2.7.5	Schutzgas-Schweißen	S. 81
			2.7.6	Pressschweißen	S. 82
			2.7.7	Löten	S. 83
			2.7.8	Kleben	S. 84
			2.8	Das System Kraftfahrzeug	S. 86
			2.8.1	Maschinen und Geräte als technische Systeme	S. 86
			2.8.2	Das System Kraftfahrzeug in Teilfunktionen	S. 87

3	Elektrotechnik	S. 88	4	Steuerungs- und Regelungstechnik	S. 139
3.1	Einführung in die Elektrotechnik	S. 88	4.1	Grundlagen	S. 140
3.1.1	Elektrische Eigenschaften der Atome	S. 88	4.1.1	Steuerung	S. 140
3.1.2	Grundgrößen der Elektrotechnik	S. 90	4.1.2	Regelung	S. 141
3.1.3	Stromarten	S. 91	4.2	Aufbau von Steuerungen und Regelungen	S. 142
3.1.4	Gleichstromgesetz	S. 92	4.2.1	Arbeitsweise	S. 142
3.1.5	Ohm'sches Gesetz	S. 94	4.2.2	Signalarten	S. 143
3.1.6	Schaltung von Widerständen	S. 94	4.2.3	Signalwandler	S. 143
3.2	Elektrische Leistung, Arbeit und Wirkungsgrad	S. 97	4.2.4	Signalglieder (Sensoren)	S. 144
3.3	Wirkungen des elektrischen Stromes	S. 98	4.2.5	Steuerglieder	S. 144
3.3.1	Magnetische Wirkung	S. 98	4.2.6	Stell- und Antriebsglieder (Aktoren)	S. 144
3.3.2	Licht- und Wärmewirkung	S. 100	4.3	Verknüpfungssteuerung	S. 145
3.3.3	Chemische Wirkung	S. 101	4.4	Ablaufsteuerung	S. 146
3.4	Elektrische Spannungserzeugung	S. 102	4.5	Mechanische Steuerung	S. 147
3.4.1	Induktion	S. 102	4.6	Pneumatische Steuerung	S. 148
3.4.2	Chemische Reaktion	S. 102	4.6.1	Physikalische Grundlagen	S. 148
3.4.3	Wärme	S. 103	4.6.2	Aufbau einer pneumatischen Steuerung	S. 149
3.4.4	Reibung	S. 104	4.6.3	Schaltpläne	S. 152
3.4.5	Licht	S. 104	4.6.4	Beispiel einer pneumatischen Steuerung	S. 153
3.4.6	Kristallpressung	S. 104	4.7	Hydraulische Steuerung	S. 154
3.5	Elektrische Bauelemente	S. 104	4.7.1	Physikalische Grundlagen	S. 154
3.5.1	Transformator	S. 104	4.7.2	Aufbau einer hydraulischen Steuerung	S. 155
3.5.2	Kondensator	S. 105	4.7.3	Schaltpläne	S. 156
3.5.3	Schalter, Relais	S. 106	4.7.4	Beispiel einer hydraulischen Steuerung	S. 156
3.5.4	Leitung, Sicherung	S. 107	4.8	Elektrische Steuerung	S. 157
3.5.5	Widerstand	S. 108	4.8.1	Schaltpläne elektrischer Steuerungen	S. 158
3.6	Schutzmaßnahmen	S. 111	4.8.2	Schaltpläne elektropneumatischer und elektrohydraulischer Steuerungen	S. 159
3.6.1	Schutzmaßnahmen gegen die Gefahren des elektrischen Stromes	S. 111	5	Informationstechnische Grundlagen	S. 161
3.6.2	Stromdurchgang durch den menschlichen Körper	S. 111	5.1	Bedeutung der Informationstechnik	S. 161
3.6.3	Maßnahmen zur ersten Hilfe	S. 112	5.2	Grundlagen der Datenverarbeitung	S. 162
3.7	Einführung in die Halbleitertechnik	S. 112	5.2.1	Daten als Grundlage der Verarbeitung	S. 162
3.8	Elektronische Bauelemente	S. 115	5.2.2	Bit, Byte, Megabyte und „mehr“	S. 162
3.8.1	Diode	S. 115	5.2.3	Zahlensysteme	S. 163
3.8.2	Transistor	S. 119	5.2.4	ASCII- und ANSI-Zeichensatz	S. 163
3.8.3	Thyristor	S. 123	5.3	Computerhardware	S. 165
3.9	Integrierte Schaltungen (IC)	S. 124	5.4	Computersoftware	S. 168
3.10	Kippstufen	S. 126	5.4.1	Systemsoftware	S. 168
3.10.1	Astabile Kippstufen	S. 126	5.4.2	Benutzerorientierte Anwendungsprogramme	S. 169
3.10.2	Monostabile Kippstufen (Mono-Flop)	S. 126	5.4.3	Programmiersprachen	S. 169
3.10.3	Bistabile Kippstufen (Flip-Flop)	S. 127	5.4.4	Grundlagen der Programmerstellung	S. 170
3.10.4	Schmitt-Trigger	S. 127	5.5	Datenaustausch durch das Internet	S. 171
3.11	Messgeräte	S. 127	5.5.1	Zugriff auf das Internet mit dem PC	S. 171
3.11.1	Vielfachmessgeräte (Multimeter)	S. 127	5.5.2	Hardware-Verbindung des PC mit dem lokalen Datennetz	S. 172
3.11.2	Strommesszangen	S. 130	5.5.3	Zugangssoftware	S. 172
3.11.3	Oszilloskope	S. 130	5.6	Datenschutz	S. 173
3.12	Messverfahren	S. 131			
3.13	Schaltpläne	S. 135			
3.13.1	Übersichtsschaltplan (Blockdiagramm, Blockschaltplan)	S. 135			
3.13.2	Anschlussplan	S. 135			
3.13.3	Stromlaufplan	S. 137			

6	Viertaktmotor	S. 174	11	Gemischaufbereitung bei Verbrennungsmotoren	S. 227
6.1	Grundbegriffe	S. 174	11.1	Benzinmotoren	S. 228
6.2	Arbeitsweise	S. 176	11.1.1	Vergaser	S. 228
6.3	Kenndaten	S. 177	11.1.2	Kontinuierliche Benzineinspritzung (KE-Jetronic)	S. 229
6.4	Mechanische Systeme	S. 181	11.1.3	Intermittierende Benzineinspritzung: Multipoint-/L-Jetronic	S. 231
6.4.1	Zylinder und Kurbelgehäuse	S. 181	11.1.4	Intermittierende Benzineinspritzung: Singlepoint	S. 232
6.4.2	Zylinderkopf	S. 182	11.1.5	Intermittierende Benzineinspritzung mit integrierter Zündsteuerung (Motronic)	S. 233
6.4.3	Kolben	S. 184	11.1.6	Benzindirekteinspritzung	S. 235
6.4.4	Lager	S. 187	11.1.7	Werkstattpraxis	S. 238
6.4.5	Pleuelstange	S. 189	11.2	Dieselmotoren	S. 239
6.4.6	Kurbelwelle	S. 191	11.2.1	Gemischbildungsverfahren	S. 240
6.4.7	Ventilsteuerung	S. 192	11.2.2	Glühanlage beim Dieselmotor	S. 241
7	Zweitaktmotor	S. 200	11.2.3	Einspritzdüsen	S. 242
8	Alternative Systeme	S. 203	11.2.4	Reiheneinspritzpumpen	S. 243
8.1	Brennstoffzelle (Fuel-Cell)	S. 204	11.2.5	Axialkolben-Verteilereinspritzpumpe	S. 247
8.2	Kraftstoffe für die Brennstoffzelle	S. 204	11.2.6	Radialkolben-Verteilereinspritzpumpe	S. 251
8.3	Anwendungen in Fahrzeugen ab 2005	S. 205	11.2.7	Common-Rail-Einspritzsystem	S. 252
9	Kraftstoffe und Kraftstoffbereitstellung	S. 207	11.2.8	Pumpe-Düse-Einspritzsystem (PDE)	S. 257
9.1	Kraftstoffherstellung	S. 207	12	Zündsysteme	S. 261
9.2	Kraftstoffarten	S. 208	12.1	Hochspannungserzeugung	S. 262
9.2.1	Ottokraftstoff	S. 208	12.2	Primärstrom	S. 263
9.2.2	Dieselskraftstoff	S. 208	12.3	Zündzeitpunkt	S. 265
9.2.3	Additive	S. 209	12.4	Konventionelle Spulenzündung (SZ)	S. 266
9.2.4	Alternative Kraftstoffe	S. 210	12.4.1	Aufbau und Funktion	S. 266
9.3	Kraftstoffversorgungssystem	S. 211	12.4.2	Zündspule	S. 266
9.3.1	Kraftstoffspeicherung	S. 211	12.4.3	Zündkondensator	S. 267
9.3.2	Kraftstoffförderung	S. 211	12.4.4	Zündverteiler	S. 267
9.3.3	Kraftstofffilterung	S. 213	12.4.5	Zündunterbrecher	S. 267
9.3.4	Zwischenspeicherung der Kraftstoffdämpfe im Aktivkohlesystem	S. 214	12.4.6	Zündversteller	S. 268
10	Luftzufuhrsysteme	S. 216	12.5	Elektronische Batteriezündanlagen	S. 269
10.1	Luftfilterung	S. 216	12.5.1	Zündimpulsgeber	S. 270
10.2	Systeme zur Messung der zugeführten Luft	S. 217	12.5.2	Schließwinkelsteuerung und Schließwinkelregelung	S. 272
10.2.1	Luftmengenmesser	S. 217	12.5.3	Primärstrombegrenzung und Ruhestromabschaltung	S. 273
10.2.2	Luftmassenmesser	S. 218	12.5.4	Kennfeldzündung	S. 273
10.2.3	Saugrohrdrucksteuerung	S. 219	12.5.5	Klopfregelung	S. 275
10.3	Systeme zur Verbesserung des Liefergrades	S. 220	12.5.6	Ruhende Hochspannungsverteilung	S. 276
10.3.1	Schwingrohraufladung	S. 220	12.6	Hochspannungs-Kondensatorzündung	S. 278
10.3.2	Schaltsaugrohre	S. 220	12.7	Zündkerzen	S. 279
10.3.3	Ansaugrohr mit Drallkanal	S. 222	12.7.1	Aufbau	S. 279
10.3.4	Aufladung	S. 222	12.7.2	Wärmewert	S. 280
10.4	Abgasrückführungssysteme	S. 225	12.7.3	Funkenstrecke und Funkenlage	S. 281
10.4.1	Abgasrückführung beim Ottomotor	S. 225	12.7.4	Zündkerzengesichter	S. 281
10.4.2	Abgasrückführung beim Dieselmotor	S. 225			
10.5	Werkstattpraxis	S. 226			

- 12.8 Zündoszillogramme S. 283
- 12.8.1 Normaloszillogramme kontaktgesteuerter Zündsysteme S. 283
- 12.8.2 Normaloszillogramme elektronischer Zündsysteme S. 284
- 12.9 Werkstattpraxis S. 284
- 12.9.1 Fehlersuche am Oszillogramm kontaktgesteuerter Zündsysteme S. 285
- 12.9.2 Umgang mit Zündkerzen S. 286

13 Abgassysteme S. 287

- 13.1 Abgasanlage S. 287
- 13.2 Abgase S. 289
- 13.2.1 Abgasbestandteile des Ottomotors S. 289
- 13.2.2 Katalysator S. 289
- 13.2.3 Lambdasonde S. 291
- 13.2.4 Dieselaabgase S. 295

- 13.3 Abgasvorschriften S. 297
- 13.3.1 Europäische On Board Diagnose (EOBD) S. 298
- 13.3.2 Abgasuntersuchung in der Werkstatt S. 300

14 Kühl- und Schmiersysteme S. 304

- 14.1 Motorkühlung S. 304
- 14.1.1 Prinzipien der Flüssigkeitskühlung S. 304
- 14.1.2 Kühler und Lüfter einer Flüssigkeitskühlung S. 308
- 14.1.3 Luftkühlung S. 310
- 14.2 Motorschmierung S. 311
- 14.2.1 Arten der Schmierung S. 311
- 14.2.2 Ölpumpen S. 313
- 14.2.3 Ölfilterung S. 314
- 14.3 Schmierstoffe für Motoren (Motoröle) S. 315
- 14.4 Schmierstoffe für Getriebe und Lager S. 318

C Kraftübertragung

15 Kupplungen S. 320

- 15.1 Aufgaben und Anordnung im Antriebsstrang S. 320
- 15.2 Bauarten S. 320
- 15.3 Aufbau und Arbeitsweise der Einscheibenkupplung mit Membranfeder S. 322
- 15.3.1 Kraftfluss im eingekuppelten Zustand S. 322
- 15.4 Kupplungsbetätigung S. 323
- 15.4.1 Mechanische Kupplungsbetätigung S. 323
- 15.4.2 Hydraulische Kupplungsbetätigung S. 324
- 15.5 Ausrücklager S. 325
- 15.6 Kupplungsscheiben S. 325
- 15.6.1 Torsionsdämpfung S. 325
- 15.6.2 Belagfederung S. 326
- 15.6.3 Kupplungsbeläge S. 327
- 15.7 Sonderbauformen S. 327
- 15.7.1 Elektronische Kupplungssysteme S. 327
- 15.7.2 Selbsteinstellende Kupplung S. 328
- 15.7.3 Magnetpulverkupplung S. 330
- 15.8 Kupplungsstörungen – Werkstattpraxis S. 330
- 15.8.1 Kupplungsprüfung S. 331
- 15.8.2 Montagehinweise S. 331

16 Manuelle Wechselgetriebe S. 332

- 16.1 Aufgaben von Wechselgetrieben S. 332
- 16.1.1 Drehzahlwandlung S. 332
- 16.1.2 Drehmomentwandlung S. 333
- 16.1.3 Drehrichtungsänderung S. 333
- 16.2 Schaltgetriebe ohne Synchronisereinrichtung S. 334
- 16.2.1 Schieberadgetriebe S. 334
- 16.2.2 Schaltmuffengetriebe S. 334
- 16.2.3 Ziehkeilgetriebe S. 335
- 16.2.4 Schaltklauengetriebe S. 335
- 16.3 Schaltgetriebe mit Synchronisereinrichtung S. 335
- 16.3.1 Gleichachsige und ungleichachsige Getriebe S. 336
- 16.3.2 Einfache Synchronisierung S. 338
- 16.3.3 Sperrsynchonisierung System Borg-Warner S. 338
- 16.3.4 Sperrsynchonisierung System Porsche S. 340
- 16.3.5 Mehrkonus-Synchronisierereinrichtungen S. 341
- 16.4 Gruppengetriebe S. 342
- 16.4.1 Vorschaltgruppe S. 342
- 16.4.2 Nachschaltgruppe S. 343
- 16.4.3 Kombination von Vor- und Nachschaltgruppe S. 343
- 16.5 Werkstattpraxis S. 344

17 Automatische Wechselgetriebe S. 346

- 17.1 Halbautomatische Getriebe und automatisierte Schaltgetriebe S. 346
- 17.2 Aufbau der vollautomatischen Getriebe S. 347
- 17.3 Hydrodynamische Kupplung und hydrodynamischer Drehmomentwandler S. 348
 - 17.3.1 Hydrodynamische Kupplung S. 348
 - 17.3.2 Hydrodynamischer Drehmomentwandler S. 349
 - 17.3.3 Wandler-Überbrückungskupplung S. 350
- 17.4 Planetenradsätze S. 352
 - 17.4.1 Der einfache Planetenradsatz: Aufbau und Schaltmöglichkeiten S. 352
 - 17.4.2 Ravigneaux-Getriebe S. 353
 - 17.4.3 Simpson-Getriebe S. 354
 - 17.4.4 Wilson-Getriebe S. 354
- 17.5 Hydraulische Steuerung vollautomatischer Getriebe S. 355
 - 17.5.1 Druckerzeugung S. 356
 - 17.5.2 Schaltglieder S. 357
 - 17.5.3 Funktionsweise S. 359
- 17.6 Elektro-hydraulische Getriebesteuerung vollautomatischer Getriebe S. 360
 - 17.6.1 Hydraulisches Schaltgerät S. 361
 - 17.6.2 Elektronisches Getriebesteuergerät S. 361
- 17.7 Stufenlose Getriebe S. 364
 - 17.7.1 Stufenloses Getriebe mit Stahlschubgliederband S. 364
 - 17.7.2 Stufenloses Getriebe mit Zugkette S. 365
- 17.8 Doppelkupplungsgetriebe S. 366

18 Achs-, Ausgleichs- und Verteilergetriebe S. 369

- 18.1 Achsgetriebe S. 369
 - 18.1.1 Kegelrad-Achsgetriebe S. 369
 - 18.1.2 Stirnrad-Achsgetriebe S. 370
- 18.2 Ausgleichsgetriebe S. 370
 - 18.2.1 Aufgaben S. 370
 - 18.2.2 Kegelrad-Ausgleichsgetriebe S. 370
- 18.3 Ausgleichssperren S. 371
 - 18.3.1 Schaltbare Ausgleichssperren S. 371
 - 18.3.2 Selbsttätig schaltende Ausgleichssperren S. 372
- 18.4 Verteilergetriebe S. 376
- 18.5 Werkstattpraxis S. 376

19 Gelenkwellen und Gelenke S. 378

- 19.1 Kreuzgelenke S. 379
- 19.2 Gleichlauf-Festgelenke S. 380
- 19.3 Gleichlauf-Verschiebegelenke S. 381

D Fahrwerk

20 Antriebssysteme S. 382

- 20.1 Anforderungen an Antriebssysteme S. 382
- 20.2 Grundbegriffe S. 382
- 20.3 Hinterradantrieb S. 383
- 20.4 Vorderradantrieb S. 385
- 20.5 Allradantrieb S. 385
- 20.6 Antriebe von Krafträdern S. 386

21 Fahrwerksgeometrie S. 388

- 21.1 Anforderungen an das Fahrwerk S. 388
- 21.2 Bewegungen des Gesamtfahrzeugs S. 389
- 21.3 Achseinstellwerte S. 389
 - 21.3.1 Fahrwerksvermessung S. 393
 - 21.3.2 Auswirkungen fehlerhafter Rad- und Achseinstellwerte S. 395
- 21.4 Radaufhängungen S. 397
 - 21.4.1 Bauteile von Radaufhängungen S. 397
 - 21.4.2 Einzelradaufhängungen S. 398
 - 21.4.3 Halbstarre Achsen S. 401
 - 21.4.4 Starrachsen S. 401
- 21.5 Motorräder S. 403

22	Federung und Dämpfung	S. 404	23	Räder und Reifen	S. 416
22.1	Aufgaben der Federung	S. 404	23.1	Aufgaben von Rädern	S. 416
22.2	Grundprinzip und Grundaufbau der Federung	S. 404	23.2	Radaufbau	S. 416
22.3	Arten der Fahrzeugfederung	S. 406	23.3	Radbezeichnungen	S. 418
22.3.1	Stahlfederung	S. 406	23.4	Aufgaben von Reifen	S. 420
22.3.2	Gasfederung	S. 409	23.5	Kräfte am Reifen	S. 420
22.3.3	Gummifederung	S. 410	23.6	Reifenaufbau und Reifenbauarten	S. 422
22.3.4	Werkstattpraxis	S. 410	23.7	Reifenbezeichnung	S. 423
22.4	Aufgabe der Schwingungsdämpfung	S. 412	24	Lenkung	S. 428
22.4.1	Prinzip der hydraulischen Schwingungsdämpfung	S. 412	24.1	Aufgaben und Anforderungen	S. 428
22.4.2	Schwingungsdämpferarten	S. 412	24.2	Lenkgeometrie	S. 428
22.4.3	Federdämpfer	S. 413	24.2.1	Lenkungsarten	S. 428
22.4.4	Variable Dämpfung – Niveauregulierungssysteme	S. 413	24.2.2	Lenkgestänge	S. 429
22.4.5	Werkstattpraxis	S. 415	24.3	Lenkgetriebe	S. 430
			24.4	Hilfskraftlenkungen	S. 431
			24.4.1	Hydraulische Hilfskraftlenkung	S. 431
			24.4.2	Elektrohydraulische Hilfskraftlenkung	S. 432
			24.4.3	Elektrische Hilfskraftlenkung	S. 433
			24.4.4	Aktivlenkung	S. 433
			24.5	Lenksäule	S. 434
			24.6	Allradlenksysteme	S. 434
E	Bremsen				
25	Mechanische Bremssysteme	S. 436	26.5	Besonderheiten der Kraftradbremse	S. 456
25.1	Einsatzbereiche	S. 436	26.6	Werkstattpraxis	S. 458
25.2	Feststellbremse im Pkw und Nutzkraftwagen	S. 436	27	Pneumatische Bremssysteme (Fremdkraftbremsanlagen)	S. 459
25.3	Betriebs- und Feststellbremse am Anhänger	S. 437	27.1	Funktionsdarstellung der Fremdkraftbremsanlage	S. 459
25.4	Betriebsbremse am Krafttrad	S. 438	27.2	Teilbremssysteme der Fremdkraftbremsanlage	S. 460
26	Hydraulische Bremssysteme	S. 439	27.3	Hydraulische Bremsanlage mit Druckluftunterstützung	S. 460
26.1	Anforderungen	S. 439	27.4	Zweikreis-Zweileitungs-Bremsanlage	S. 462
26.1.1	Allgemeine physikalische Grundlagen	S. 440	27.4.1	Motorfahrzeug: Übersicht und Funktion der zum Bremssystem gehörenden Bauteile	S. 462
26.1.2	Bremsflüssigkeit	S. 441	27.4.2	Anhängergefahrzeug: Übersicht und Funktion der zum Bremssystem gehörenden Bauteile	S. 469
26.1.3	Bremskreisaufteilung	S. 442	27.5	Ausführung der Radbremsen bei Druckluftbremsanlagen	S. 470
26.2	Funktionsgruppen der hydraulischen Bremsanlage	S. 444			
26.2.1	Hauptzylinder	S. 444			
26.2.2	Bremskraftverstärker	S. 446			
26.2.3	Bremskraftübertragung	S. 449			
26.2.4	Bremskraftverteilung	S. 449			
26.2.5	Trommelbremse	S. 450			
26.2.6	Scheibenbremse	S. 453			
26.3	Elektrohydraulische Bremse	S. 455			
26.4	Elektrohydraulisch-mechanische Parkbremse	S. 455			

28	Dauerbremsanlage	S. 473	29	Gesetzliche Bestimmungen	S. 478
28.1	Auspuffklappenbremse (Staudruckbremse)	S. 473	29.1	Geltungsbereiche	S. 478
28.2	Motorbremse mit Konstantdrossel	S. 474	29.2	Klasseneinteilung der Kraftfahrzeuge	S. 478
28.3	Wirbelstrombremse (elektrodynamischer Retarder)	S. 475	29.3	Vorschriften für die Auslegung der Bremsen	S. 479
28.4	Strömungsbremse (hydrodynamischer Retarder)	S. 476	29.4	Vorschriften für die Untersuchung der Kraftfahrzeuge und Anhänger	S. 479
28.5	Werkstattpraxis	S. 477	29.5	Überprüfung der Mindestabbremung (Bremsprüfstand)	S. 480

F Karosserie

30	Rahmen — Aufbau — Karosserie	S. 482	31	Karosserieschäden	S. 495
30.1	Systematisierung der Straßenfahrzeuge	S. 483	31.1	Ermittlung von Schäden an der Karosserie	S. 495
30.2	Fahrzeugabmessungen	S. 484	31.2	Karosseriereparatur	S. 495
30.3	Fahrzeugkarosserie	S. 485	31.2.1	Prüftechnik	S. 495
30.3.1	Rohkarosserie	S. 486	31.2.2	Karosserie-Richtsysteme	S. 496
30.3.2	Anbaugruppen	S. 487	31.2.3	Kombinierte Richt- und Prüfsysteme	S. 497
30.3.3	Rahmenbauweise	S. 487	31.3	Rückverformen beschädigter Karosserieteile	S. 498
30.3.4	Sicherheitskarosserie	S. 488	31.4	Handwerkliche Instandsetzung	S. 499
30.4	Werkstoffe im Karosseriebau	S. 488	31.4.1	Ausbeulwerkzeuge und -techniken	S. 499
30.4.1	Fahrzeugleichtbau	S. 489	31.4.2	Abschnittsreparatur	S. 500
30.4.2	Stahl als Karosseriewerkstoff	S. 489	31.4.3	Scheibenreparatur	S. 501
30.4.3	Aluminium als Karosseriewerkstoff	S. 490	31.4.4	Oberflächentechniken	S. 502
30.4.4	Kunststoffe im Fahrzeugbau	S. 491	34.4.5	Reparatur von Kunststoffteilen	S. 502
30.5	Fahrzeuglackierung und Korrosionsschutz	S. 491			

G Elektrische und elektronische Systeme

32	Energieversorgung	S. 504	33	Elektromotoren und Starter	S. 520
32.1	Drehstromgenerator	S. 504	33.1	Elektromotoren	S. 520
32.1.1	Anforderungen und Eigenschaften	S. 504	33.1.1	Gleichstrommotoren	S. 520
32.1.2	Aufbau	S. 505	33.1.2	Schrittmotoren	S. 521
32.1.3	Prinzip des Drehstromgenerators	S. 506	33.2	Starter	S. 522
32.1.4	Stromkreise des Generators	S. 507			
32.1.5	Spannungsregler	S. 508	34	Beleuchtungs- und Signalanlage	S. 524
32.1.6	Generator mit Leitstückläufer	S. 510	34.1	Allgemeine Aufgaben, Vorschriften, Bezeichnungen	S. 524
32.2	Werkstattpraxis	S. 510	34.2	Verschiedene Lichtquellen und Scheinwerfer	S. 525
32.3	Batterie	S. 512	34.3	Kurven- und Abbiegelicht	S. 527
32.3.1	Aufbau	S. 512	34.4	Infrarot-Nachtsicht-Hilfen	S. 528
32.3.2	Funktion der Batterie	S. 512	34.5	Leuchtwertenregulierung und Scheinwerfer- einstellung	S. 529
32.3.3	Wichtige Kenngrößen von Kfz-Batterien	S. 512	34.6	Werkstattpraxis	S. 530
32.3.4	Wartung	S. 514	34.7	Scheinwerferreinigung	S. 530
32.4	Werkstattpraxis	S. 515	34.8	Signalanlage	S. 531
32.5	Elektrische Energieversorgung im Bordnetz	S. 516			
32.5.1	Ein-Batterie-Bordnetz	S. 516			
32.5.2	Zwei-Batterien-Bordnetz	S. 517			
32.5.3	Schaltung für Nutzfahrzeuge	S. 517			
32.5.4	Zwei-Spannungs-Bordnetz	S. 518			

35	Bussysteme	S. 533	37	Sicherheitselektronik	S. 555
35.1	Anfänge der Systemvernetzung	S. 533	37.1	Wegfahrsperr	S. 555
35.2	Notwendigkeit von Bussystemen	S. 533	37.1.1	Einführung des qualifizierten Diebstahlschutzes	S. 555
35.3	Busstrukturen und -systeme	S. 534	37.1.2	Wegfahrsperr mit Transponder	S. 555
35.4	Signalaufprägung und Kommunikationsablauf beim CAN-Bussystem	S. 535	37.2	Zentralverriegelung	S. 556
35.5	Optische Datenbussysteme mit Lichtwellenleiter	S. 538	37.2.1	Elektropneumatische Zentralverriegelung	S. 556
35.6	Bluetooth	S. 539	37.2.2	Elektrische Zentralverriegelung	S. 557
35.7	Verschiedene Bussysteme in einem vollausgestatteten Fahrzeug	S. 540	37.2.3	Fernbedienungssystem	S. 559
			37.2.4	Komfortzugang	S. 560
36	Komfortsysteme	S. 542	37.3	Diebstahlwarnanlage	S. 561
36.1	Fenster- und Dachantriebe	S. 542	37.4	Werkstattpraxis	S. 562
36.1.1	Fensterantriebe	S. 542	37.5	Pyrotechnische Rückhaltesysteme	S. 563
36.1.2	Dachantriebe	S. 543	37.5.1	Airbag	S. 563
36.2	Elektrische Sitz-, Spiegel- und Lenkradverstellung	S. 543	37.5.2	Ablauf einer Airbagzündung	S. 565
36.2.1	Elektrische Sitzverstellung	S. 543	37.5.3	Bauteile und ihre Funktion	S. 565
36.2.2	Elektrische Spiegelverstellung	S. 544	37.4.4	Gurtstraffer und Gurtschlossstrammer	S. 566
36.2.3	Elektrische Lenkradverstellung	S. 544	37.5.5	Systemüberprüfung und Sicherheitshinweise	S. 567
36.2.4	Verstellungen mit Speicherfunktion	S. 545	37.6	Werkstatthinweise	S. 567
36.3	Heizungs- und Klimaregelung	S. 546	38	Fahrsicherheitssysteme	S. 569
36.3.1	Funktionsprinzip einer Klimaanlage	S. 546	38.1	Anti-Blockier-System (ABS)	S. 569
36.3.2	Ein- und Ausgangssignale und Funktionen der Heizungs- und Klimaregelung	S. 547	38.1.1	ABS mit 3/3 Magnetventilen	S. 570
36.3.3	Werkstattpraxis	S. 548	38.1.2	ABS mit 2/2-Magnetventilen	S. 573
36.4	Fahrgeschwindigkeitsregelung	S. 549	38.1.3	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	S. 575
36.4.1	Konventionelle Fahrgeschwindigkeitsregelung	S. 549	38.2	Antriebsschlupf-Regelung	S. 576
36.4.2	Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung	S. 550	38.3	Fahrdynamik-Regelung	S. 579
36.5	Fahrerinformationssysteme	S. 551			
36.5.1	Navigationssystem	S. 551			
36.5.2	Telematik	S. 552			
36.6	Elektronische Abstandsmessung als Ein- und Ausparkhilfe	S. 553			

Anhang

Abkürzungen und Fachbegriffe	S. 583
Sachwortverzeichnis	S. 588
Bildquellen	S. 600
Lernfeldkompass	Umschlaginnenseite, hinten

1 Service in der Kfz-Werkstatt

1.1 Anforderungen an eine moderne Werkstatt und ihre Mitarbeiter

1.1.1 Anforderungen der Kunden

Die Kunden möchten, dass ihre Aufträge schnell und zu fairen Preisen erfüllt werden. Der Aufwand für Pflege, Wartung und Reparatur eines Fahrzeugs sollte möglichst gering sein. Der moderne Kunde versteht zwar meistens nicht viel von der Fahrzeugtechnik, stellt aber beim Service hohe Ansprüche und merkt sich fast nur seine nicht erfüllten Erwartungen. Deshalb muss neben der Produkt- und Servicequalität auch die Kommunikation stimmen.

Kundenzufriedenheit. Verschiedene Automobilhersteller stellen nach einer Reparatur oder nach einem Werkstattaufenthalt durch telefonische Kundendirektansprache den Grad der Kundenzufriedenheit fest. Durch vorformulierte Fragen mit Noten wird die Kundenzufriedenheit erfragt.

Wird eine durchgängige Kundenunzufriedenheit festgestellt, könnte dies bei markengebundenen Betrieben auch zu Sanktionen des Herstellers führen. Hinter diesen Maßnahmen steht das Ziel der Kundenbindung. Um eine hohe Kundenbindung zu erreichen, müssen alle Betriebsbereiche und Mitarbeiter dieses Ziel verfolgen, denn der Kunde und nicht der Chef bezahlt ihren Lohn. Die Geschäftsprozesse in einer Werkstatt müssen sich auf der Basis einer effizienten Betriebsorganisation messen an:

- Kundenorientierung,
- Teamfähigkeit und Arbeitszufriedenheit aller Mitarbeiter,
- höchster Qualität bei Service- und Reparaturarbeiten.

1.1.2 Anforderungen der Werkstatt an die Mitarbeiter

Alle Mitarbeiter einer Werkstatt müssen bestimmte Verhaltensmuster und Spielregeln beim Umgang mit dem Kunden, aber auch im Umgang mit Kollegen und Vorgesetzten beherrschen. Gute Umgangsformen sind eine gute Grundlage für die Kommunikation. Jeder Mitarbeiter sollte sich nicht nur fachlich weiterbilden, sondern auch seine Allgemeinbildung verbessern, damit er bei Kundenkontakt eine angemessene Konversation mit dem Kunden führen kann. Auch für Fachgespräche mit Kollegen und Kunden muss man sich eine gewisse Sprach- und Schreibfertigkeit aneignen.

Jeder Mitarbeiter sollte auf ein positives Erscheinungsbild achten, dazu gehören:

- saubere Arbeitskleidung,
- Körperpflege,
- keinen Schmuck bei der Arbeit tragen (Unfallgefahr),
- positives und selbstbewusstes Auftreten.

Der Betrieb verlangt von seinen Mitarbeitern eine positive Einstellung zu

- Beruf und Tätigkeit,
 - Betrieb und Kollegen,
 - Kraftfahrzeugen und Dienstleistungen am Fahrzeug,
 - Kunden,
 - fachlicher und allgemeiner Weiterbildung
- um die ständig steigenden Anforderungen eines kundenorientierten Services zu gewährleisten und damit den Erhalt der Werkstatt und von Arbeitsplätzen zu sichern.

1.2 Aufbau- und Ablauforganisation eines Kfz-Betriebes

1.2.1 Qualitätssicherung

Der Begriff Qualität wird umgangssprachlich sehr ungenau und persönlich benutzt. Durch Einführung eines Qualitätssicherungssystems oder Qualitätsmanagement-Systems in der Werkstatt lässt sich der Begriff Qualität wie folgt definieren:

Qualität meint die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit, bezogen auf ihre Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen.

Um das Bestehen eines Kfz-Betriebes dauerhaft zu sichern, ist die hundertprozentige Qualität von Service und Reparatur notwendig.

Eine immer größer werdende Zahl von Großkunden verlangt von den Kfz-Betrieben den Nachweis einer Qualitätssicherung nach DIN EN ISO 9000 ff.

Ziele der Qualitätssicherung sind:

- Kundenerwartungen an Service und Reparatur erreichen und stets erfüllen,
- Vermeidung von Reklamationen und Fehlleistungen in allen Betriebsbereichen,
- Vermeidung von Nacharbeiten bei Reparatur und Servicearbeiten,
- Kundenzufriedenheit erhöhen,
- Fehler möglichst frühzeitig erkennen und Fehlerursachen beseitigen.

Um diese Ziele zu erreichen

- muss eine Aufbau- und Ablauforganisation im Betrieb installiert werden,
- müssen Mitarbeiter qualifiziert werden,
- müssen Werkzeuge einer Qualitätssicherung unterzogen werden,
- erfolgt eine genaue Regelung von Zuständigkeiten, Verantwortung und Befugnissen für alle Betriebsbereiche,
- müssen Regelungen und Ergebnisse dokumentiert werden,
- müssen präventive Maßnahmen zur Vermeidung von fehlerhafter Qualität getroffen werden.

1.2.2 Aufbauorganisation

Die Aufbauorganisation soll die Arbeitsaufgaben im Betrieb zuordnen und Entscheidungskompetenzen festlegen, die zur zweckmäßigen Erfüllung der betrieblichen Aufgaben notwendig sind.

Die Aufbauorganisation eines Betriebes kann übersichtlich in einem Organigramm dargestellt werden (Bild 1.1). Dieses beinhaltet

- die betrieblichen Abteilungen,
- die Rangordnung der Stellen in der Betriebs-hierarchie,
- die Informationswege bzw. Anordnungswege von der Geschäftsführung bis zum Auszubildenden.

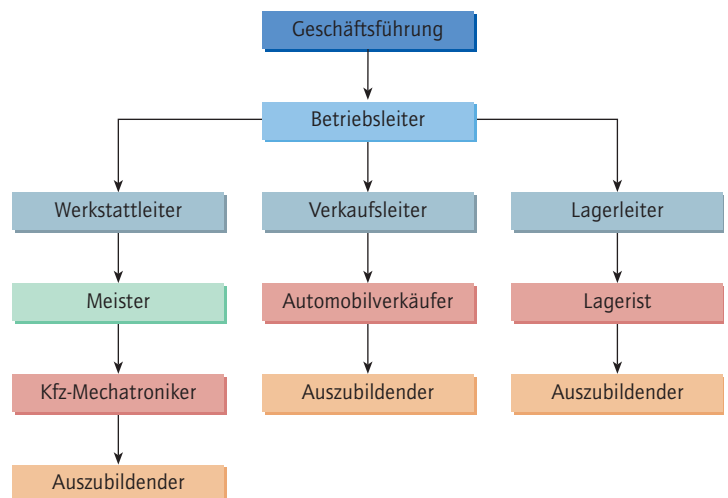


Bild 1.1 Organigramm eines Betriebes.

1.2.3 Ablauforganisation

Die Ablauforganisation soll den zweckmäßigen Ablauf aller vorkommenden Service- und Reparaturarbeiten steuern. Damit lassen sich Prozessabläufe vereinheitlichen, was eine wichtige Voraussetzung für Qualitätssicherung und Wettbewerbsfähigkeit des Betriebes darstellt.

Bild 1.2 verdeutlicht vereinfacht den Serviceablauf in einem Kfz-Unternehmen.

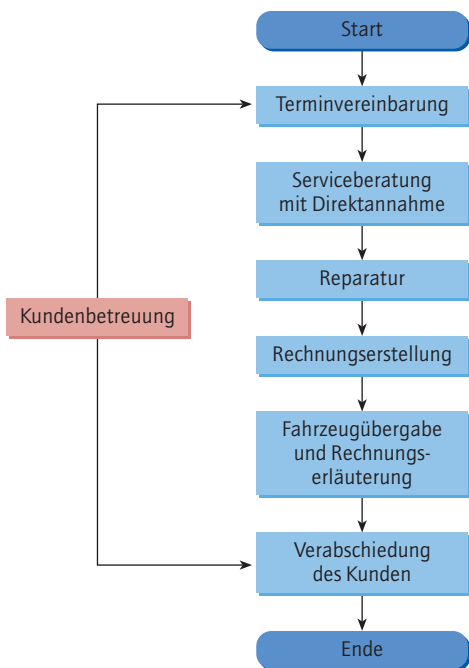


Bild 1.2 Serviceablauf.

Zulassungsbescheinigung → S. 16

Terminvereinbarungen dienen den Zielen:

- individuelle Kundentermine ermöglichen,
- Termintreue bei den einzelnen Aufträgen erreichen,
- optimale Service- und Werkstattauslastung.

Die optimale Werkstattauslastung erfolgt unter Berücksichtigung langfristiger Urlaubs- und Lehrgangsplanungen aller Mitarbeiter im Service- und Werkstattbereich. Eine ausreichende Beratungszeit für den Kunden lässt sich durch Annahme im zeitversetzten Rhythmus mit entsprechenden Pufferzeiten realisieren. Zuständig für Terminvereinbarungen sind der Serviceberater oder – falls vorhanden – die Serviceassistenten oder der Werkstattdisponent.

Die Servicetermine werden über ein Terminplanungs-Programm erstellt.

Bei der Terminvereinbarung sollten folgende Daten festgehalten bzw. falsche Daten korrigiert werden:

- Kunden- oder Firmenname,
- Fahrzeugtyp,
- Laufleistung,
- amtliches Kennzeichen,
- Arbeitsumfang nach Kundenaussagen mit eventuellen Zusatzarbeiten,
- Prüfen der Teileverfügbarkeit,
- Reparaturtermin und Uhrzeit der Fertigstellung,
- Terminvereinbarung für die Direktannahme,
- Bedarf an Kundenmobilität erfragen bzw. Angebot für Hol- und Bringdienst oder Ersatzfahrzeug.

Die Informationen werden je nach Erforderlichkeit an Verkauf, Ersatzteillager und Serviceleiter weitergegeben.

Serviceberatung am Fahrzeug (Direktannahme). Hat der Kunde sein Fahrzeug vorgefahren, erfolgt die Serviceberatung anhand einer exakten Diagnose des Fahrzeugs, um den Reparaturumfang gemeinsam mit dem Kunden zu bestimmen (Bild 1.3).

Die Serviceberatung / Fahrzeugdiagnose umfasst folgende Arbeiten:

- Entgegennahme der Fahrzeugunterlagen (Serviceheft und Zulassungsbescheinigung),
- Ausfüllen des Serviceheftes (durchgeführte Wartung, Eintrag der Laufleistung, Händlerstempel usw.),
- Fahrzeug auf die Hebebühne fahren,
- Scheibenwaschanlage, Wischfeld, Düseinstellung und Wischerblätter prüfen,
- Frontscheibe auf Steinschläge prüfen,
- Lack und Leuchten auf äußere Beschädigung prüfen,
- Flüssigkeitsstände prüfen,
- Sichtkontrolle Motor, Getriebe, Hinterachsgetriebe und Lenkung (auf Dichtheit prüfen),
- Reifenlaufbild und Profiltiefe prüfen,
- Sichtkontrolle Bremse vorn und hinten,
- Unterboden auf Beschädigung prüfen,
- Fälligkeit HU/AU,
- bei Bedarf Probefahrt mit Kunden,
- Abklärung der Freigabe von eventuellen Reparaturenerweiterungen,
- Vereinbarung der Zahlungsweise.

Direktannahme Checkliste

bei jedem Werkstattbesuch in Gegenwart des Kunden

Kundenname:		Händlerstempel		in Ordnung	nicht in Ordnung	erneute Prüfung ⁽¹⁾			
Amtl. Kennzeichen:									
Fragen nach: Kundenanmerkungen, beobachtete Defekte, Felgenschlüssel Eintragungen bitte unten vornehmen.		<input type="checkbox"/> AU <input type="checkbox"/> HU (§29 StVZO) <input type="checkbox"/> OASIS							
Scheinwaschflüssigkeit auffüllen? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein									
1 Schonbezüge anbringen (Sitze, Lenkrad, Fußraum etc.)									
2 Fahrzeug auf Hebebühne fahren									
Innenbeleuchtung/Instrumente/Hupe Funktion prüfen									
Kupplung/Getriebe/Schalthebel Funktion prüfen									
Bremsen/Handbremse Funktion prüfen									
Motorengeräusch/Rauchentwicklung beim Dieselmotor prüfen									
3 Innenraum/Bedienelemente									
Scheibenwaschanlage/Scheibenwischer Funktion prüfen									
Außenbeleuchtung Funktion prüfen									
Radiocode notieren									
Kilometerstand notieren									
Fensterhebefunktion prüfen									
Schäden und Verschleiß im Innenraum notieren									
4-6 Außen									
Zustand der Wischergummis/Verschleißanzeige und Scheibenwischer prüfen									
Reserverrad/Notrad/Reifenpannen-Sofort-Hilfesystem Zustand/Verwendbarkeitsdatum prüfen Profiltiefe notieren mm Notrad: <input type="checkbox"/>									
Vorhandensein des Warndreiecks prüfen ⁽²⁾									
Erste-Hilfe-Ausrüstung/Verbandmaterial auf Vollständigkeit/Verwendbarkeitsdatum prüfen									
		Karosseriezustand/Schäden; Schadhafte Stellen markieren B = Beulen/Kratzer L = Lackschäden A = Anbauteile G = Spiegel/Scheiben S = Scheinwerfer/Rückleuchten/Blinker							
7 Motorhaube öffnen									
Offensichtliche Undichtigkeiten/Beschädigungen im Motorraum prüfen ⁽²⁾									
Zustand und Spannung der Aggregateantriebsriemen prüfen									
Batterie Flüssigkeitsstand prüfen ⁽²⁾									
Ölstand prüfen									
Kühlmittelstand/Frostschutz prüfen °C									
Scheibenwaschflüssigkeitsstand prüfen , wenn nicht aufgefüllt wird									
Hydraulikölstand der Servolenkung prüfen									
Brems-/Kupplungsflüssigkeitsstand prüfen									
8 Fahrzeug anheben									
Offensichtliche Undichtigkeiten/Beschädigungen im Unterbodenbereich prüfen ⁽²⁾									
Auspuffanlage auf Undichtigkeiten/Beschädigungen/Zustand prüfen ⁽²⁾									
Zustand/Laufbild der Reifen prüfen Profiltiefe notieren		VL:	mm	VR:	mm	HR:	mm	HL:	mm
Zustand der Bremsscheiben prüfen ⁽²⁾									
Stoßdämpfer auf Undichtigkeiten/Beschädigungen prüfen ⁽²⁾									
Lenkung Zustand/Beschädigung (Manschetten) prüfen ⁽²⁾									
Anmerkungen:									
Fahrzeugreinigung gewünscht: <input type="checkbox"/> außen <input type="checkbox"/> innen									

Unterschrift d. Service-Beraters

Datum

**Autohaus
Mustermann**

Unterschrift des Kunden

⁽¹⁾ Wiedervorlage bei Service-Berater spätestens in _____
⁽²⁾ soweit einsehbar

Bild 1.3 Direktannahme Checkliste.

Nach der Serviceberatung erfolgt die Auftrags-erstellung:

- Festlegung des Reparaturumfanges,
- Überprüfung, ob bestimmte Arbeiten über Gewährleistung oder Kulanz abgewickelt werden können,
- Abklärung der Teileverfügbarkeit,
- eventuell Abfrage von Serienverbesserungen der Produktionsfirma (technische Produktaktionen),
- Mängeldokumentation, auch wenn nicht repariert wird,
- Kunde unterschreibt,
- Serviceberater verabschiedet den Kunden,
- Serviceberater gibt den Auftrag in die Disposition.

1.3 Auftragsdurchführung

1.3.1 Fahrzeugdaten

Seit 01.10.2005 ist aus Gründen der Harmonisierung in allen EU-Mitgliedsländern die Zulassungsbescheinigung Teil I (ehemals Fahrzeugschein) und Teil II (ehemals Fahrzeugbrief) die wichtigste Informationsquelle, um ein Fahrzeug zu identifizieren. Eine umfassende Zusammenfassung der technischen Daten enthält die EU-Übereinstimmungsbescheinigung CoC (Certificate of Conformity). Der Endverbraucher erhält sie mit den Fahrzeugunterlagen beim Kauf eines Neufahrzeugs.

Alle Fahrzeuge, die nach dem 01.10.2005 umgemeldet werden, erhalten ebenfalls die neuen Zulassungsbescheinigungen. Falls es für alte Fahrzeuge keine CoC gibt, werden die bisherigen Daten aus dem Kraftfahrzeugbrief übernommen.

Zulassungsbescheinigung Teil I (Bild 1.4a). Sie enthält neben Angaben zum Fahrzeughalter die wichtigsten technischen und Fahrzeugidentifizierungsdaten. Die Kennzeichnung erfolgt nicht mehr im Klartext, sondern durch Buchstaben- oder Zahlencodes, die auf der Rückseite in der jeweiligen Landessprache erklärt sind.

In der Kopfzeile der Zulassungsbescheinigung Teil I bedeuten z. B.: **K-S-1-328/05-00040**

- K = Name des Verwaltungsbezirks,
- K = Kreis, S = Stadt,
- 0 = Hauptstelle, 1 = Außenstelle,
- 328 = 328. Tag im Jahr,
- 05 = Jahr der Zulassung,
- 00040 = 40. Zulassung am 328. Tag.

Zulassungsbescheinigung Teil II enthält Daten des Fahrzeughalters und maximal eines Vorhalters. Sie gilt nicht als Eigentumsurkunde. Neben der Fahrzeugident-Nr. enthält sie die EU-Typgenehmigung und die Bestätigung des Herstellers.

CoC beinhaltet die technischen Daten des Fahrzeugs. Das CoC ist die Basis für die Zulassungsbescheinigung Teil I und Teil II.

Neben bisher üblichen Werten werden z. B.

- Arbeitsverfahren,
 - Getriebeart,
 - Übersetzungsverhältnisse,
 - alle zulässigen Reifengrößen,
 - Abgaswerte nach EU-Prüfrichtlinie,
 - Anmerkungen zu Zusatzausrüstungen
- aufgeführt. Die Kennzeichnung der Daten in der CoC ist mit der Zulassungsbescheinigung nicht gleich; sie besteht nur aus Ziffern. Eine Übersicht über die in den drei Dokumenten enthaltenen Daten zeigt Bild 1.4b.

1.3.2 Grundsätze der Auftragsdurchführung

Die Auftragsdurchführung erfolgt nach folgenden Grundsätzen:

- Termintreue,
- vollständige Auftragsdurchführung,
- Gewährleistung hoher technischer Qualität,
- Koordination des Auftrages mithilfe vorhandener Planungsmittel (z. B. Dispositionstafel),
- pünktliche und vollständige Bereitstellung der benötigten Ersatzteile durch das Ersatzteillager,
- Einhaltung von Hersteller- und Sicherheitsvorschriften.

Zulassungsbescheinigung Teil I (Fahrzeugdaten)		09.12.2005		0005	853	001	0
K-S-1-328-05-00040		01	01	0200			
Europäische Gemeinschaft		WXAPD51060WC80000		4			
Bundesrepublik Deutschland		X83					
Permisso de circulación, Parte I / Österreich o registrat - Clasi I /							
Registrierungsquersatz, Parte I / Registrierungsnummer, Clasi I /							
Attesto di immatricolazione, Parte I / Immatricolazione, Clasi I /							
Registrierungsbescheinigung, Parte I / Certificat d'immatriculation, Parte I /							
Carta di circolazione, Parte I / Registro de vehículos, Parte I /							
Immatricolazione, Parte I / Registro de vehículos, Parte I /							
Certificado de matriculación, Parte I / Registro de vehículos, Parte I /							
Doklad o rejestracji, Część I / Certificado de matrícula, Parte I /							
Odobrenje o evidenciji, Čast I / Prometni dokazivanje, Del I /							
Odobrenje o evidenciji, Čast I / Registro de vehículos, Parte I /							
A. Anträge (Fahrerdaten)		X3	3	OD			
BAYER. MOT. WERKE-BMW							
PERSONENKRAFTWAGEN							
GESCHLOSSEN							
C.1.1 Name oder Firmenze							
MÜLLER							
C.1.2 Vorname(n)							
NIKOLAUS							
C.1.3 Anschrift							
DOMSTRASSE 1							
50668 KÖLN							
D.1.1 Name und Anschrift							
12.2008							
1 Datum: 09.12.2005							
C.4.4 Der Inhaber der Zulassungsbescheinigung wird nicht als Eigentümer des Fahrzeuges ausgewiesen							

Bild 1.4a Zulassungsbescheinigung Teil 1.

Feld der Zul.-besch.	enthalten in		Nr. in CoC	Bezeichnung und Beschreibung
	Teil I	Teil II		Die Zulassungsbescheinigung Teil 1 enthält einen Auszug aus den halter- und fahrzeugbezogenen Daten, Teil 2 ist die Fahrzeugidentifizierungsurkunde. Die CoC enthält alle fahrzeugbezogenen technischen Daten ohne persönliche Daten.
o.N.	X		—	Nr. der Zulassungsbescheinigung Teil 1
o.N.		X	—	Nr. der Zulassungsbescheinigung Teil 2
A	X	X	—	Amtliches Kennzeichen
B	X	X	—	Datum der Erstzulassung
(1)		X	—	Anzahl der Vorhalter; es werden maximal 2 Vorbesitzer eingetragen
C.1.1	X	—	—	Name oder Firmenname
C.1.2	X		—	Vorname
C.1.3	X		—	Anschrift
C.3.1 C.6.1		X	—	Name oder Firmenname
C.3.2 C.6.2		X	—	Vorname
C.3.3 C.6.3		X	—	Anschrift zum Zeitpunkt der Ausstellung
C.4c	X	X	—	„Der Inhaber der Zulassungsbescheinigung wird nicht als Eigentümer ausgewiesen“. Dieser Standardtext ist fest vorgegeben.
D.1	X	X	0.1	Marke, allgemein bekannte Herstellerbezeichnung
D.2	X	X	0.2	Typbezeichnung des Herstellers, bezogen auf das Fahrzeug; Wert wird aus der CoC übernommen.
D.3	X	X	0.2.1	Handelsbezeichnung, Bezeichnung auf Verkaufsprospekten; Wert wird aus der CoC übernommen.
E	X	X	0.6	Fz.-Ident-Nr., Fabriknummer des Fahrgestells: 17-stellige Kombination aus Buchstaben und Zahlen, mit deren Hilfe jedes Fahrzeug 30 Jahre lang eindeutig identifiziert werden kann.
F.1	X	—	14.1	Technisch zugelassene Gesamtmasse in kg
F.2	X	—	—	Im Zulassungsmitgliedstaat zugelassene Gesamtmasse; kann je nach EU-Staat vom technisch zulässigen Wert abweichen.
G	X	—	12.1	Leermasse des fahrbereiten Fahrzeuges; Wert wird aus der CoC übernommen.
H	X	—	—	Gültigkeitsdauer bei Saisonkennzeichen/Datum der Stilllegung
I	X	X	—	Datum der Erstzulassung, sagt nichts über das Alter des Fz. aus.
J	X	X	0.4	Fahrzeugklasse nach ECE-Regelung. Unterscheidung erfolgt nach Buchstaben L,M,N,O und Ziffer, die die maximale Personenzahl oder die Gesamtmasse bezeichnen. Pkw mit max. 9 Sitzplätzen: M1
K	X	X	0.6	Nummer der EG-Typgenehmigung oder ABE; Wert wird aus der CoC übernommen.
L	X	—	1.	Anzahl der Achsen; Wert wird aus der CoC übernommen.
O	X		28	Technisch zulässige Anhängelast gebremst; Wert wird aus der CoC übernommen.
			29	Technisch zulässige Anhängelast ungebremst; Wert wird aus der CoC übernommen.
P.1	X	X	24	Hubraum in cm ³ , wichtig für die Berechnung der Kfz-Steuer. Je angefangene 100 cm ³ wird der jeweilige Faktor (Pos 14.1) entsprechend der Schadstoffklasse berechnet.
P.2	X	X	26	Nennleistung in kW
P.4				Nenn Drehzahl in min ⁻¹ ; die Einheit wird nicht mehr dargestellt.
P.3	X	X	25	Kraftstoffart (als Wort); zusätzlich wird eine Schlüssel-Nr. für die Kraftstoffart in Feld 10 eingetragen (Benzin hat die Ziffer 0001).

Bild 1.4b Gemeinsame Daten in Fahrzeugdokumenten nach EU-Richtlinien. ►

Feld der Zul.-besch.	enthalten in			Bezeichnung und Beschreibung
	Teil I	Teil II	Nr. in CoC	
R	X	X	38.	Farbe des Fahrzeugs in Klartext; Wert wird aus der CoC übernommen.
S.1	X	—	42.1	Anzahl der Sitze zusätzlich zum Fahrersitz; die Angabe erfolgt insgesamt und aufgeteilt nach vorne und hinten; Wert wird aus der CoC übernommen.
S.2	X	—	42.3	Anzahl der Stehplätze, nur für Kraftomnibusse
T	X	—	44.	Höchstgeschwindigkeit in km/h; Wert wird aus der CoC übernommen. Information ist wichtig für den richtigen Geschwindigkeitsindex bei Winterreifen.
U.1	X		45.	Standgeräusch in dB (A); Wert wird aus der CoC übernommen.
U.2	X		45.	Drehzahl in min ⁻¹ zu U.1; Wert wird aus der CoC übernommen.
U.3	X		45.	Fahrgeräusch in dB (A); Wert wird aus der CoC übernommen.
V.7	X		46.2	CO ₂ (in g/km); Wert wird aus der CoC übernommen.
V.9	X		46.1	Für die EG-Typgenehmigung maßgebliche Richtlinie; Wert wird nicht eingetragen, Daten stehen in CoC.
(2)	X	X	—	Hersteller-Kurzbezeichnung lt. Herstellerverzeichnis des KBA
(2.1)	X	X	—	Code zu 2 (Herstellerkennung, bisher zu 2)
(2.2)	X	X	—	Code zu D2 (Typkennung, bisher zu 3)
(3)	X	X	—	Prüfziffer zur Fz.-Ident-Nr.; wird vom KBA ermittelt.
(4)	X	X	37.	Art des Aufbaus
(6)	X	X	0.6	Datum der Typgenehmigung, in Verbindung mit Feld K
(7.1)	X	—	14.3	zulässige maximale Achslast vorne
(7.2)	X	—	14.3	zulässige maximale Achslast hinten
(8.1)	X	—	—	Im Zulassungsmitgliedstaat zulässige maximale Achslast vorne
(8.2)	X	—	—	Im Zulassungsmitgliedstaat zulässige maximale Achslast hinten
(9)	X	--	2.	Anzahl der Antriebsachsen; Wert wird aus der CoC übernommen.
(10)	X	X	—	Code zu P3 (Kraftstoffart)
(11)	X	X	—	Code zu R (Farbe des Fahrzeugs)
(12)	X	—	39.	Tankinhalt des Tanks bei Tankfahrzeugen in m ³
(13)	X	—	14.6	Stützlast in kg (Anhängerkupplung); Wert wird aus der CoC übernommen.
(14.1)	X	—	47	Bezeichnung der nationalen Emissionsklasse; bestimmt den Steuersatz pro 100 cm ³ .
(15.1)	X	—	32.	Bereifung Achse 1, Größenbezeichnung einschl. Load- und Speedindex
(15.2)	X	—	32.	Bereifung Achse 2
(16)	X	—	—	Nr. der Zulassungsbescheinigung Teil II
(17)	X	X	—	Merkmal zur Betriebserlaubnis. K = EG-Typgenehmigung, Daten sind konform; E = Fahrzeug ist aufgrund eines Gutachtens des amtlich anerkannten Sachverständigen zugelassen.
(18)	X	—	6.1	Fahrzeuglänge in mm; Wert wird aus der CoC übernommen.
(19)	X	—	7.1	Fahrzeugbreite in mm; Wert wird aus der CoC übernommen.
(20)	X	—	8	Fahrzeughöhe in mm; Wert wird aus der CoC übernommen.
(21)	X	—	—	Sonstige Vermerke. Die Zulassungsstelle ergänzt die Nutzungsangaben, z. B. Selbstfahrermietfahrzeug.
(22)	X	—	50. 51.	Anmerkungen. Zusätzliche Freigaben, z. B. Anhängerbetrieb oder Rad-Reifen-Kombinationen. Wert wird aus der CoC übernommen.
o.N.	—	X		Barcode der Fz.-Ident-Nr.; Wert wird aus der CoC übernommen.
(23)	—	X		Raum für interne Vermerke des Herstellers (hinter Nr. 51 der CoC)
(24)	—	X	—	Zeichen und Unterschriften des Herstellers für die Richtigkeit der CoC
(25)		X		Zusätzliche Vermerke der Zulassungsbehörde über den Verbleib einer Zulassungsbescheinigung Teil II, die eingezogen oder verloren wurde.
Anlage		X		bei Bedarf als Beiblatt zu Teil I
V.9	X	—	46.1	Für die EG-Typgenehmigung maßgebliche Schadstoffklasse.

Bild 1.4b Gemeinsame Daten in Fahrzeugdokumenten nach EU-Richtlinien.

1.3.3 Auftragserweiterung

Es muss sichergestellt sein, dass Aufträge nicht ohne Kundenzusage erweitert werden.

Prozessbeschreibung einer Auftragserweiterung:

- Feststellung eines Defektes bzw. einer erforderlichen Reparaturerweiterung,
- Information an den Werkstattleiter und Disponenten,

- Serviceberater holt Zustimmung zur Reparatur-erweiterung beim Kunden,
- Auftragserweiterung,
- Information an den Disponenten,
- Disponent beauftragt den Mechatroniker mit der Durchführung der Reparatur-erweiterung.

1.3.4 Umgang mit Kundeneigentum

Verschmutzungen und Beschädigungen am Kundeneigentum müssen vermieden werden. Folgende Punkte sind beim Umgang mit Kundeneigentum immer zu beachten:

- das Fahrzeug wird in die Werkstatt gefahren,
- das Fahrzeug wird vor der Reparatur mit Kotflügelschuttmatten, Sitzschonern, einem Lenkradschoner und Schuttmatten für den Fußraum versehen,
- evtl. vom Kunden mitgebrachte Produkte werden verwendet,
- beim Aus- oder Einbau der Fahrzeugteile werden diese verschmutzungs- und beschädigungsfrei gelagert,
- wird das Fahrzeug aus der Werkstatt gefahren, muss es abgeschlossen werden.

1.3.5 Hol- und Bringdienst

Bei der Auftragsannahme kann mit dem Kunden ein Hol- und Bringdienst vereinbart werden.

- Das Terminplanungsprogramm druckt den Hol-Bringdienst-Auftrag aus und gibt ihn an die Disposition weiter.
- Die Disposition plant die Termine an der Dispositionstafel und lässt vom Serviceberater den Reparaturauftrag erstellen.
- Ein Fremddienstleister oder der eigene Hol- und Bringdienst entnimmt den Auftrag aus der Dispositionstafel.
- Kunde unterschreibt Reparaturauftrag und erhält eine Kopie.
- Der Hol- und Bringdienst gibt das Fahrzeug beim Serviceberater oder der Disposition ab.
- Der Serviceberater führt die Punkte aus der Serviceberatung am Fahrzeug durch.
- Der Serviceberater informiert anschließend den Kunden über das Überprüfungsergebnis und stimmt einen Rücklieferungs-Termin mit dem Kunden ab.

- Nach der ordnungsgemäßen Auftragsdurchführung veranlasst der Disponent die termingerechte Rücklieferung des Fahrzeugs durch den Hol- und Bringdienst.

Bei Rückgabe eines Ersatzwagens muss Folgendes überprüft werden:

- Ist das Fahrzeug wie vereinbart vollgetankt?
- Ist das Fahrzeug beschädigt?
- Ist das Fahrzeug vollständig (Bedienungsanleitung, Sonderausstattungen, ...)?
- Ist das Fahrzeug sauber?

1.3.6 Fahrzeugübergabe

Nach der Durchführung der Reparatur erfolgt eine Endkontrolle durch den Serviceberater, um die technisch einwandfreie Qualität und den optisch einwandfreien Zustand des Fahrzeugs zu gewährleisten sowie die Vollständigkeit der erledigten Arbeiten am Fahrzeug zu überprüfen. Hierzu gehören auch die Fahrzeugüberprüfung auf Sauberkeit, eine Funktionsprüfung sowie eine kurze Probefahrt. Im Fahrzeug werden evtl. ein Dankeschönpräsent und Informationen über Zubehör deponiert.

Die Fahrzeugübergabe findet termingerecht, ohne Zeitdruck und kundenorientiert statt.

Bei der Rechnungsübergabe an den Kunden sind folgende Grundsätze zu berücksichtigen:

- Die Rechnungserstellung muss sofort nach der Reparaturdurchführung erfolgen,
- Übergabe und Erklärung der Rechnung durch den Serviceassistenten oder durch den Serviceberater,
- ggf. Vereinbarung notwendiger Folgetermine mit dem Kunden,
- Aushändigung des Kfz-Schlüssels mit der Information über den Fahrzeugstandort auf dem Betriebsgelände,
- freundliche Verabschiedung des Kunden.

1.4 Der Kfz-Mechatroniker im Geschäftsprozess

Der Kfz-Mechatroniker ist für die reibungslose und sorgfältige Durchführung auftragsgemäßer Arbeitsprozesse verantwortlich.

Sein Aufgabenbereich erstreckt sich auf die

- selbsttätige Überprüfung und Qualitätssicherung seiner durchgeführten Arbeiten,

- schnelle und ordnungsgemäße Durchführung seines Arbeitsauftrages,
- Einhaltung der Vorgabezeiten,
- Vermeidung von unnötigen Leer- und Rüstzeiten,
- Kommunikation mit dem Werkstattmeister oder Werkstattleiter bei unvorhergesehenen Reparaturhindernissen,

- schmutzfreie Deponierung ersetzter Teile zur Kundenbegutachtung im Kundenfahrzeug,
- Abgabe von Garantieteilen im Teilelager,
- Pflege und Instandhaltung seiner Werkzeuge und Arbeitsmittel,
- Sauberhaltung der Kundenfahrzeuge; keine Verstellung von Lenkrad, Radio, Sitzen,
- Probefahrt nach Aufforderung,
- ständige Fortbildung und Information durch Fachbücher und Herstellerinformationen.

- Es wird ein einheitlicher Führungsstil entwickelt.
- Den Mitarbeitern werden die Unternehmensziele verdeutlicht.
- Die Mitarbeiter tragen zur Innovation in der Werkstatt bei, z. B. über ein Vorschlagswesen.
- Jeder Mitarbeiter wird entsprechend seinem Potenzial eingesetzt und gefördert.
- Aus- und Weiterbildung des Werkstattpersonals werden gezielt geplant.
- Das Werkstattpersonal wird über die Kennzahlen der Werkstatt informiert.

1.4.1 Werkstattkultur

Die Kundenzufriedenheit hängt eng mit der Arbeitsatmosphäre in der Werkstatt zusammen. Stimmt das Klima bei der gesamten Werkstattbelegschaft, spürt das auch der Kunde.

Es herrscht eine positive Grundstimmung, die sich in einem freundlichen und höflichen Umgang aller Werkstattangehörigen mit dem Kunden zeigt. Nicht besondere Belegschaftsschulungsmaßnahmen, Trainingsprogramme oder Geldprämien sichern den Unternehmenserfolg, sondern die gelebte Werkstattkultur. Die Kunden werden so behandelt, wie die Mitarbeiter von der Geschäftsleitung. Die positive Einstellung jedes Werkstattangehörigen ist Grundlage für eine erfolgreiche Zusammenarbeit untereinander und auch in der Kommunikation mit den Kunden hilfreich. Denn der Kunde ist das Kapital einer Firma, er bezahlt alle Werkstattangehörigen vom Chef bis zum Auszubildenden. Wichtig sind deshalb zur Sicherung der Werkstattzukunft die folgenden Punkte:

- Die Werkstattangehörigen sind motiviert und in Teams integriert.

verbal = sprachlich

nonverbal = nicht-sprachlich

1.4.2 Kommunikation in der Werkstatt

Jede zwischenmenschliche Verständigung, egal ob verbal, nonverbal oder schriftlich, bezeichnet man als Kommunikation. Sie umfasst sämtliche Vorgänge, die von einem Informationssender zu einem Informationsempfänger bei der Informationsübermittlung auftreten. Die Information kann auf unterschiedliche Weise zum Empfänger transportiert werden. Neben der Sprache oder der Schrift werden auch nonverbale Übertragungsmedien eingesetzt, z. B. Körpersprache (Mimik, Gestik).

Vier Seiten einer Nachricht. Jede Nachricht hat nach dem Kommunikationsforscher Schulz von Thun vier Seiten (Bild 1.5):

- den Sachinhalt,
- den Appell,
- den Beziehungsinhalt,
- die Selbstoffenbarung.

Jede Kommunikation läuft immer auf allen vier Ebenen ab (Tabelle 1.1).

Sachinhalt ist, worüber der Sender den Empfänger informiert. In der Werkstatt sollte der Sachinhalt z. B. von einem Serviceberater bei einem Kundengespräch nach folgenden Regeln der Gesprächsführung übermittelt werden:

- angemessene Wortwahl, nur benötigte Fachausdrücke verwenden, diese ggf. erklären,
- klare Aussprache und angemessene Lautstärke,
- kundenangepasste Sprechgeschwindigkeit,
- monotone Sprechweise vermeiden,
- Wiederholungen vermeiden,
- nicht verstandene Kundenfragen durch höfliches Nachfragen klären,
- Meinungen und Aussagen des Kunden sachlich auf mögliche Auswirkungen hin korrigieren.

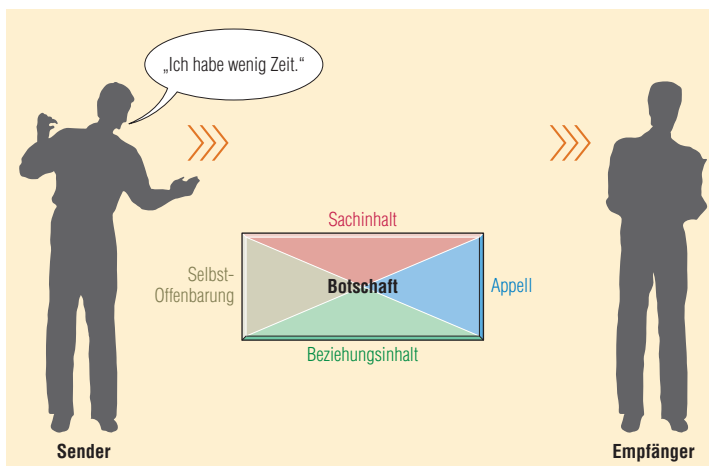


Bild 1.5 Die vier Seiten einer Nachricht.

Ebene	Sender	Empfänger
Sachinhalt	Worüber ich informiere	Wie ist der Sachverhalt?
Appell	Wozu ich dich veranlassen möchte	Was soll ich tun, denken, fühlen?
Beziehung	Was ich von dir halte und wie wir zueinander stehen	Wie schätzt du mich ein? Was bin ich dir wert?
Selbstoffenbarung	Was ich von mir kundtue	Was ist das für einer?
Tabelle 1.1	Kommunikationsebenen.	

Appell. Was will der Sender beim Empfänger erreichen?

Offene Appelle drücken den Wunsch des Senders aus, werden aber oft unterdrückt aus Angst zurückgewiesen zu werden (Erziehung zur Zurückhaltung).

Verdeckte Appelle sollten vermieden werden, denn die können als Manipulation aufgefasst werden. Die Aussage „In Kürze werden schärfere Abgasbestimmungen verabschiedet!“ kann ein Kunde – situationsbezogen – auch so auffassen, dass er zu einer Nachrüstung oder einem Fahrzeugneukauf veranlasst werden soll. Bei Kundengesprächen sollte der Werkstattmitarbeiter nur mit echten Appellen ohne ungeschwollene Bemerkungen argumentieren.

Beziehung. Was hält der Sender vom Empfänger? Bei Kundenkontakt sollte der Werkstattmitarbeiter ein positives Verhalten gegenüber dem Kunden zeigen, indem er dem Kunden seine Wertschätzung zeigt und ihm genügend Freiräume bei einer Entscheidung einräumt.

Selbstoffenbarung. Was gibt der Sender von sich selbst preis? Bei der Selbstoffenbarung werden Gefühle und Absichten vermittelt. Ein solches Verhalten wird als authentisch und meistens positiv registriert. Wenn der Werkstattmitarbeiter sich in die Situation des Kunden versetzen kann, dann wird er auch Angebote im Kundeninteresse unterbreiten, die dieser akzeptieren kann.

Die Ohren des Empfängers. So wie der Sender einer Nachricht auf unterschiedlichen Ebenen sendet, so kann diese Nachricht vom Empfänger auf völlig unterschiedliche Weise aufgenommen werden. Wie kann die Aussage „Ich habe wenig Zeit“ beim Empfänger ankommen (Bild 1.6)? – Grundsätzlich sollte man sich bei jeder Art der Kommunikation der unterschiedlichen Möglichkeiten, eine Botschaft zu verstehen, bewusst sein.

1.4.3 Nonverbale Kommunikation oder Körpersprache

Die Körpersprache umfasst

- Blicke,
- Mimik,
- Gestik und die
- Körperhaltung.

Durch Körpersprache werden menschliche Beziehungen auch ohne Worte – bewusst oder unbewusst – aufrechterhalten und gesteuert. Die Körpersprache zwischen Kunden und Werkstattmitarbeitern übernimmt einen wesentlichen Anteil der Kommunikation. Die Körpersprache des Kunden signalisiert dem Serviceberater z. B., ob er mit dem angebotenen Service und Preis zufrieden ist oder nicht. Aus der Kommunikationstheorie stammt die Aussage: „Man kann nicht nicht kommunizieren“. Die Worte mögen nicht immer der Wahrheit entsprechen, aber „der Körper lügt nie“.

Blickkontakt. Blicke können vielsagend sein. Bei Gesprächen sollte man seinem Gesprächspartner in die Augen blicken, aber nicht so starr, dass dies als unangenehm empfunden wird. Bei Kunden-

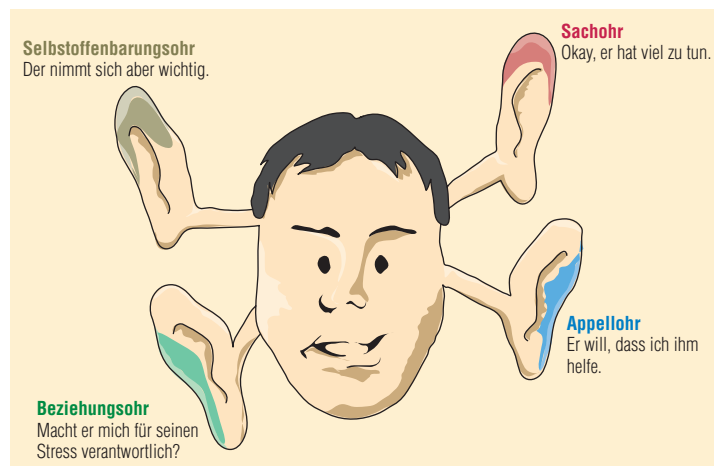


Bild 1.6 Botschaften mit verschiedenen Ohren hören.

kontakten sieht der Mitarbeiter dem Kunden freundlich und offen ins Gesicht. Bei fehlendem Augenkontakt zum Kunden kann man dessen Aufmerksamkeit durch einen anderen Gesprächsinhalt oder durch neue Argumente fordern.

Vor dem Gespräch signalisiert der Blickkontakt vom Mitarbeiter zum Kunden, dass dieser wahrgenommen wurde und jederzeit den Mitarbeiter ansprechen kann. Der Blickkontakt darf nicht zu einer Fixierung des Kunden „von oben nach unten“ ausarten.

Mimik. Die Ausdrucksbewegungen des Gesichts werden als Mimik bezeichnet. Sie entsteht durch die Bewegung von 36 Gesichtsmuskeln. Die obere Gesichtshälfte lässt sich schwerer steuern als die untere. Mimik vermittelt Freude, Ärger, Trauer, Unlust, Ekel, Angst, Überraschung oder auch Unschlüssigkeit.

Gestik ist der Ausdruck, der durch Körperbewegungen entsteht. Bewegungen des Kopfes, der Hände, der Füße und die Körperhaltung können beim Gespräch die Wortinformationen verstärken. Viele Gesten können unbeabsichtigte Gefühlsregungen entlarven:

- Begeisterung durch Hochwerfen der Arme,
- Interesse durch leichtes Kopfnicken,
- Aggression durch Ballen einer Faust,
- Unsicherheit durch Hin- und Herbewegung des Kopfes,
- Nervosität durch Spielen mit oder an Gegenständen (Kugelschreiber),
- Ablehnung durch die Unterbrechung des Blickkontaktes oder eine gerümpfte Nase,
- Erstaunen durch geöffneten Mund,
- Abschottung durch zusammengekniffene Lippen,
- Ratlosigkeit durch Kratzen am Kopf.

In Gesprächen – insbesondere in Kundengesprächen – sollten bestimmte Regeln und Verhaltensweisen beachtet werden (Bild 1.7).

Körperhaltung. Durch die gesamte Haltung des Körpers und die Bewegung einzelner Körperteile werden dem Gesprächspartner unbewusst Signale übermittelt, die Interesse oder Desinteresse, Sympathie oder Ablehnung vermitteln (Tabelle 1.2).

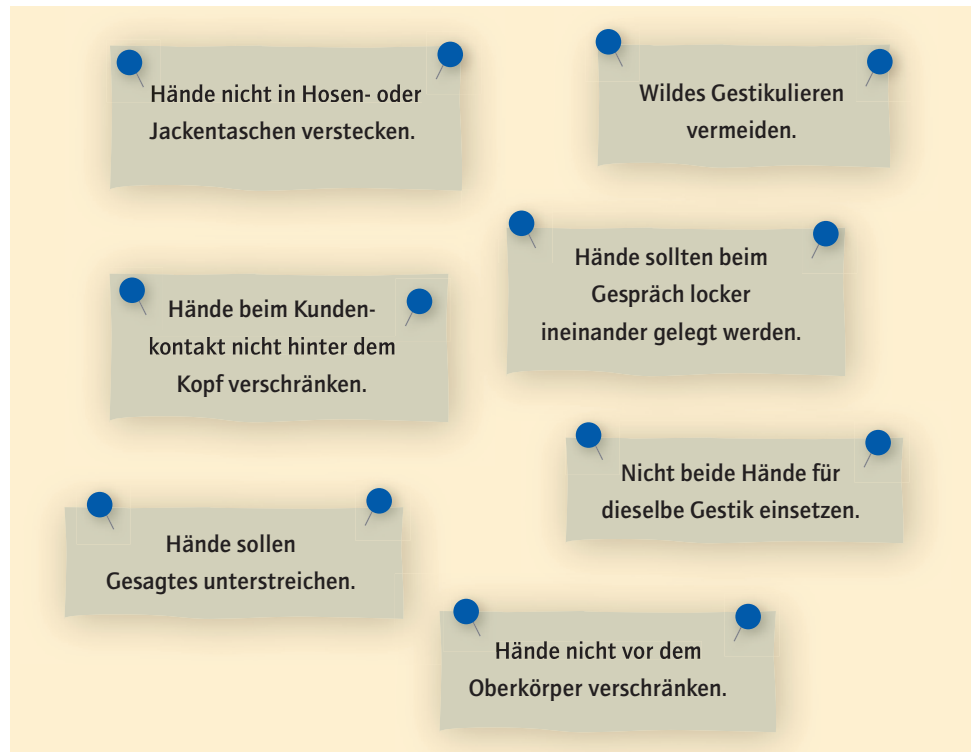


Bild 1.7 Gestik-Regeln.

Positive Signale	Negative Signale
Zuwendung an den Gesprächspartner.	Abwendung des Körpers vom Gesprächspartner.
Aufgerichteter Kopf als Zeichen der Informationsbereitschaft.	Kopf und Oberkörper sinken in sich zusammen.
Vorwärtsbewegung von Kopf und Oberkörper als Signal der Übereinstimmung.	Kopf und Oberkörper weichen hinter die Körpermitte zurück.
Tabelle 1.2	Körperhaltungssignale.

1.4.4 Arbeitstechniken

Während des Berufsalltags kommt man mit sehr vielen unterschiedlichen Situationen in Berührung, für deren Bewältigung oder Lösung sehr verschiedene Arbeitstechniken zur Verfügung stehen. Da gibt es Arbeiten, die im Team zu lösen sind, Gesprächssituationen oder Konflikte

mit Kunden oder Vorgesetzten, das Vorstellen von Arbeitsergebnissen usw. Für die situationsangemessene Lösung von Aufgaben ist es hilfreich, unterschiedliche Arbeitstechniken zu kennen und einsetzen zu können (Tabelle 1.3).

Arbeitstechnik	Zweck/Einsatz	Merkmale
Brainstorming	Problemlösungsmethode für Gruppenarbeit	Sammeln und Aufschreiben von spontanen Ideen in der Gruppe durch Zuruf; die Bewertung erfolgt erst in einer anschließenden Phase.
Mind Map (Bild 1.8, S. 24)	Problemlösungsmethode für Einzelarbeit	Bildliche Darstellungen von Gedankengängen; der zentrale Begriff steht in der Mitte eines Blattes, von dort ausgehend werden an immer feineren Verästelungen die Stichworte geschrieben.
Metaplan/Kärtchenabfrage	Problemlösungsmethode/Präsentationsmethode	Teilnehmer schreiben Beiträge stichpunktartig auf Kärtchen; dadurch Sammeln, Gewichten und Präsentieren der Ideen auch vieler Personen möglich.
Flip-Chart	Problemlösungsmethode/Präsentationsmethode	Die Inhalte werden häufig erst während einer Sitzung erarbeitet; funktioniert wie ein riesengroßes Heft.
Overhead-Projektor oder Beamer (an Computer angeschlossen)	Präsentationsmethode	Über einzelne Folien (OH-Projektor) oder Diashows (Software; Projektion über Beamer) werden die Inhalte vermittelt.
Tabelle 1.3	Arbeitstechniken.	

Problemlösungsphasen. Aufgaben oder Probleme lassen sich mit den unterschiedlichsten Methoden lösen. In jedem Fall empfiehlt sich eine bestimmte Reihenfolge beim Herangehen

an die Problemlösung (Bild 1.9, S. 24). Während der sechs einzelnen Phasen können die unterschiedlichsten Problemlösungs- und Gruppentechniken angewendet werden.

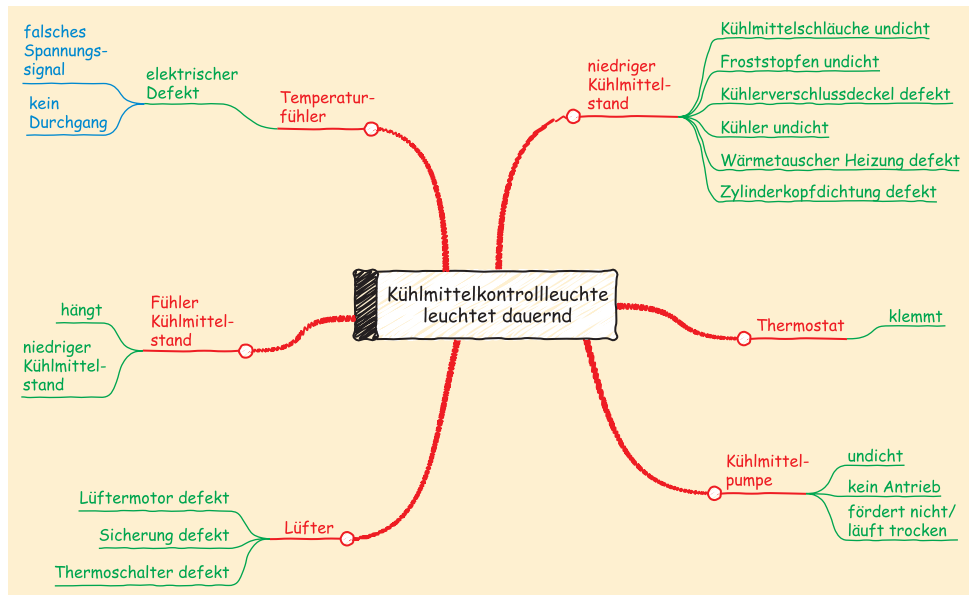


Bild 1.8 Mind Map.

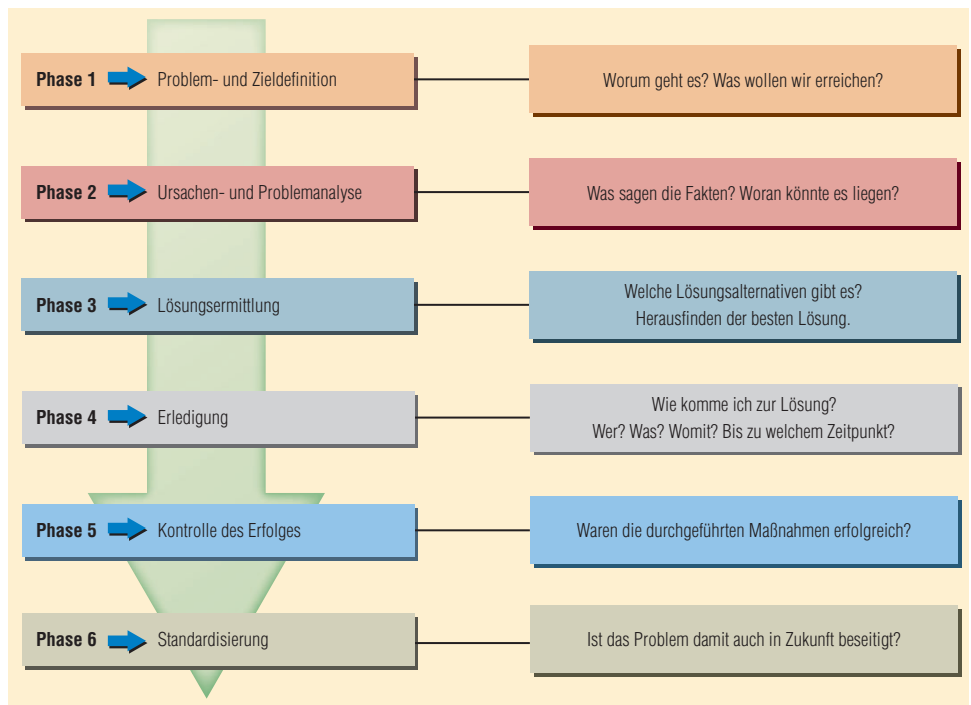


Bild 1.9 Phasen eines Problemlösungsprozesses.

auditiv = hörend;
über die Ohren

visuell = sehend;
über die Augen

Kundengespräche. Der Kunde muss schon bei der Begrüßung durch den Serviceberater spüren, dass er wichtig ist und die Beratungszeit nur ihm gehört.

Für eine kundenorientierte Beratung muss der Serviceberater die richtige Fragetechnik (Tabelle 1.4) oder Präsentationstechnik einsetzen. Er muss herausfinden ob der Kunde mehr auf auditive oder visuelle Reize anspricht. Bei der Erfüllung des Kundenwunsches ist es wichtig, dass der Kunde nicht überredet, sondern überzeugt wird.

	offene Fragen	geschlossene Fragen
Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> • Häufig „W“-Fragen; • der Befragte kann seine Antwort frei formulieren. 	Sie sind nur mit „ja“ oder „nein“ zu beantworten.
Beispiele	Welche Eigenschaften müsste Ihr neues Auto unbedingt haben? „W“-Fragen mit wo, wie wodurch, welche, ...	Haben Sie schon mal daran gedacht, sich ein neues Auto zu kaufen?
Tabelle 1.4	Frage Techniken.	

1.4.5 Reklamationen

Unter einer Reklamation versteht man eine Beanstandung, Beschwerde, Klagen oder Einsprüche bei

- defekten Ersatzteilen,
- misslungenen Reparaturversuchen,
- Nichteinhalten von Terminen,
- unübersichtlicher Rechnungserstellung,
- missverständlicher Kundenberatung,
- nichterfüllten Produkterwartungen (z. B. Kraftstoffverbrauch, Höchstgeschwindigkeit).

Jede Reklamation muss ernst genommen werden. Bei der Annahme der Reklamation sollte der Serviceberater dem Kunden erst einmal zuhören, um den Reklamationsgrund zu erkennen. Erst dann wird – möglichst gemeinsam mit dem Kunden – eine Problemlösung entwickelt. Das Kundenvertrauen muss wiederhergestellt werden, damit aus der Unzufriedenheit des Kunden wieder eine Loyalität gegenüber der Werkstatt und seinen Mitarbeitern entsteht.

Verhaltensregeln bei Reklamationen:

- Anhören des Kundenproblems,
- Verständnis für das Kundenproblem zeigen,
- Bedanken, dass der Kunde der Werkstatt die Chance gibt, den Fehler zu beseitigen;
- für den (vermeintlichen) Fehler entschuldigen, obwohl die Fehlerursache noch nicht feststeht;
- den Kunden an das langjährige kooperative Werkstatt-Kundenverhältnis erinnern;
- das Reklamationsgespräch mit dem Kunden nicht vor anderen Kunden führen, sondern möglichst ungestört an einem ruhigen Ort;
- die Reklamation sofort bearbeiten und dem Kunden das Ergebnis so schnell wie möglich mitteilen;
- bei unberechtigter Reklamation sollte eine Kulanzregelung vorgeschlagen und dem Kunden diese großzügige Geste auch vermittelt werden.

1.5 Schutzmaßnahmen

Der Mensch steht im Mittelpunkt technischer Systeme. Trotz automatisierter Prozesse ist ein technisches System ohne den Eingriff des Menschen nicht zu handhaben. Dadurch entstehen für den Menschen Gefährdungspotenziale, die direkt als körperliche Gefährdung auftreten können (z. B. Verletzungs- und Unfallrisiken am Arbeitsplatz). Indirekte Gefährdungspotenziale ergeben sich z. B. aus der Gefährdung der Umwelt (Klimaveränderung u. ä.). Auch physische und psychische Belastungen des Menschen sind eingeschlossen. Technische Systeme müssen demnach sicherheits-, menschen- und umweltgerecht konzipiert sein.

Sicherheitstechnik. Energieflüsse in technischen Systemen gefährden Menschen. Deshalb sind Maßnahmen zum unmittelbaren, mittelbaren und hinweisenden Schutz notwendig.

Maßnahmen zum unmittelbaren Schutz sind vorrangig, d. h. alle Systeme sind so ausulegen, dass eine Gefährdung auszuschließen ist. Richtlinien geben Auskunft für ein sicherheitsgerechtes Gestalten von technischen Systemen.

Bei nicht ausreichendem unmittelbarem Schutz werden zusätzliche mittelbare Schutzmaßnahmen eingesetzt. Als mittelbare Schutzmaßnahmen dienen z. B. Schutzhauben, Verkleidungen u. ä.

Da weder unmittelbare noch mittelbare Schutzmaßnahmen Gefahrenpotenziale ganz ausschließen können, wird mit hinweisender Sicherheitstechnik vor Gefahren gewarnt (Bild 1.10, S. 26). Die Arbeit an oder mit technischen Systemen erfordert ein sicherheitsbewusstes Verhalten!

Verbotszeichen



Feuer, offenes Licht und Rauchen verboten



Mit Wasser löschen verboten



Zutritt für Unbefugte verboten



Berühren verboten



Nicht schalten



Verbot für Personen mit Herzschrittmacher



Nichts abstellen oder lagern

Warnzeichen



Warnung vor feuergefährlichen Stoffen



Warnung vor



Warnung vor giftigen Stoffen



Warnung vor ätzenden Stoffen



Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung



Warnung vor brandfördernden Stoffen



Warnung vor elektromagnetischem Feld



Warnung vor gesundheitsschädlichen oder reizenden Stoffen



Warnung vor Gefahren durch Batterien



Warnung vor explosionsartiger Atmosphäre



Warnung vor Rutschgefahr



Warnung vor Stolpergefahr



Warnung vor Absturzgefahr



Warnung vor radioaktiven Stoffen oder ionisierenden Strahlen

Gebotszeichen



Augenschutz benutzen



Schutzhelm benutzen



Gehörschutz benutzen



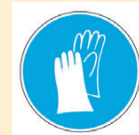
Atemschutz benutzen



Schutzkleidung benutzen



Gesichtsschutzschild benutzen



Schutzhandschuhe benutzen

Rettungszeichen



Rettungsweg



Notausgang



Erste Hilfe



Augenspüleinrichtung



Richtungsangabe für Erste-Hilfe-Einrichtungen

Brandschutzzeichen



Löschschlauch



Leiter



Feuerlöschgerät



Brandmelder

Bild 1.10 Sicherheitszeichen (Auswahl) nach DIN/BGV (Berufsgenossenschaftliche Vorschriften).

1.6 Umweltschutz in der Werkstatt

Technische Systeme geben im Betrieb Emissionen an die Umwelt ab. Dies können Lärm, Abgase, Staubpartikel und chemische Substanzen sein, die auf Mensch sowie auf Tier- und Pflanzenwelt als Immissionen einwirken (Bild 1.11).

Der Mensch reagiert mit gesundheitlichen Schäden, die Umwelt mit Schäden oder dem Verlust von Ressourcen (Vorräten), die oft nicht erneuerbar sind.

Jede Werkstatt muss sich mit dem Umweltschutz auseinandersetzen, denn rechtliche Vorgaben erzwingen diese Maßnahmen. Neben dem Verwaltungsrecht sind auch das Zivilrecht und Strafrecht für den Umweltschutz zuständig.

Zum Umweltschutz gehören die Bereiche

- Abfälle,
- Abwasser,
- Gefahrstoffe,
- Luft und Lärm und
- Altlasten.

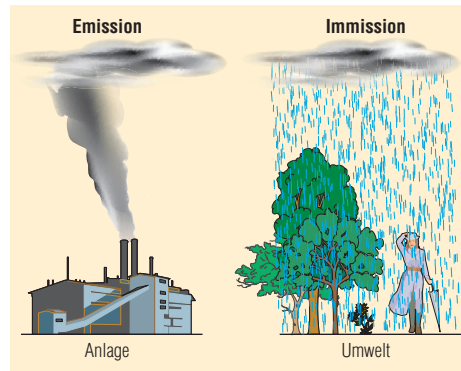


Bild 1.11 Gefährdung durch den Umgang mit gefährlichen Stoffen.

Emission:
Aussenden von ...

Immission:
Einwirken auf ...

1.6.1 Organisation des Umweltschutzes in der Werkstatt

Die Geschäftsleitung bestimmt einen Umweltschutzbeauftragten. Dessen Aufgaben sind

- die Beratung der Geschäftsleitung,
- die Kontrolle und Überwachung des Umweltschutzes,
- Information und Aufklärung des Werkstattpersonals über Umweltschutz,
- Dokumentation der umweltschutzorientierten Maßnahmen.

Für Tätigkeiten, die die Umwelt beeinflussen können, muss der Betrieb sachkundiges Personal bereitstellen, z. B. für

- Arbeiten an Airbags und Gurtstraffern,
- Instandsetzungsarbeiten an Klimaanlage,
- Kontrolle von Abscheideranlagen,
- Verkauf und Lagerung von Gefahrstoffen.

Airbag → S. 563
Gurtstraffer
→ S. 566
Klimaanlage
→ S. 546

1.6.2 Sammlung und Entsorgung von Abfällen

Mit der Sammlung und der Entsorgung von Abfällen sollen im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft verwertbare Stoffe wieder der Produktion zugeführt werden (Recycling) und die Entsorgung auf umweltgerechte Art erfolgen (Bild 1.12). Dazu wurden folgende Verordnungen geschaffen:

- Altauto-Verordnung,
- Altöl-Verordnung,
- Verpackungs-Verordnung,
- Batterieverordnung,
- Elektronikschrott-Verordnung.

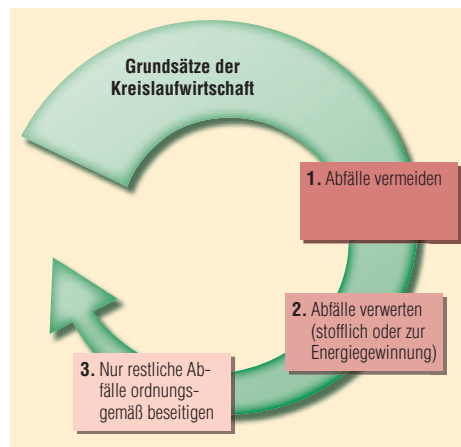


Bild 1.12 Umgang mit Abfällen.

Abfallklassifizierung. Für die Klassifizierung des Abfalls ist ein Abfallkatalog heranzuziehen. Die Abfallstoffe werden anhand von Schlüsselnummern und Bezeichnungen eindeutig gekennzeichnet.

Beispiele aus dem europäischen Abfallkatalog (EAK):

160601 Bleibatterien
160103 Altreifen
070304 Lösungsmittel (Nitroverdünnung)

Mit der Schlüsselnummer wird die Überwachungsbedürftigkeit eines Stoffes festgestellt. Die Stufen sind

- besonders überwachungsbedürftige Abfälle,
- überwachungsbedürftige Abfälle,
- nicht überwachungsbedürftige Abfälle.

Nachweispflichtig sind die Werkstatt, ggf. der Transporteur, der Beförderer oder das Entsorgungsunternehmen. Die Werkstatt muss ein Abfallnachweisbuch führen, in dem die Entsorgungsnachweise, die Begleit- und Übernahmescheine und die Quittungen des Verwerterers gesammelt werden.

1.6.3 Abwasser

Die rechtlichen Grundlagen für die Behandlung von Abwasser sind geregelt

- im Wasserhaushaltsgesetz,
- in der Abwasserverordnung,
- in der Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift,
- in der Indirekteinleitungsverordnung.

Man unterscheidet bei den in der Werkstatt anfallenden Abwasserarten in

- unbelastetes Niederschlagwasser,
- haushaltsähnliches Schmutzwasser,
- Wasser aus der Waschanlage,
- mineralölverschmutztes Abwasser.

Abwasseranfallstellen im Kfz-Betrieb. Die Abwasser aus der Werkstatt müssen über einen Schlammfang mit Öl- und Benzinabscheider geleitet werden. Bei der Reinigung des Werkstattbodens sollte vor einer Nassreinigung der Boden gefegt oder gesaugt werden und alle verschütteten Flüssigkeiten mit geeigneten Bindemitteln entfernt werden. Für die Nassreinigung sollten tensidearme Reinigungsmittel verwendet werden.

Bei der Teilereinigung sollten Reinigungsgeräte mit Kreislaufsystemen verwendet werden.

Bei der Motorwäsche kommt es durch den hohen Druck zu einer Emulsionsbildung zwischen Reinigungsmittel und Öl. Dieses Gemisch ist sehr schwer aus dem Abwasser zu trennen. Bei Motorwäschen ist besonders darauf zu achten, dass die rechtlichen Anforderungen an die Abwasserwerte nicht überschritten werden.

Bei der Entkonservierung gelangen große Mengen paraffinhaltiges Wachs und Entwaxer ins Abwasser, die die vorhandenen Abscheider überfordern und Abwassergrenzwerte überschreiten. Aus Kostengründen sollte das Entwachsen von Fremdfirmen ausgeführt oder ein Kreislaufsystem eingesetzt werden.

Die Waschkammer muss mit einem Schlammfang mit Öl- und Benzinabscheider versehen sein.

Die Gebrauchtwagenaufbereitung sollte abwasserfrei gehalten werden. Auch Karosseriewerkstatt und Lackiererei sollten möglichst abflussfrei angelegt sein.

Im Batterielageraum dürfen keine Abflüsse vorhanden sein, da es sonst zu einer erheblichen Belastung des Abwassers mit Schwermetallen kommen könnte.

Bei der Tankstelle ist sicherzustellen, dass keine Kraftstoffe oder Öle in das Erdreich gelangen.

Die Abscheider müssen dem Standard nach DIN 1999 entsprechen. Sie arbeiten überwiegend nach dem Schwerkraftsystem.

Tenside = waschaktive Substanzen

Emulsion = Mischung von wasser- und ölhaltigen Substanzen

1.6.4 Gefahrstoffe

Gefahrstoffe werden nach §19 ChemG eindeutig klassifiziert. Es sind gefährliche Stoffe und Zubereitungen mit folgenden Eigenschaften:

- explosionsgefährlich,
- brandfördernd,
- hochentzündlich,
- sehr giftig,
- reizend,
- krebserregend.

Kennzeichnung von Gefahrstoffen. Zum Schutz der Werkstattmitarbeiter beim Umgang mit Gefahrstoffen müssen in der Werkstatt Betriebsanweisungen angebracht sein. Daneben müssen Mitarbeiter mindestens einmal jährlich anhand der Betriebsanweisung unterwiesen werden im Umgang mit Gefahrstoffen. Dies ist per Unterschrift zu bestätigen.

1.6.5 Altlasten, Luft und Lärm

Der Betrieb ist verpflichtet, Bodenverunreinigungen durch z. B. Öl und Benzin und eine dadurch entstehende Grundwasserverunreinigung zu verhindern. Neben der Vorsorgepflicht besteht – bei einer trotzdem festgestellten Bodenverunreinigung – eine Informationspflicht der zuständigen Behörden.

Altlasten. Mögliche Ursachen für Altlasten in einer Kfz-Werkstatt:

- Nicht sachgemäße Lagerung und Verwendung von Gefahrstoffen (z. B. Lacke, Altöl, Kraftstoffe),
- Schäden an Abwasserkanälen,
- Korrosion an Leitungssystemen,
- Schäden an betrieblichen Anlagen (z. B. Tankstellen, Unterflurgruben, Ölabscheideanlagen),
- betriebsstoffverunreinigte Bodenflächen (z. B. nicht befestigter Waschplatz für Motor- und Unterwäsche).

Lärm. Intensive Lärmquellen in der Werkstatt sind

- Karosseriearbeiten,
- Kompressoren,
- Abgasuntersuchungen,
- Leistungsprüfstände,
- Reifenmontage.

In diesen Bereichen muss ein Hörschutz getragen werden. Außerdem müssen diese Werkstattbereiche mit den vorgeschriebenen Gebotsschildern gekennzeichnet sein. Tabelle 1.5 (Seite 30) listet Möglichkeiten der Lärmvermeidung auf.

Luftverunreinigungen. Vermeidung von Luftverunreinigungen in der Werkstatt:

- regelmäßige Wartung der Heizungsanlagen und Verwendung neuester Brenner,
- Einsatz von alternativen Technologien (Brauchwassererwärmung durch Sonnenkollektoren),
- Einsatz von wasserlöslichen Lacken,
- Verwendung von Maschinen mit eigenen Absaugvorrichtungen (Schleifmaschinen).

Sicherheitszeichen
→ S. 26



Möglichkeit der Lärmreduzierung	Beispiele
Lärmarme Werkzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Austausch alter lärmintensiver durch neue lärmreduzierte Werkzeuge • Austausch undichter Druckluftanschlüsse • Überprüfung von Druckluftkompressoren auf Lagerschäden oder Unwuchten
Lärmarme Einrichtungen	Einbau von schallschluckenden Materialien und schallschluckenden Wänden
Abschirmung von Lärmquellen	<ul style="list-style-type: none"> • Sofortiges Schließen von Toren und Türen nach Ein- und Ausfahrt (z. B. bei Waschanlagen, Leistungsprüfständen oder im Karosseriebereich) • Karosseriearbeiten in abgeschlossenen Räumen • Bepflanzungen zwischen Schallquelle und Nachbarschaft
Persönliches Verhalten der Werkstattmitarbeiter	<ul style="list-style-type: none"> • Kein unnötiges Betreiben von lärmzeugenden Maschinen • Kein unnötiges Laufenlassen oder Hochdrehen von Motoren • Vermeiden von Reparaturarbeiten im Freien • Absauganlagen nur bei Bedarf laufen lassen • Unterweisung der Mitarbeiter in den lärmintensiven Arbeitsbereichen • Gehörschutzverwendung
Tabelle 1.5	Vermeidung von Lärmemissionen.

1.7 Inspektion mit Ölwechsel

Kommt ein Kunde mit seinem Fahrzeug zur Inspektion in die Werkstatt, findet im Prinzip immer der gleiche **Ablauf** statt.

Ablauforganisation
→ S. 14

1.7.1 Der Kundenauftrag

Der Kunde findet sich ein in der Abteilung Reparaturannahme/Kundenservice. Der Serviceberater oder Kundendienstmeister bespricht die notwendigen Arbeiten mit dem Kunden möglichst bei dessen Fahrzeug. Viele Werkstätten verfügen deshalb über einen Direktannahmeplatz mit Hebebühne, was eine vollständige Sichtkontrolle des Fahrzeuges gemeinsam mit dem Kunden ermöglicht. Anschließend werden die notwendigen persönlichen und fahrzeugbezogenen Daten erfasst oder aus der Kundendatei aktiviert:

- Name, Adresse und Telefonnummer des Kunden,
- amtliches Kennzeichen,
- Fahrzeugtyp mit KBA-Schlüssel-Nr. zu 2.1 und zu 2.2 (Zulassungsbescheinigung T1),
- Motorkennbuchstaben,
- aktueller km-Stand.

Außerdem enthält der Auftrag den Reparaturumfang und die Unterschrift des Kunden. Auftragskarte, Inspektionspläne und sonstige Unterlagen werden in einer Auftragsmappe an den Werkstattleiter geleitet, der die termin- und fachgerechte Durchführung der Arbeiten organisieren muss.

1.7.2 Inspektion eines Fahrzeuges

Für alle Fahrzeuge gibt es einen vom Hersteller verbindlich vorgeschriebenen Inspektionsplan. Der Arbeitsumfang ist im Serviceheft des Fahrzeuges und in den Serviceprogrammen in der Werkstatt hinterlegt. Eine Inspektion ist nach einer bestimmten km-Leistung oder nach einem bestimmten Zeitraum vorgeschrieben. Neben den festen Inhalten einer Inspektion können noch Zusatzarbeiten erforderlich sein, die erst nach mehreren Inspektionen durchzuführen sind. Beispielsweise kann zwar alle 30 000 km eine Inspektion mit Ölwechsel fällig sein, ein Zahnriemenaustausch aber nur alle 120 000 km.

Inspektionspläne. Die Inspektionspläne der Hersteller sind meist nach logischen Gesichtspunkten gegliedert. Sie liefern dem Mitarbeiter eine Hilfe, in welcher Reihenfolge er am besten vorgeht. So ist z.B. für eine Inspektion mit Ölwechsel folgende Reihenfolge der Arbeitsgänge denkbar:

- Fahrzeug abgelassen,
- Fahrzeug ganz angehoben,
- Fahrzeug halb angehoben,
- Motorraum,
- Endkontrolle,
- Probefahrt,
- nach der Probefahrt.

Grundsätzliche, allgemeine Arbeiten gelten immer und bei allen Arbeiten am Fahrzeug:

- Schutzabdeckung für Polster, Lenkrad und Kotflügel verwenden,
- Fahrzeug nur auf den zulässigen Punkten anheben,
- alle Materialien vor Arbeitsbeginn bereitlegen,
- Umwelt- und Arbeitssicherheitsvorschriften genau einhalten,
- Zurücksetzen der Intervallanzeige im Steuergerät des Fahrzeuges.

Abschluss der Arbeiten. Nachdem das Fahrzeug auf dem Kundenparkplatz zur Übergabe an den Kunden bereitgestellt ist, muss derjenige Mitarbeiter, der für die korrekte Arbeit verantwortlich ist

- den Inspektionsplan abzeichnen sowie
- alle verwendeten Materialien (z. B. die genaue Ölbezeichnung),
- zusätzliche Arbeiten und
- die gesamte Arbeitszeit auf der Auftragskarte dokumentieren.

Die Auftragsmappe wird ins Büro weitergeleitet und dort die Rechnung auf der Basis der dokumentierten Arbeiten erstellt. Alle Belege werden archiviert, damit man nachweisen kann, dass korrekt gearbeitet wurde, falls es eine Kundenbeanstandung gibt.

Fahrzeugübergabe. Der Kundendienstmeister übergibt das Fahrzeug an den Kunden, damit dieser sich von den korrekt durchgeführten Arbeiten überzeugen kann. Dazu werden dem Kunden

- die einzelnen Positionen der Rechnung erklärt,
- die gemachten Arbeiten beschrieben,
- Zusatzarbeiten begründet,
- auf den nächsten Servicetermin und auf notwendige Reparaturen hingewiesen, die demnächst notwendig werden.

1.7.3 Der Ölwechsel

Fahrzeughersteller schreiben oft verschiedene Ölsorten und Qualitäten für gleiche Fahrzeugtypen oder sogar für gleiche Motoren vor. Daher müssen Baujahr und sonstige Daten genau überprüft werden. Zusatzarbeiten wie Ölfilterwechsel sind zu berücksichtigen.

Der prinzipielle Arbeitsablauf wird im Arbeitsablaufplan (Bild 1.13, Seite 32) dargestellt. Der Arbeitsablaufplan ist Bestandteil eines Arbeitsplanes, der die gesamte Tätigkeit am Fahrzeug in größeren Schritten entsprechend dem Auftrag beschreibt.

Nr.	Arbeitsschritte	Werkzeuge / Hilfsmittel	Arbeitsschutz / UVV Hinweise
1.	Arbeitsauftrag lesen: Ölwechsel mit Filter	Wartungsplan	vorgeschriebene Ölsorte beachten
2.	Fahrzeug vorbereiten	Schonbezug, Kotflügeldecken	
3.	Arbeitsplatz vorbereiten, Montagepunkte festlegen	Hebebühne	kein Gang eingelegt?
4.	Motorhaube öffnen		
5.	Öleinfülldeckel öffnen		vollständiger Ablauf des Öls
6.	Fahrzeug anheben		Hebearme und Hebepunkte prüfen
7.	Unterbodenverkleidung abbauen		Verbrennungsgefahr
8.	Ölablassschraube lösen Öl ablassen Schraube und Gewindebohrung säubern (auf Metallspäne achten)	Spezialwerkzeug für Ölablassschraube Ölauffangbehälter	Hautschäden bei Kontakt mit Öl und Verbrennungsgefahr
9.	Ölablassschraube mit neuer Dichtung festziehen	Drehmomentschlüssel	
10.	Ölfilter abschrauben	Spezialschlüssel	Ölfilter fachgerecht entsorgen
11.	neuen Ölfilter montieren, Dichtung vorher mit Öl benetzen		von Hand anziehen
12.	Fahrzeug ablassen		
13.	neues Öl einfüllen Öleinfülldeckel schließen		verschüttetes Öl sofort abwischen; Füllmenge beachten, keine Überfüllung
14.	Ölstand kontrollieren	Ölmesstab	
15.	Motor starten und nach kurzer Zeit wieder abstellen		Ölfilter muss sich füllen
16.	Ölstand kontrollieren und bei Bedarf nachfüllen	Ölmesstab	
17.	Fahrzeug erneut anheben		
18.	Sichtkontrolle: Dichtheit, Sauberkeit		Filteranschluss Ölablassschraube
19.	Unterbodenverkleidung anbauen		
20.	abschließende Arbeiten: Ölkontrollzettel mit den entsprechenden Daten ausfüllen und im Motorraum anbringen		
21.	Serviceintervallanzeige zurücksetzen	Fahrzeudiagnosesystem	
22.	Arbeitskarte korrekt ausfüllen	Auftragsmappe im Büro	Grundlage für Rechnung
23.	Fahrzeug an Kunden übergeben		Rechnung erklären

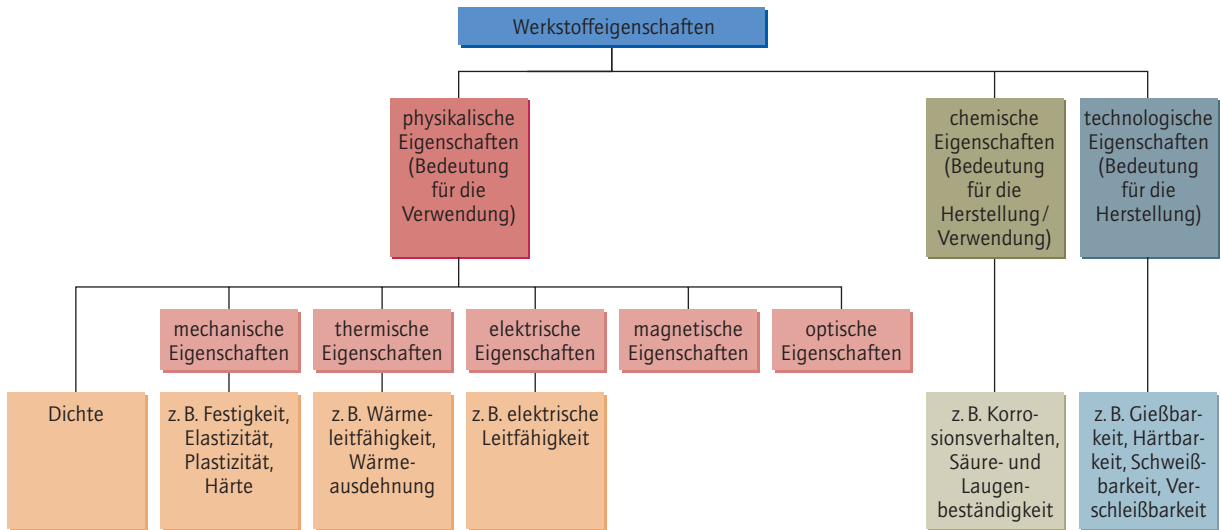
Bild 1.13 Arbeitsablaufplan „Motorölwechsel“.

Arbeitsaufträge

1. Welche Anforderungen stellt Ihre Ausbildungswerkstatt an Sie und Ihre Kollegen? Informieren Sie sich beim Meister, im Personalbüro oder beim QM-Beauftragten (z. B. Arbeitsplatzbeschreibungen).
2. Erstellen Sie ein Organigramm Ihrer Ausbildungswerkstatt.
3. Welche Maßnahmen unternimmt Ihr Betrieb, um die Ziele der Qualitätssicherung zu erreichen? Informieren Sie sich bei den zuständigen Mitarbeitern.
4. Überprüfen Sie den Serviceablauf in Ihrer Werkstatt und stellen Sie diesen in Form einer Mind Map dar. Untersuchen Sie den Serviceablauf auf mögliche Verbesserungen.
5. Identifizieren Sie ein Fahrzeug in Ihrer Werkstatt mithilfe der vorhandenen Informationsquellen. Bestimmen Sie Karosserieform, Schadstoffklasse, Motorleistung und zugelassene Reifengrößen.
6. Beschreiben Sie den Ablauf bei einer Auftragserweiterung in Ihrer Ausbildungswerkstatt.
7. Worauf ist beim Hol- und Bringdienst eines Fahrzeug zu achten?
8. Stellen Sie fest, wie die Kundenbetreuung in Ihrer Werkstatt praktiziert wird. Entwerfen Sie fünf zusätzliche Maßnahmen, die die Kundenbindung erhöhen.
9. Ermitteln Sie, in welchen Werkstattbereichen Kundenkontakte stattfinden. Halten Sie Ihre Ergebnisse in einer Tabelle fest.
10. Beschreiben Sie Ihre Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten beim Arbeitsprozess in Ihrer Werkstatt.
11. Welche Wünsche hätten Sie als Kunde an eine Werkstatt? Listen Sie Ihre Vorstellungen nach der Wichtigkeit auf.
12. Befragen Sie den Umweltschutzbeauftragten in Ihrer Werkstatt nach seinen Aufgaben.
13. Finden Sie heraus, für welche Arbeiten in Ihrer Werkstatt eine besondere Sachkunde vorhanden sein muss.

2 Grundlagen der Fertigung

2.1 Werkstoffeigenschaften



Die in der Kfz-Technik eingesetzten Werkstoffe müssen ein sehr breites Spektrum an Anforderungen abdecken. Beispielsweise sollen sie leicht sein (d.h. eine geringe Dichte besitzen), damit der Kraftstoffverbrauch möglichst gering ist. Andererseits müssen sie thermisch und mechanisch hoch belastbar sein (z. B. damit der Motor eine lange Lebensdauer aufweist).

Es gibt jedoch keinen Stoff, der gleichzeitig alle Anforderungen erfüllen kann. Für manche Kfz-Teile werden Werkstoffe mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften benötigt. So soll ein Reifen möglichst komfortable Laufeigenschaften haben und wegen der Haftung auf der Straße eine hohe Reibungszahl aufweisen. Dies erfordert eine weiche Lauffläche. Andererseits werden eine lange Lebensdauer und ein geringer Rollwiderstand gewünscht – dies ist aber nur mit einem harten Werkstoff zu erreichen.

Die Anforderungen und Belastungen, denen ein Bauteil während des Betriebes ausgesetzt ist, bestimmen also die Auswahl des entsprechenden Werkstoffes. Gibt es mehrere Werkstoffe, die den geforderten Belastungen standhalten, wird man sich für die wirtschaftlichste Lösung ent-

scheiden. Dies kann beispielsweise der Werkstoff aus dem preiswertesten Rohstoff oder mit dem geringsten Fertigungsaufwand sein.

Das obige Struktogramm zeigt Werkstoffeigenschaften im Überblick. Im folgenden Text werden nur die Eigenschaften vorgestellt, deren Kenntnis für die Arbeit als Kfz-Mechatroniker notwendig ist.

2.1.1 Physikalische Eigenschaften

Masse. Jeder Körper hat eine unveränderliche Masse, auch wenn sich seine Form z. B. durch Schmieden ändert. Die Masse entspricht der in einem Körper enthaltenen Stoffmenge und Stoffart. Ihre Einheit ist das Kilogramm.

$$m = V \cdot \rho \text{ in kg}$$

Dichte. Jeder Stoff besitzt eine typische Dichte. Die Dichte ist das Verhältnis der Masse eines Stoffes zu seinem Volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ in kg/dm}^3$$

z. B.:
Aluminium
 $\rho = 2,70 \text{ kg/dm}^3$
Gusseisen
 $\rho = 7,25 \text{ kg/dm}^3$
Stahl
 $\rho = 7,85 \dots$
 $8,7 \text{ kg/dm}^3$

Gewichtskraft. Die Erde zieht alle Körper mit einer zum Erdmittelpunkt gerichteten Kraft an. Diese Kraft entsteht aus der Fallbeschleunigung. Sie nimmt mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt ab, ist also ortsabhängig. Die Norm-Fallbeschleunigung beträgt $9,80665 \text{ m/s}^2$. Gewichtskräfte werden in Newton [N] angegeben.

$$F_G = m \cdot g \text{ in N}$$

Festigkeit ist die mechanische Beanspruchung, die ein Werkstück aufnehmen kann, bis es bricht. Die Festigkeit ist damit ein wichtiger Kennwert

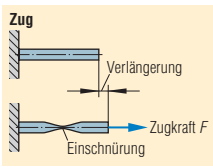
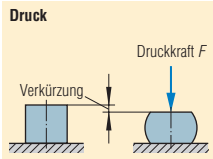
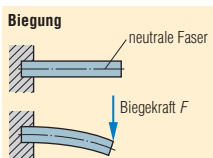
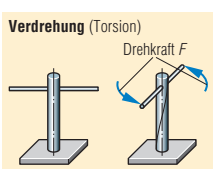
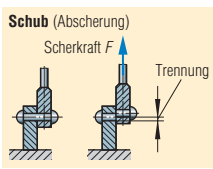
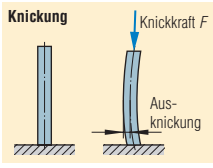
für die Belastbarkeit eines Werkstoffes. Sie hängt von der Kohäsionskraft (Zusammenhangskraft) ab, mit welcher sich die Moleküle bzw. Atome im Werkstück gegenseitig anziehen. Die Festigkeit wird in N/mm^2 angegeben (die einwirkende Kraft auf einer bestimmten Querschnittsfläche).

Je nach Beanspruchungsart unterscheidet man (Tabelle 2.1):

- Zugfestigkeit,
- Druckfestigkeit,
- Biegefestigkeit,
- Scher- und Torsionsfestigkeit,
- Knickfestigkeit.

Kohäsionskraft: Zusammenhangskraft der Atome oder Moleküle innerhalb eines Stoffes. Sie ist in festen Stoffen größer als in flüssigen und in gasförmigen am geringsten.

Adhäsionskraft: Anziehungskraft (Anhangskraft) zwischen Teilchen unterschiedlicher Stoffe.

Beanspruchungsart	Kraftwirkung	Beispiele
Zug		Flach- und Keilriemen, Schrauben
Druck		Federn, Kolben, Pleuel
Biegung		Wellen, Schalthebel, Rahmen
Torsion (Verdrehung)		Schraubenfedern, Kurbel-, Getriebe- und Achswellen, Stabilisator
Abscherung (Schub)		Kolbenbolzen, Passfedern, Schrauben
Knickung		Pleuel
Tabelle 2.1	Beanspruchungsarten (Kfz-spezifische Bauteile).	

Legierungen
→ S. 43

Wärmebehandlungsverfahren
→ S. 74

Elastizität und Plastizität. Wirken genügend große Kräfte auf einen Körper ein, findet eine Formänderung statt (Bild 2.1). Nehmen die Werkstoffteilchen (Atome und Moleküle) nach Beendigung der Krafteinwirkung ihre ursprüngliche Position wieder ein, zeigt der Körper ein elastisches Verhalten. Nehmen die Werkstoffteilchen die ursprüngliche Form nicht wieder ein, spricht man von plastisch (bleibend) verformt. Die äußeren Kräfte sind dann größer als die inneren (Kohäsions-)Kräfte. Der Stoffzusammenhalt geht dabei nicht verloren.

Plastisches und elastisches Werkstoffverhalten werden gezielt angewandt. Bei Federn nutzt man deren elastisches Verhalten zur Dämpfung, Speicherung oder Abgabe von Kräften. Plastische Verformbarkeit ist Voraussetzung beim Schmieden oder Biegen oder wenn Energie ohne Rückfederung aufgenommen werden muss.

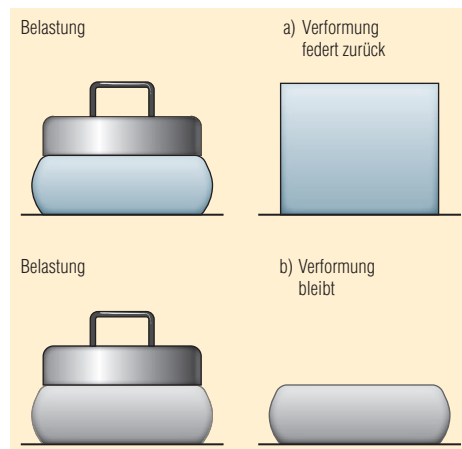


Bild 2.1 Elastizität (a) und Plastizität (b).

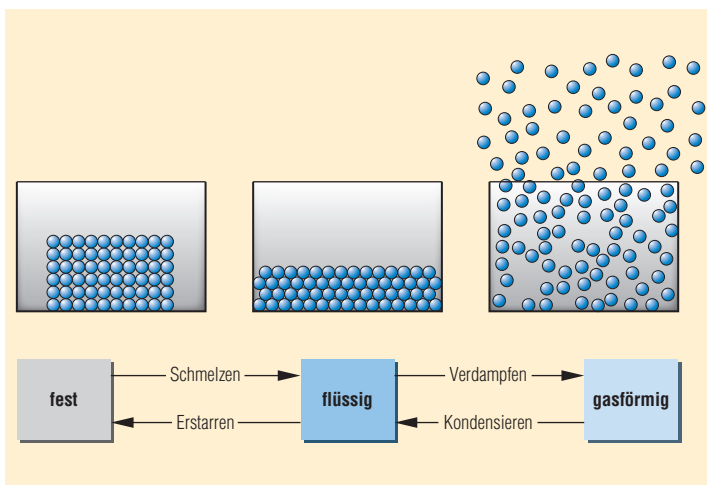


Bild 2.2 Aggregatzustände.

Härte ist der Widerstand, den ein Werkstoff dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt. Bei metallischen Werkstoffen ist die Härte durch **Legierungen**, Kaltverfestigungen, das Härten von Stahl o.ä. zu beeinflussen. Der gleiche Werkstoff kann nach unterschiedlichen **Behandlungsverfahren** unterschiedliche Härte aufweisen.

Zähigkeit und Sprödigkeit. Unter Krafteinwirkung kann sich ein Werkstoff zunächst plastisch verformen oder er kann ohne oder nur mit geringer plastischer Verformung zu Bruch gehen.

Werkstoffe, die sich vor der Zerstörung plastisch verformen, bezeichnet man als zäh. Zu den zähen Werkstoffen gehören u.a. ungehärteter Stahl, rostfreier Stahl, verschiedene NE- und Leichtmetalle.

Werkstoffe, die unter Belastung brechen, ohne dass sie eine Verformung erkennen lassen, bezeichnet man als spröde. Zu den spröden Werkstoffen zählen u.a. Gusseisen, gehärteter Stahl, Hartmetalle, keramische Werkstoffe.

Thermische Eigenschaften. Verhalten unter dem Einfluss von Wärme (-zufuhr oder -entzug) kennzeichnet die thermischen Eigenschaften von Werkstoffen. Dazu gehören z. B.:

- Wärmeleitfähigkeit (thermische Leitfähigkeit),
- Wärmeausdehnung,
- Wärmebeständigkeit.

Jeder Stoff kann drei Zustandsformen (Aggregatzustände) einnehmen: fest, flüssig und gasförmig. Die Umwandlung in den höheren oder tieferen Aggregatzustand erfolgt entweder unter Wärmezufuhr oder durch Wärmeentzug (Bild 2.2).

Leitfähigkeit. Man unterscheidet die

- thermische Leitfähigkeit und die
- elektrische Leitfähigkeit von Stoffen.

Es gibt gute und schlechte thermische oder elektrische Leiter. Ein guter Wärmeleiter kann ein schlechter elektrischer Leiter sein und umgekehrt. Leitet ein Werkstoff Wärme oder Elektrizität nicht weiter, bezeichnet man ihn als Isolator. Alle Metalle sind mehr oder weniger gute elektrische und thermische Leiter. Thermische Isolatoren sind z. B. Gummi oder geschäumtes Polystyrol; elektrische Isolatoren sind z. B. Porzellan, Gummi oder Glas.

2.1.2 Chemische Eigenschaften

Metallische Werkstoffe korrodieren unter der Einwirkung von Sauerstoff, Wasser, Säuren und Basen (Tabelle 2.2). Man spricht von

- chemischer Korrosion und
- elektrochemischer Korrosion.

Chemische Korrosion. Hier reagieren die Metalle mit denjenigen Stoffen, die ihnen beim **Verhüttungsprozess** zunächst als unliebsame Begleiter entzogen wurden. Die meisten Metalle (z. B. Kupfer, Aluminium, Zink, Blei und Zinn) verbinden sich mit dem Luftsauerstoff und bilden zusammenhängende, luftundurchlässige Oxidschichten.

Bei unlegierten Stählen ist die Schicht meist durchlässig, dadurch wird das Rosten durch den ungehinderten Zutritt von Sauerstoff begünstigt. Edelmetalle (Gold und Platin) reagieren bei Raumtemperatur nicht mit Sauerstoff, sie korrodieren also nicht.

Oxygenium = Sauerstoff
Oxid: chemische Verbindung eines Elementes mit Sauerstoff.

Verhüttungsprozess, Stahlherstellung
 → S. 41

Rosten: Korrosion von Eisenmetallen

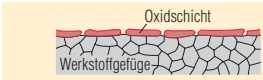
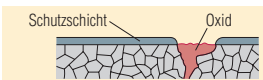
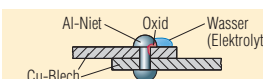
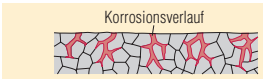

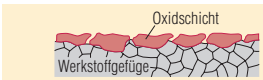


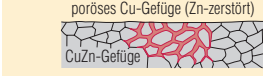
Korrosionsart	Abbildung	Kennzeichen
Flächenkorrosion (gleichmäßig)		Metallabtragung verläuft parallel zur Oberfläche. Betroffen sind ungeschützte Baustähle im Freien; ebenso beim Verändern von Schmiedeteilen.
Lochkorrosion		Metallabtragung erfolgt örtlich beschleunigt, dadurch bilden sich krater- oder nadelförmige Vertiefungen, die Schutzschicht wird punktuell verletzt.
Kontaktkorrosion		Entstehung eines galvanischen Elementes durch Luft (-feuchtigkeit) oder Regen. Das unedlere Metall wird zerstört. Schutz: Nur gleichartige Werkstoffe verwenden.
Interkristalline Korrosion		Korrosion entsteht an den Korngrenzen der Metalle; sie dringt dadurch tief in das Werkstoffinnere (Festigkeitsminderung). Die Korrosionsart ist oftmals erst nach dem Bruch des Werkstücks erkennbar.
Spalt- und Belüftungskorrosion		Unterschiedliche Sauerstoffkonzentrationen in engen Spalten oder unter der Wasseroberfläche führen zu örtlich verstärkter Korrosion.
Muldenkorrosion		Metallabtragung erfolgt unterschiedlich. Tritt auf bei ungleichmäßiger Spannungsverteilung innerhalb des Werkstückes oder an den Übertrittsstellen bei elektrochemischer Korrosion.
Spannungs- und Schwingungsrisskorrosion		Wechselnde Belastungen bei hohen Temperaturen oder ständige Berührung mit Säuren, Laugen oder Salzen führen in der Randzone zur Korrosion.
Transkristalline Korrosion		Elektrische Spannungsunterschiede lösen Korrosion innerhalb der Kristalle aus. Sie tritt häufig unter Dauerbeanspruchung (z. B. Zugbelastung) auf.
Entzinkung		Durch elektrochemische Korrosion findet eine örtliche Zerstörung des Zinks statt. Ähnliches ist bei Legierungen mit Aluminium oder Nickel möglich.

Tabelle 2.2

Korrosionsarten.

galvanisches
Element → S. 102
Technische
Anwendung:
z. B. Verchromen



Wärmebehand-
lungsverfahren
→ S. 74

Schweißen → S. 80

Flammpunkt von:
Ottokraftstoffen
unter -40°C
Dieselkraftstoff
 $59^{\circ}\text{C} - 66^{\circ}\text{C}$

**Zündtemperatur
von:**
Ottokraftstoffen
ca. 300°C
Dieselkraftstoff ca.
 250°C

Elektrochemische Korrosion. Korrosionsschäden sind überwiegend auf elektrochemische Vorgänge zurückzuführen. Die Korrosion erfolgt durch Elektrolyse. Bringt man zwei unterschiedliche Metalle mit einem Elektrolyten (einer leitenden Flüssigkeit, z. B. Salzwasser) zusammen, kann man eine elektrische Spannung messen. Vom unedleren Metall fließen Elektronen zum edleren. Das unedlere Metall, welches immer den Minuspol bildet, wird dabei zersetzt. Die Anordnung aus zwei unterschiedlichen Metallen und einem Elektrolyten bezeichnet man als **galvanisches Element**.

Giftigkeit. Unter Giftigkeit versteht man die Eigenschaft organischer oder anorganischer Stoffe, bei Mensch und Tier Gesundheitsschäden hervorzurufen, die mit dem Tod enden können. Die Giftigkeit metallischer Werkstoffe entsteht vor allem durch das Einatmen von Dämpfen oder Feinstaub. Blei und Quecksilber gelten als besonders gesundheitsgefährdend. Aber auch das Einatmen von Kraftstoffen für Verbrennungsmotoren ist schädlich. Beim Umgang mit giftigen Stoffen sind besondere Unfallverhütungsvorschriften zu beachten.

Brennbarkeit. Verbrennung ist eine unter Licht- und Wärmeentwicklung schnell ablaufende chemische Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff. Entscheidend für das Brandverhalten sind der Flammpunkt, der Brennpunkt und die Zündtemperatur eines Stoffes.

Als Flammpunkt einer Flüssigkeit wird die Temperatur bezeichnet, bei der sich ein entstehendes Gas/Luft-Gemisch mit einer Zündquelle entflammen lässt, die Verbrennung jedoch wieder stoppt, weil sich für ein Weiterbrennen nicht genug Dämpfe entwickelt haben. Der Brennpunkt dagegen bezeichnet die (meist nur wenige Grad höhere) Temperatur, bei der eine dauerhafte Verbrennung auch nach Entfernen der Zündquelle möglich ist. Wird die Flüssigkeit weiter erhitzt, entzündet sie sich bei Erreichen der Zündtemperatur von selbst, das heißt ohne eine externe Zündquelle.

2.1.3 Technologische Eigenschaften

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Werkstoffen sind für das fertige Bauteil von großer Bedeutung. Geht es jedoch um die Fertigung von Werkstücken oder Bauteilen, fragt man immer auch nach den technologischen Eigenschaften.

Gießbarkeit. Beim Gießen wird eine Form mit flüssigem oder teigig-plastischem Metall gefüllt. Der Hohlraum der Form entspricht in allen Einzelheiten dem gewünschten Gussstück. Die Eigenschaft eines Werkstoffes zum fehlerfreien und maßhaltigen Vergießen bezeichnet man als seine Gießbarkeit. Gut gießbare Stoffe müssen bei der Verarbeitung dünnflüssig sein, damit sie beim Vergießen selbst feinste Formen und Wandstärken ausfüllen und exakte Abgüsse ergeben. Bei der Erstarrung bzw. Abkühlung dürfen keine Fehler (Lunker oder Risse) entstehen.

Härtbarkeit. Werkstoffe, die während ihres Einsatzes an der Oberfläche stark verschleifen, müssen härter sein. Härtbare Werkstoffe können Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,5 % bis 1,5 %, legierte Stähle oder Aluminiumlegierungen sein. Die erforderliche Härte erhalten die Werkstoffe durch gezielte **Wärmebehandlungsverfahren** nach der Formgebung.

Schweißbarkeit. Beim **Schweißen** werden Bauteile aus gleichen Grundwerkstoffen unlösbar miteinander verbunden. Dabei werden die Bauteile an ihren Verbindungsstellen unter Zuführung von Wärme (Schmelzschweißen) und/oder von Druck (Pressschweißen) gefügt. Meist bedient man sich eines Schweißzusatzwerkstoffes mit gleichem oder nahezu gleichem Schmelzbereich. Weisen Schweißnaht und die von der Schweißwärme beeinflusste Zone die gleiche Festigkeit und Härte wie der Grundwerkstoff auf, spricht man von einer guten Schweißbeugung.

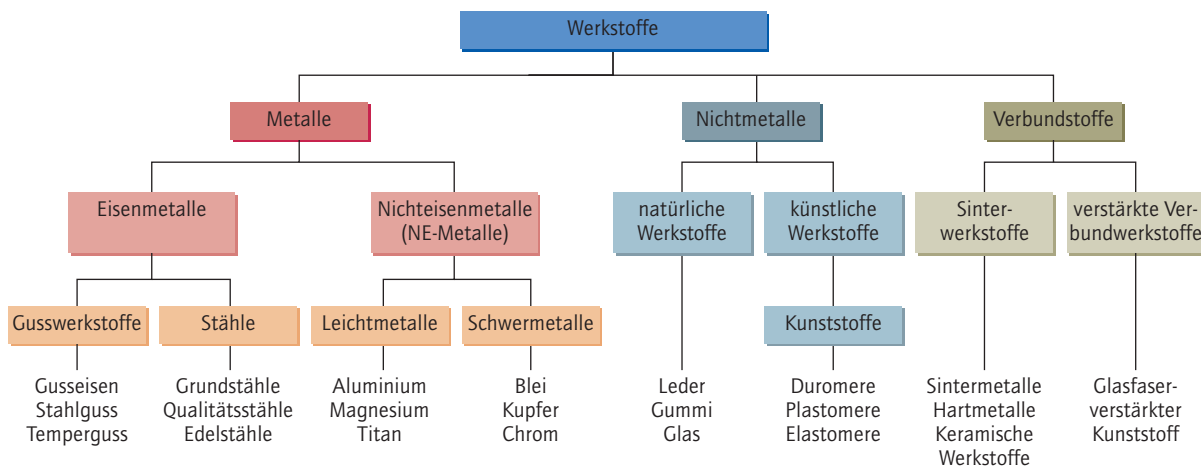
Zerspanbarkeit. Gute Zerspanbarkeit liegt vor, wenn sich bei der Bearbeitung vom Werkstück kurze, glatte Späne lösen, eine möglichst glatte Werkstückoberfläche entsteht, der Werkstoff eine gute Wärmeleitfähigkeit hat (um eine Überhitzung des Werkstückes zu vermeiden) und der Verschleiß des Werkzeugs (Meißel) möglichst gering bleibt.

Umformbarkeit. Die Umformbarkeit von Werkstoffen setzt deren Eigenschaft zur plastischen Formänderung voraus. Bei der Umformung blei-

ben die Stoffmenge und der Stoffzusammenhalt erhalten. Das Umformen kann bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt werden, wobei die Ausgangstemperatur des Werkstückes sowohl den Umformverlauf als auch die Stoffeigen-

schaften des Werkstücks beeinflussen. Wird der zu formende Rohling nicht angewärmt, handelt es sich um Kaltumformung, bei einer Erwärmung über 300 °C spricht man von Warmumformung.

2.2 Aufbau der Werkstoffe



In der Chemie bezeichnet man zunächst jede Form von Materie als Stoff. Die in der Natur vorkommenden Stoffe sind selten rein. Sie sind meist Gemenge verschiedener Grundstoffe und ihrer chemischen Verbindungen. Zudem kann die Zusammensetzung je nach dem Fundort unterschiedlich sein. Die Gemenge lassen sich in der Regel durch physikalische Verfahren in ihre Grundbestandteile zerlegen. Eine chemische Umwandlung findet dabei nicht statt, sodass die stofflichen Eigenschaften der Gemenge erhalten bleiben. Chemische Verbindungen können aus zwei oder mehreren Grundstoffen bestehen. Die Eigenschaften einer chemischen Verbindung sind gänzlich andere wie die der Grundstoffe. Mithilfe chemischer Verfahren lassen sich solche Verbindungen trennen.

In der metallverarbeitenden und -bearbeitenden Praxis ist es am sinnvollsten, die Werkstoffe in Metalle und Nichtmetalle einzuteilen. Für den Kfz-Mechatroniker sind – neben den Metalllegierungen – noch Kunststoffe und Verbundwerkstoffe wichtig.

2.2.1 Eisenmetalle

Metalle haben im Gegensatz zu Nichtmetallen nach der Erstarrung aus dem schmelzflüssigen Zustand einen kristallinen Aufbau, der auf die regelmäßige, räumlich geordnete Lage ihrer Atome (bzw. Ionen) zurückzuführen ist. Diesen typischen Aufbau nennt man Kristallgitter. Deren Veranschaulichung und Beschreibung dienen einfache geometrische Systeme, die man als Elementarzellen oder Gitterzellen bezeichnet. Für metallische Werkstoffe sind nach der Form der Gitterzelle drei Kristallsysteme bedeutsam (Bild 2.3):

- kubisch-raumzentrierte (krz-) Elementarzelle,
- kubisch-flächenzentrierte (kfz-) Elementarzelle,
- hexagonale (hex-) Elementarzelle.

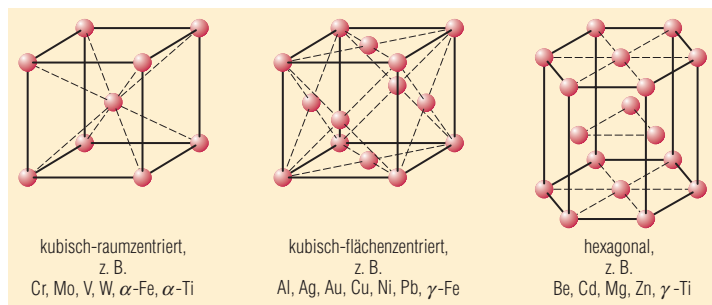


Bild 2.3 Gitterformen der Metalle.

Stahl. Als Stahl bezeichnet man alle Eisenwerkstoffe, die für eine Warmumformung geeignet sind und die einen Kohlenstoffgehalt von 0,05 % bis 2,06 % enthalten. Schon geringe Abweichungen des Kohlenstoffgehaltes führen zu veränderten Werkstoffeigenschaften. Stahl wird aus weißem Roheisen, Legierungsbeigaben

und Stahlschrott erschmolzen (Bild 2.4). Bei der Stahlerzeugung sollen der Kohlenstoffgehalt vermindert und die qualitätsschädigenden Begleitstoffe (z. B. Schwefel, Phosphor) reduziert werden. Stahleigenschaften lassen sich durch den Kohlenstoffgehalt, Legierungsbestandteile und durch Nachbehandlung verändern (Tabelle 2.3).

Stahlbezeichnung	Gebrauchseigenschaften	Einsatzbereiche
Grundstahl	Stahl geringer Festigkeit, gut spanlos verformbar, gut schweißbar	Massenprodukte (z. B. Stab-, Form-, Profilstähle und Rohre)
Einsatzstahl	harte, verschleißfeste Oberfläche, Kern aber zäh und weich	Zahnräder
Vergütungsstahl	hohe (Biege-)Festigkeit und Zähigkeit	Wellen
Nitrierstahl	hohe Verschleißfestigkeit der Oberfläche	Zahnräder, Schleifspindeln, Teile von Feinmessgeräten
Federstahl	hohe Elastizität und Zugfestigkeit, dauerschwingfest	Federn
Automatenstahl	gute Zerspanbarkeit und hohe Oberflächengüte durch Legierung mit Schwefel und Blei	Massenfertigung auf Dreh- und Fräsautomaten, Teile niedriger Festigkeit
Nichtrostender Stahl	korrosionsarm gegenüber Säuren und Laugen durch Legierung mit Chrom (12 % ... 18 %) und Nickel (8 % ... 20 %)	Chemische Industrie, Nahrungs- und Genussmittelindustrie, Außenbereiche, Vorrichtungen
Warmfester Stahl	Festigkeit bei höheren Temperaturen (ca. 600 °C) durch Zusatz von Chrom und Molybdän	Werkzeugbau
Unlegierter Werkzeugstahl (Kohlenstoffstahl)	niedrige Festigkeit der Schneide	Handwerkzeuge (z. B. Meißel, Schermesser, Hammer)
Niedriglegierter Werkzeugstahl	hohe Festigkeit, Elastizität, und Schneidhaltigkeit; Legierungselemente (Cr, Mo, Ni, V und W) unter 5 % ohne Kohlenstoff	Werkzeugbau (z. B. Präge-, Zieh- und Presswerkzeuge), Schneidwerkzeuge (z. B. Gewindebohrer)
Hochlegierter Werkzeugstahl	hohe Festigkeit und Elastizität; Anteil der Legierungselemente (Co, W, Cr, M) über 5 % ohne Kohlenstoff	Werkzeugbau (große Werkzeuge, z. B. Schneidpressen), Zerspanungswerkzeuge für hohe Schnittgeschwindigkeiten
Schnellarbeitsstahl	Schneidhaltigkeit, hohe Anlassbeständigkeit und Warmhärte (ca. 600 °C) aufgrund der chemischen Zusammensetzung	Zerspanungswerkzeuge
Tabelle 2.3	Stahlarten.	

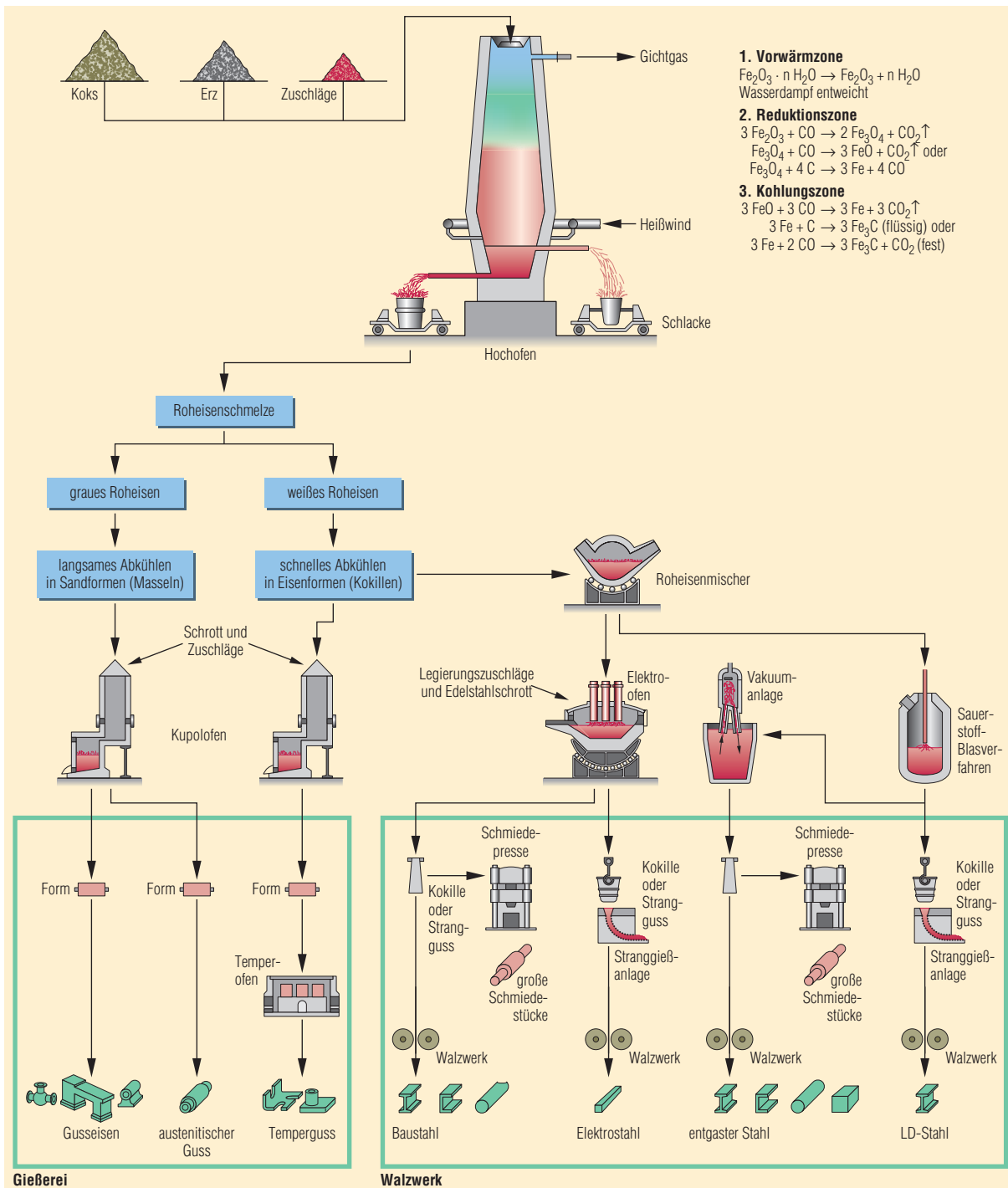
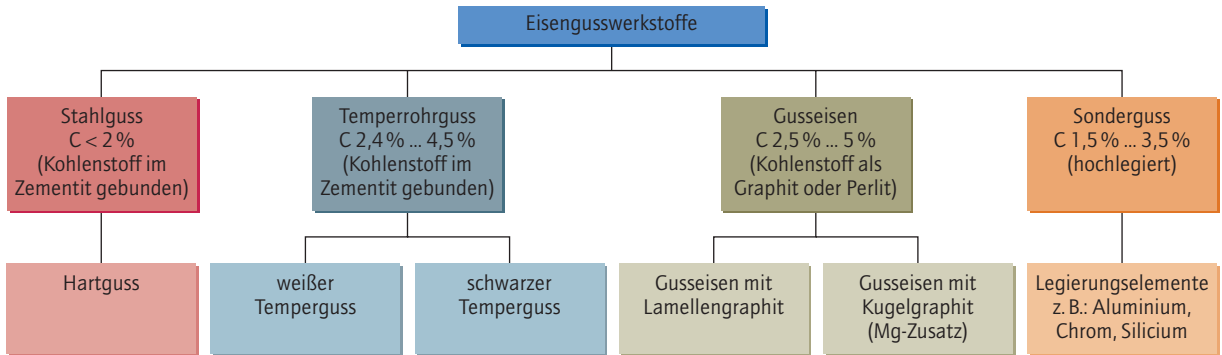


Bild 2.4 Übersicht über die Eisen- und Stahlerzeugung.

Eisengusswerkstoffe. Aus ihnen lassen sich durch Vergießen in verlorene Formen (z. B. Sand) oder feste Formen (z.B. Stahl) Werkstücke mit einer annähernd fertigen Endform herstellen. Die gegossenen Werkstücke werden anschließend durch spanabhebende Formgebungsverfahren in die Endform gebracht.

Die Einteilung der Eisengusswerkstoffe erfolgt in:

- Stahlguss (Kohlenstoffgehalt < 2 %),
- Temperguss (Kohlenstoffgehalt 2,4 % bis 4,5 %),
- Gusseisen (Kohlenstoffgehalt 2,5 % bis 5 %),
- Sonderguss (Kohlenstoffgehalt 1,5 % bis 3,5 %).



Stahlguss ist in Formen vergossener legierter oder unlegierter Stahl. Die mechanischen Eigenschaften entsprechen denen von Stahl. Stahlgussteile werden in der Regel gegläht, um ein stahlähnliches Gefüge zu erzielen und um Gussspannungen abzubauen.

Temperguss. Die Schmelze ist sehr dünnflüssig und besitzt ein großes Formfüllungsvermögen. Weißer Temperguss wird bevorzugt für dünnwandige Teile (z. B. Bremsstrommeln, Hebel, Schraubzwingen, Beschlagteile), schwarzer Temperguss für dickwandigere Teile (z. B. Kolben, Zahnräder, Triebwerksteile) verwendet.

Gusseisen unterscheidet man in

- Gusseisen mit Lamellengraphit (GG) und
- Gusseisen mit Kugelgraphit (GGG).

Gusseisen mit Lamellengraphit zeichnet sich durch gute Gleit- und Dämpfungseigenschaften, Korrosionsbeständigkeit, gute Gießbarkeit aufgrund niedriger Schmelztemperatur und gute Spanbarkeit aus.

Gusseisen mit Kugelgraphit zeichnet sich durch Verschleißfestigkeit, Korrosions- und Zunderbeständigkeit und gute Spanbarkeit aus.

2.2.2 Nichteisenmetalle

Zu den Nichteisenmetallen (NE-Metallen) zählen alle Metalle, in denen Eisen nicht der Hauptbestandteil ist. Ihre Bedeutung und der Einsatz in der technischen Anwendung wächst sehr stark. Nichteisenmetalle werden nach der Dichte in

- Schwermetalle ($\rho > 5 \text{ kg/dm}^3$, z. B. Kupfer, Zink, Zinn, Blei) und
- Leichtmetalle ($\rho < 5 \text{ kg/dm}^3$, z. B. Aluminium, Magnesium) eingeteilt.

NE-Metalle können sowohl unlegiert als reines Gebrauchsmetall als auch als Legierungsmetall verwendet werden. Als Legierungsmetalle unterscheidet man die Schwer- und Leichtmetalle in Knet- und Gusslegierungen. Knetlegierungen besitzen eine gute Umformbarkeit, Gusslegierungen ein gutes Formfüllungsvermögen.

Leichtmetalle wie Aluminium oder Magnesium werden in der Automobilindustrie immer wichtiger (Leichtbautechnik). Ihre Gewinnung ist sehr energieaufwändig, sodass auf komplettes Recycling geachtet werden muss.

2.2.3 Legierungen

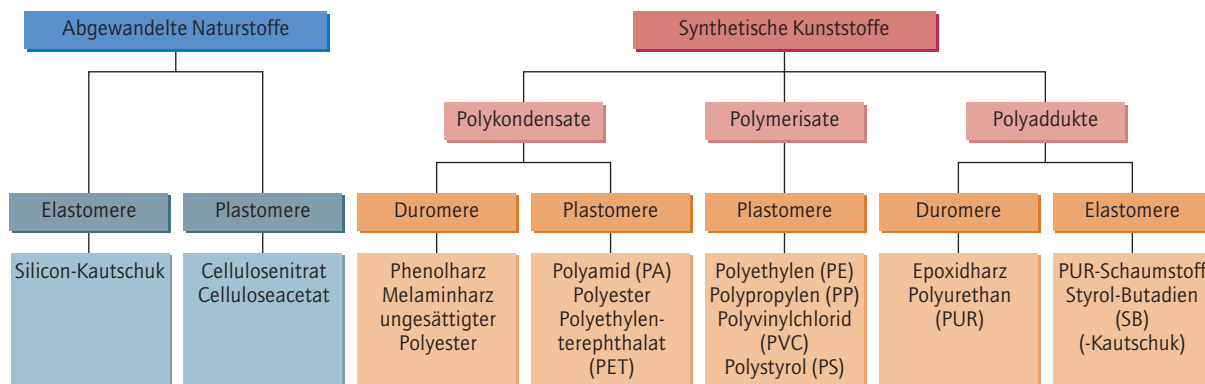
Metallische Werkstoffe werden in der technischen Anwendung nicht oder nur selten in ihrer reinen Form eingesetzt. Sie bestehen praktisch immer aus zwei oder mehreren, meist metallischen Elementen. Diese bezeichnet man als Legierung. Die Legierungselemente beeinflus-

sen je nach Anteil den kristallinen Aufbau und bestimmen die Eigenschaften der Werkstoffe erheblich (Tabelle 2.4). Um homogene Legierungen zu erhalten, müssen die Legierungsbestandteile als Schmelze mischbar sein.

SS: Schneidstahl
HSS: Hochleistungsschneidstahl

Eisenbegleiter	Vermindert die folgenden Eigenschaften	Erhöht die folgenden Eigenschaften	Anwendungsbeispiele
Chrom (Cr, 0,5 % ... 18 %)	Zähigkeit	Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Durchhärbarkeit, Warmfestigkeit, Härte	Werkzeugstähle, rostfreie Stähle, Kugellagerwerkstoffe
Kobalt (Co, 2 % ... 10 %)	Zähigkeit, Umformbarkeit	Härte, Schneidhaltigkeit	Schneidstoffe, Magnetstähle, Sintermetalle
Mangan (Mn, ... 10 %)	Umformbarkeit, Schweißbarkeit, Zerspanbarkeit	Festigkeit, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit, Härbarkeit	Gleisteile, Baggerteile, Messschieber
Molybdän (Mo, 0,5 % ... 2 %)	Dehnung, Schmiedbarkeit	Härte, Zähigkeit, Warmfestigkeit, Verschleißfestigkeit	Werkzeugstähle
Nickel (Ni, 1 % ... 10 %)	Warmfestigkeit	Festigkeit, Zähigkeit bei Wärmebehandlung, Korrosionsbeständigkeit, elektr. Widerstand	Einsatz- und Vergütungsstähle, elektrische Widerstände
Silicium (Si, 0,5 % ... 4 %)	Schweißbarkeit, Schmiedbarkeit, elektr. Leitfähigkeit	Elastizität, Zähigkeit	Ventilfedern, Federstahl
Vanadium (V, 0,5 % ... 2 %)		Härte, Zähigkeit, Schneidhaltigkeit, Anlassbeständigkeit	Schraubenschlüssel, Werkzeugstähle
Wolfram (W, ... 25 %)	Zähigkeit, Schmiedbarkeit	Härte, Verschleißfestigkeit, Schneidhaltigkeit, Warmfestigkeit	Schneidwerkstoffe (SS-, HSS-Stähle)
Tabelle 2.4 Einfluss der Eisenbegleiter auf die Stahleigenschaften.			

2.2.4 Kunststoffe



Polymerisation

(polymer = vielgliedrig):

Bildung von Makromolekülen aus ungesättigten Monomeren.

Polykondensation:

Bildung von Makromolekülen unter Abspaltung kleiner Moleküle (z. B. Wasser).

Polyaddition:

Bildung von Makromolekülen durch Anlagerung reaktionsfähiger Gruppen.

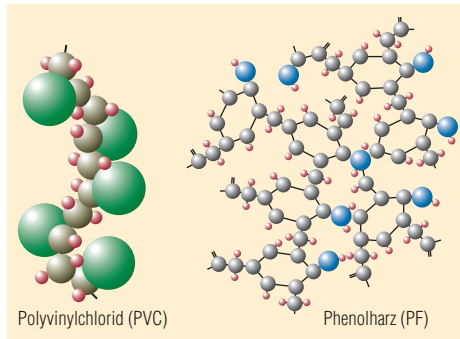


Bild 2.5 Molekülstrukturen.

Kunststoffe sind entweder abgewandelte Naturstoffe oder synthetische Kunststoffe. Synthetische Kunststoffe werden aus niedermolekularen Kohlenstoff-Wasserstoff-Verbindungen durch chemische Synthese zu Makromolekülen aufgebaut. Kunststoffe unterscheidet man entweder nach dem Herstellverfahren durch

- Polymerisation in Polymerisate
- Polykondensation in Polykondensate oder
- Polyaddition in Polyaddukte

oder nach ihren Verarbeitungs- bzw. Formgebungseigenschaften in:

- Duomere (Duroplaste)
- Plastomere (Thermoplaste) und
- Elastomere.

2.2.5 Verbundwerkstoffe

Verbundwerkstoffe gewinnen in der Technik immer mehr an Bedeutung. Sie bestehen aus unterschiedlichen pulverförmigen und/oder flüssigen Einzelwerkstoffen, die miteinander verbunden werden. Es entstehen neue Werkstoffe mit zum Teil ganz anderen Eigenschaften. Verbundwerkstoffe teilt man ein in

- Sinterwerkstoffe:
Hartmetalle (Schneidstoffe mit verschleißfesten Oberflächen),
keramische Werkstoffe (Träger für elektrische Bauteile),
Sintermetalle (Wirbelkammer beim Diesel, Laufräder von Pumpen),
- verstärkte Verbundwerkstoffe:
(Teilchen-, faser- und schichtverstärkte Verbundwerkstoffe).

2.2.6 Werkstoffe im Kraftfahrzeug

In Kraftfahrzeugen werden die unterschiedlichsten Werkstoffe verbaut. In ihrer Auswahl und ihrem Zusammenwirken unterstützen sie die aktive und passive Sicherheit von Fahrzeugen und erhöhen damit den Schutz der Insassen. Andererseits werden immer leichtere Werkstoffe eingesetzt, um das Fahrzeuggewicht zu vermindern und damit den Kraftstoffverbrauch zu senken. Neue Legierungen oder Verbundwerkstoffe mit neuen Eigenschaften ermöglichen viel höhere Belastungen. Tabelle 2.5 zeigt eine Übersicht über gebräuchliche Werkstoffe.

Bereich	Werkstoffe	Werkstoffkurzbezeichnung
Triebwerk		
Getriebegehäuse	Aluminium-Gusslegierung	G-AlSi 12
Getriebewellen	Einsatzstähle Vergütungsstähle	16 MnCr 5; 15 CrNi 6; 17 CrNiMo 6; 34 CrMo 4
Pleuellager	Gleitlagerwerkstoffe	CuPb 17 Sn 5
Zahnräder	Einsatzstähle Vergütungsstähle Nitrierstähle Sintermetall	16 MnCr 5; 17 CrNiMo 6 2 C 60; 28 Mn 6 15 CrMoV 5 9 Sint-D40
Gelenkwellen	Vergütungsstähle	42 CrMo 4; 34 CrNiMo 6

Bereich	Werkstoffe	Werkstoffkurzbezeichnung
Motor		
Zylinderblock	Gusseisen mit Lamellengraphit Aluminium-Gusslegierung	EN-GJL-200; EN-GJL-250 G-AlSi 10 Mg; G-AlSi 17 Cu 4 Mg
Zylinderkopf	Gusseisen mit Lamellengraphit Aluminium-Gusslegierung	EN-GJL-200; EN-GJL-250 G-AlSi 10 Mg; G-AlMg 5
Zylinderlaufbuchsen	Austenitisches Gusseisen mit Lamellengraphit	GGL-NiCuCr 15 6 2
Kolben	Aluminium-Legierung	AlSi 25 CuNiMg; AlCu 4 NiMg
Kolbenbolzen	Einsatzstähle Nitrierstähle	Ck 15; 15 Cr 3; 31 CrMo 12 31 CrMoV 9; 34 CrAlMo 7
Kolbenringe	Gusseisen (Lamellen- oder Kugelgraphit)	EN-GJL-400; EN-GJL-700
Pleuelstange	Vergütungsstähle Schwarzer Temperguss Sintermetall	41 Cr 4; 36 CrNiMo 4; 34 CrMo 4 EN-GJMB-600 Sint-D30
Einlassventile	Ventilstahl	37 MnSi 5; X 45 CrSi 9 3 44 MnSiVS6
Auslassventile	Ventilstahl	X 45 CrNiW 18 9; X 55 CrMnNiN 20 8
Nockenwelle	Einsatzstahl; Gusseisen	16 MnCr 5; EN-GJMB-550; EN-GJS-700
Schläuche	Polyvinylchlorid	PVC
Benzinleitungen, Lüfter, Zahnriemen, Buchsen	Polyamid	PA
Kraftstoffbehälter	Polyethylen	PE-HD
Fahrwerk und Aufbau		
Karosserie (selbsttragend)	Fein- oder Tiefziehbleche Aluminiumbleche Aluminium-Profile	FePO 3; FePO 4 AlMg 3; AlMg 4 AlMgSi 1
Rahmenteile	Baustahl	S 355 JO; S 275 JR
Blatt-, Schraub- und Drehstabfedern	Federstahl	38 Si 7; 55 Si 7; 60 SiCr 7
Achsen	Vergütungsstähle	41 Cr 4
Achsschenkel	Vergütungsstähle	50 CrV 4; 41 Cr 4
Räder	Stahl Leichtmetall-Legierungen	S 235 JRG 1 GK-AlSi 12
Bremstrommeln	Weißer Temperguss	EN-GJMW-350
Bremsscheiben	Stahlguss Gusseisen (Lamellen- oder Kugelgraphit)	GS-45; GS-60 EN-GJL-300; EN-GJS-500
Tabelle 2.5	Werkstoffe im Kraftfahrzeug (Auswahl).	

2.3 Werkstoffprüfverfahren

Die Gebrauchs- und Fertigungseigenschaften von Werkstoffen werden mithilfe der Werkstoffprüfung festgestellt. Es gibt – bedingt durch die Vielzahl von Werkstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten – sehr viele unterschiedliche Prüfverfahren.

Werkstoffe lassen sich durch

- zerstörende Prüfverfahren (z. B. Zugversuch, Dauerschwingversuch, Härteprüfverfahren),
- zerstörungsfreie Prüfverfahren (z. B. Kapillarverfahren, Magnet- und Induktivverfahren) und durch
- metallografische Prüfverfahren prüfen.

2.3.1 Zugversuch

Der Zugversuch ist einer der wichtigsten Werkstoffprüfungen bei Metallen. Er liefert Kennwerte über die Zugfestigkeit und Dehnbarkeit von Werkstoffen. Der Versuch wird mit genormten Prüfstäben aus dem zu prüfenden Werkstoff durchgeführt. Der Probestab wird einer Zugbeanspruchung ausgesetzt und bis zum Bruch gedehnt. Die Verlängerung des Probestabes wird von einer Messeinrichtung in ein Diagramm (Spannungs-Dehnungs-Diagramm) übertragen.

Wärmebehandlung
→ S. 74

Die folgenden aus dem Versuch gewonnenen Festigkeitskennwerte sind wichtig für die Dimensionierung (Auslegung) von Bauteilen:

- Streckgrenze R_e (Spannung, bei der trotz zunehmender Verlängerung (Dehnung) der Probe die Zugkraft in etwa gleich bleibt),
- Dehngrenze $R_{p0,2}$ (Spannung, bei der die Probe nach Entlastung eine bleibende Dehnung von 0,2 % aufweist),
- Zugfestigkeit R_m (Spannung, die sich aus der größten Zugkraft F_{zB} und dem Anfangsquerschnitt S ergibt).

$$R_m = \frac{F_{zB}}{S} \quad \text{in N/mm}^2$$

Die gewonnenen Kenngrößen gelten nur für statische Belastungen. Verschiedene Werkstoffe weisen unterschiedliche Spannungs-Dehnungs-Kurven auf (Bild 2.6).

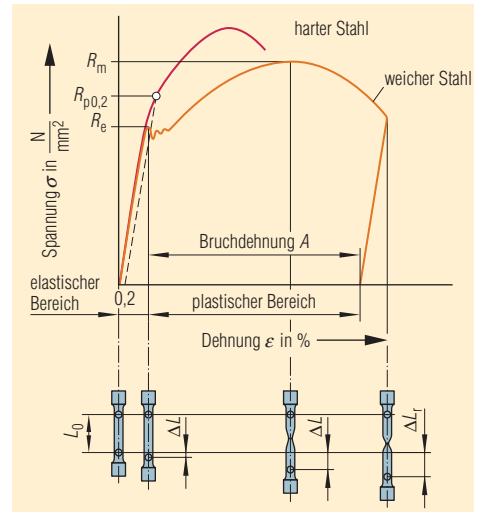


Bild 2.6 Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

2.3.2 Dauerschwingversuch

Viele Bauteile eines Kraftfahrzeugs (Pleuelstange, Kurbelwelle, Radaufhängung, ...) werden einer Dauerschwingbeanspruchung (dynamische Belastung) ausgesetzt. Dabei werden die Bauteile teilweise schlagartig oder wechselnd beansprucht. Dies kann zu Ermüdungs- oder Dauerbrüchen führen. Mögliche Ursachen:

- Fehler im Werkstoffgefüge (Schlackeneinschlüsse u. ä.),
- Fehler bei der Wärmebehandlung (Härterisse, Randschichthärte nicht tief genug),
- Konstruktions- und / oder Fertigungsfehler (Hohlkehlen, Bohrungen, Bearbeitungsriefen).

Der Dauerschwingversuch liefert Kennwerte für das mechanische Verhalten von Werkstoffen bei wechselnder Beanspruchung.

2.3.3 Härteprüfverfahren

Die Härteprüfung von Werkstoffen liefert wichtige Vergleichswerte, mit denen sich z. B. das Verschleißverhalten in Lagern oder Motoren beurteilen lässt. Auch in der Fertigung muss man die Härte eines Werkstoffes kennen, um z. B. beim Bohren das richtige Werkzeug auswählen zu können.

In der Praxis werden drei unterschiedliche, statische Prüfverfahren eingesetzt, deren Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichbar sind: Die Härteprüfverfahren nach

- Rockwell,
- Brinell und
- Vickers.

Gemeinsam ist allen Prüfverfahren, dass ein Prüfkörper (eine Kugel, ein Kegel oder eine Pyramide) mit einer bestimmten Prüfkraft für eine bestimmte Zeit auf den Werkstoff einwirkt. Als Beispiel zeigt Bild 2.7 eine Härteprüfung nach Rockwell.

2.3.4 Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Die zerstörungsfreien Prüfverfahren dienen im Gegensatz zu den zerstörenden Prüfverfahren nicht der Ermittlung des Werkstoffverhaltens, sondern der Prüfung des fertigen Werkstücks. So können vor dem Einsatz oder während des Betriebs Fehler erkannt werden. Zerstörungsfreie Prüfverfahren werden eingeteilt in:

- Kapillarverfahren,
- Magnet- oder Induktivverfahren,
- Schallverfahren,
- Strahlenverfahren.

Kapillarverfahren. Das Verfahren beruht auf der Fähigkeit von Flüssigkeiten in feine Poren, Risse oder Spalten einzudringen.

Bauteile und Werkstücke werden in bestimmte Flüssigkeiten getaucht oder benetzt. Nach einer Einwirkzeit wird die anhaftende Flüssigkeit entfernt. Die Fehler werden sichtbar durch Kontrastmittel, UV-Licht oder Entwickler. Durch das Verfahren werden nur oberflächennahe Fehler erfasst (Bild 2.8).

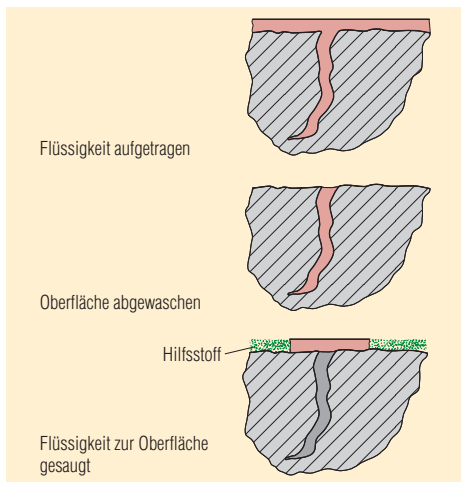


Bild 2.8 Kapillarverfahren.

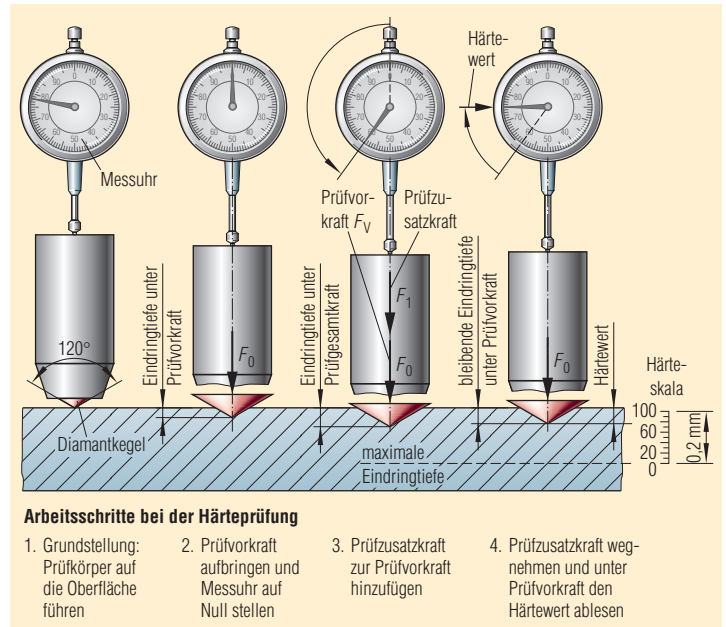


Bild 2.7 Härteprüfung nach Rockwell.

Magnet- und Induktivverfahren. Beim Magnet(pulver)verfahren wird ein Werkstück mit frei beweglichen magnetischen Teilchen bedeckt und dann magnetisiert. Bei fehlerfreiem Werkstück verlaufen die Magnetlinien parallel zur Werkstückoberfläche. Fehler durch Gas- oder Schlackeneinschlüsse oder Risse unter der Oberfläche behindern die magnetische Durchlässigkeit; es entsteht ein Streufluss. Die magnetisierten Teilchen ordnen sich längs der austretenden Kraftlinien und geben ein Abbild des Fehlers. Die Werkstücke müssen nach der Prüfung häufig von Restmagnetismus befreit werden (Bild 2.9).

Kapillare:
Haarröhrchen,
haarfeine
Zwischenräume,
Spalten.

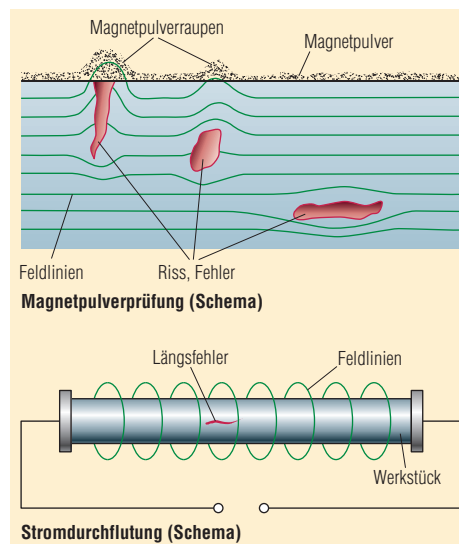


Bild 2.9 Magnetverfahren.

Strahlenschutz-
regeln nach
DIN 54 115
beachten!



Das Induktiv- oder Wirbelstromverfahren ermöglicht lediglich indirekte Fehleranzeigen. Aussagen über die Art der Fehler sind nicht möglich. Das Verfahren wird bevorzugt bei der Dickenmessung von Oberflächenbeschichtungen eingesetzt.

Schallverfahren. Die Ultraschallprüfung von Bauteilen, Werkstücken und Schweißnähten nutzt den Schall in einem Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 10 MHz. Das Verfahrensprinzip beruht darauf, dass von einem Schallgeber (Sender) kurze Impulse in das Werkstück geleitet werden. Zwischen Werkstück und Schallgeber ist ein Kopplungsmittel aufgebracht. In der Zeit zwischen den Impulsen arbeitet der Schallgeber als Empfänger. Das Durchschallungsverfahren arbeitet mit einem separaten Schallgeber und einer Empfängereinheit.

Beim Impuls-Echo-Verfahren werden Impuls und Echo auf einem Oszilloskop wiedergegeben. Fehlerfreie Werkstücke erzeugen ein ungehindertes Rückwandecho, während fehlerhafte ein zusätzliches Fehlerecho erzeugen (Bild 2.10).

Strahlenverfahren. Röntgen- und Gammastrahlen können Stoffe durchdringen. Die Strahldurchdringung ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffs, dessen Dicke und der Strahlungsenergie. Gefügefehler zeigen eine intensivere Schwärzung auf dem Röntgenfilm oder -bildschirm. Insbesondere bei der Prüfung von Schweißnähten haben sich die Strahlenverfahren bewährt. Bei der Durchführung sind besondere Schutzmaßnahmen zu beachten, da die Strahlen lebendes Gewebe zerstören.

2.4 Werkstoffnormung

Werkstoffe werden durch nationale (DIN-) und internationale (EN-) Normen systematisch geordnet und bezeichnet. Diese Normen dienen der technischen Vergleichbarkeit, dem besseren Handling bei der Bestellung, Lagerung usw., der gezielten Auswahl des geeigneten Materials für die jeweiligen Anforderungen u. v. m.

Maßgebend für die normgerechte Bezeichnung der Eisenwerkstoffe ist die z. Z. gültige Fassung der DIN EN 10027; teilweise die noch in der betrieblichen Praxis bekannte DIN 17 006.

Einteilung nach DIN EN 10027. Diese Norm teilt die Kennbuchstaben und -zahlen der Stähle in zwei Hauptgruppen ein:

- Gruppe 1: Kurznamen enthalten Hinweise auf die Verwendung und die mechanischen oder physikalischen Eigenschaften der Stähle (Bild 2.11).
- Gruppe 2: Kurznamen enthalten Hinweise auf die chemische Zusammensetzung der Stähle.

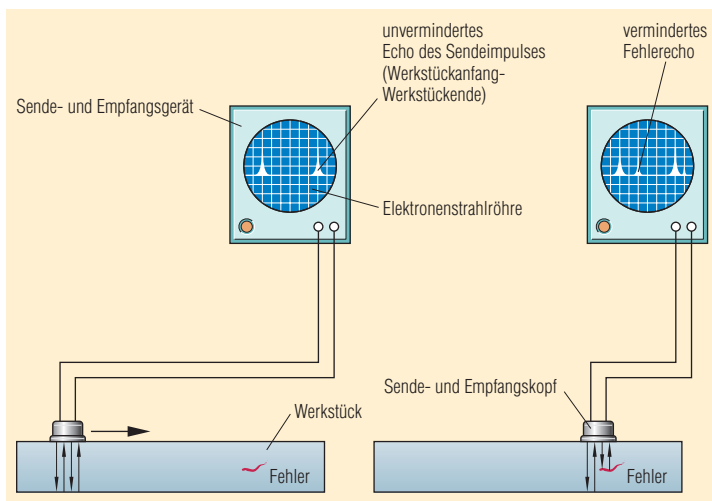
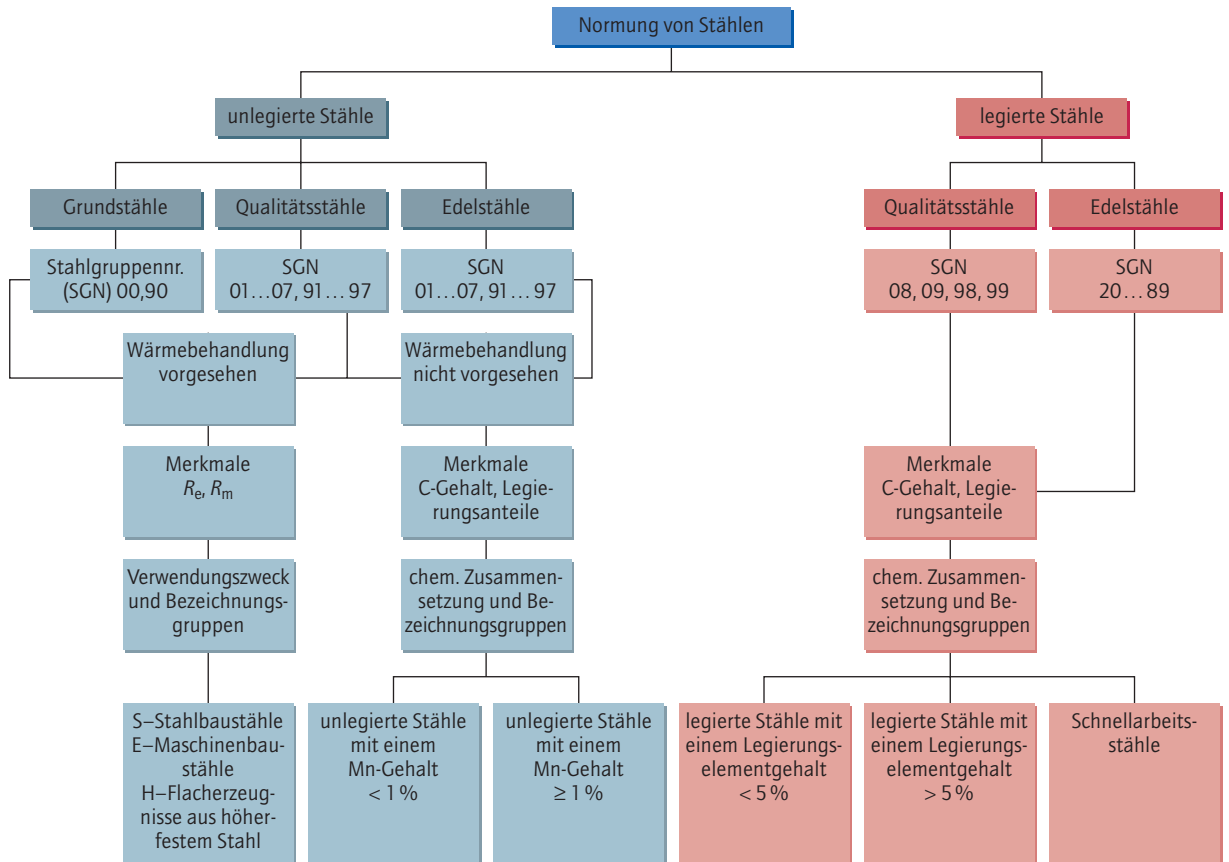


Bild 2.10 Impuls-Echo-Verfahren.



Bild 2.11 Bezeichnungssystem für Stähle nach DIN EN 10027 (Beispiel).



Die Gruppe 2 ist in vier Untergruppen unterteilt:

1. Unlegierte Stähle (Mn < 1 %)

Beispiel: C35E

C = Kennbuchstabe für Kohlenstoff
35 = Kohlenstoffgehalt (35 / 100) % = 0,35 %

E = Zusatzsymbol: vorgeschriebener maximaler Schwefelgehalt

2. Unlegierte Stähle (Mn > 1 %, unlegierte Automatenstähle, legierte Stähle mit einzelnen Legierungselementen unter 5 %)

Der Gehalt der Legierungselemente wird durch die in Tabelle 2.6 (Seite 50) enthaltenen Faktoren ermittelt.

Beispiel: 28 Mn 6

28 = Kohlenstoffgehalt (28 / 100) % = 0,28 %

Mn = Chemisches Symbol der Legierungselemente, hier Mangan, geordnet nach abnehmenden Gehalten.

6 = Mangangehalt (6 / 4) % = 1,5 %

3. Legierte Stähle (außer Schnellarbeitsstähle, mindestens ein Legierungselement ≥ 5 %)

Beispiel: X 2 CrNiMo 18-15-4

X = Kennbuchstabe für hochlegiert

2 = Kohlenstoffgehalt (2 / 100) % = 0,02 %

Cr, Ni, Mo = Chemische Symbole der Legierungselemente, geordnet nach abnehmendem Gehalt

18 = Chromgehalt 18 %

15 = Nickelgehalt 15 %

4 = Molybdängehalt 4 %

4. Schnellarbeitsstähle

Beispiel: HS 6-5-2-5

Der Kurzname setzt sich aus den Kennbuchstaben HS sowie aus ganzen Zahlen zusammen. Die Zahlen geben in der Reihenfolge den Gehalt der Legierungselemente Wolfram, Molybdän, Vanadin und Kobalt an.

6 = Wolframgehalt 6 %

5 = Molybdängehalt 5 %

2 = Vanadengehalt 2 %

5 = Kobaltgehalt 5 %

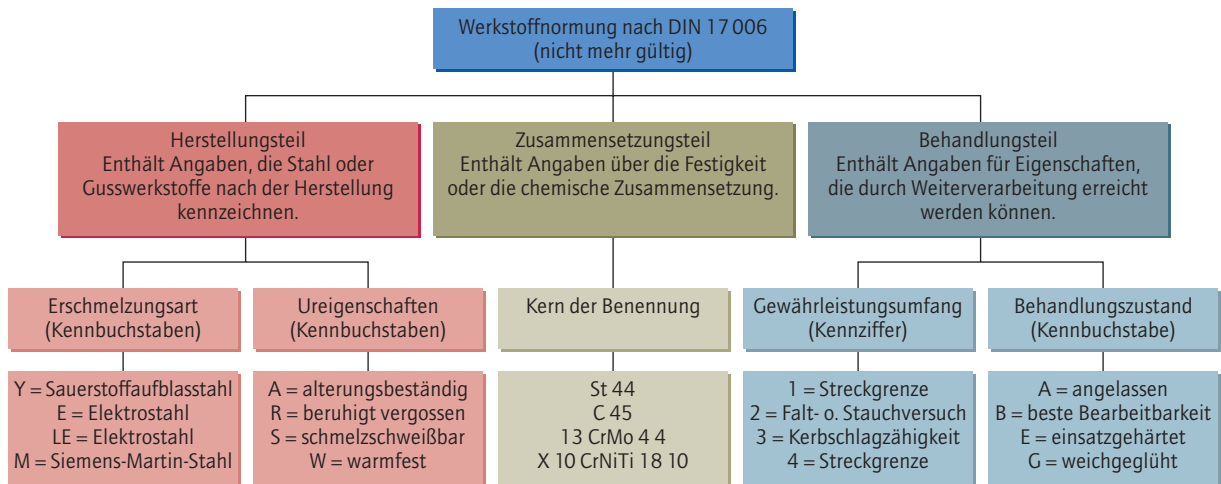
Legierungselement	Legierungskennzahl (Faktor)
Cr, Co, Mn, Si, W, Ni	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
P, S, N, Ce, C	100
B	1000

Tabelle 2.6

Legierungskennzahlen der wichtigsten Elemente bei niedriglegierten Stählen.

Kennzeichnung der Stähle durch Werkstoffnummern. Die Kennzeichnung der Stähle nach Werkstoffnummern erleichtert in den Betrieben die interne Logistik und das Bestellwesen. Der Aufbau der fünfstelligen Werkstoffnummern beinhaltet die

- Werkstoff-Hauptgruppennummer,
- Stahlgruppennummer,
- Zählnummer (z.Z. aus zwei Nummern bestehend, die bei Bedarf auf max. vier erhöht werden kann).



Einteilung nach DIN 17 006. Diese Norm teilt die Kernbezeichnung der Eisenwerkstoffe nach der

- Festigkeit oder nach der
- chemischen Zusammensetzung ein.

Normgerechte Bezeichnung der NE-Metalle.

Die Kennzeichnung von NE-Metallen kann entweder über Kurzzeichen oder durch Werkstoffnummern erfolgen. Besondere Zeichen oder Anhängenzahlen für Herstellungsart, Festigkeit oder Verwendung können jeweils ergänzt werden.

Kurzzeichen für NE-Metalle und deren Legierungen sind aufgebaut nach (Bild 2.12):

- Kennbuchstaben für Herstellung oder Verwendung,
- Kennzeichen der chemischen Zusammensetzung,
- Kurzzeichen der Werkstoffzustände (z. B. Zugfestigkeit).

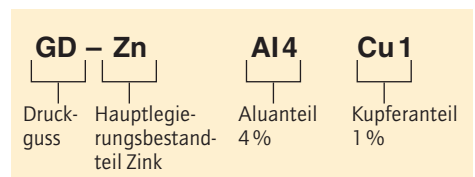
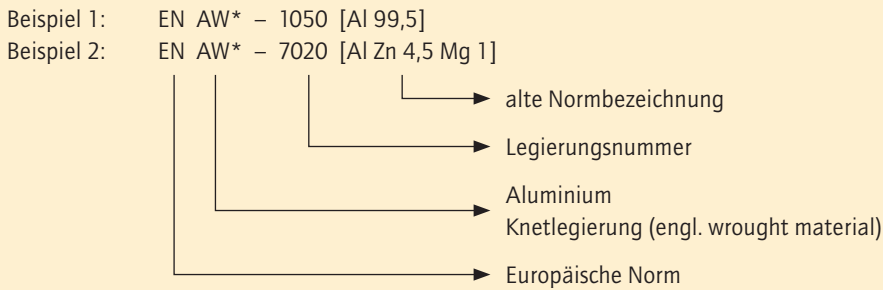


Bild 2.12 Bezeichnung von NE-Metallen (Beispiel).

Die aktuelle normgerechte Bezeichnung von Aluminium erfolgt nach DIN EN (Bild 2.13).



* Gusslegierungen erhalten im Gegensatz dazu die Kennbuchstaben AC = Alu Casting (engl.)

Bild 2.13 Normung von Aluminiumlegierungen (Beispiele).

Normgerechte Bezeichnung von Sinterwerkstoffen. Die Eigenschaftswerte von Sintermetallen sind in Werkstoff-Leistungsblättern zusammengestellt. Allgemein besteht das Kurzzeichen von Sintermetallen aus der Silbe „Sint-“ sowie einem oder zwei Großbuchstaben und zwei Ziffern, z. B.: Sint-A50. Die Großbuchstaben kennzeichnen die Raumerfüllung (in %); dies ist bei porenhaltigen Körpern das Verhältnis seiner Dichte zur Feststoffdichte. Beispiel: Sint-A hat eine Raumerfüllung von 75 %, daraus folgt eine Porosität von 25 %.

Normgerechte Bezeichnung von Kunststoffen. Die Bezeichnung von Kunststoffen erfolgt über Kurzzeichen (z. B. PP = Polypropylen).

Formmassen werden in einem System geordnet, das die Produktvielfalt übersichtlich darstellt. Ziel ist es, gleichbleibende Eigenschaften zu gewährleisten. Die Bezeichnung ist in Typ-Tabellen durch Angabe einer Typ-Nummer festgeschrieben. Thermoplastische Formmassen werden nach ihrem chemischen Aufbau und ihren jeweiligen Eigenschaften für ihre Verarbeitung bzw. Anwendung gekennzeichnet. Die Kennzeichnung besteht aus einer Ordnungsnummer als Bezeichnung des chemischen Aufbaus und einer durch Bindestrich abgetrennten Zifferngruppe. Die aus den Formmassen hergestellten Produkte werden mit Überwachungs- und Gütezeichen versehen.

Arbeitsaufträge

1. Beim Kauf eines Kraftfahrzeuges stellt sich oft die Frage, ob man Stahlräder oder Leichtmetallräder wählen soll. Welche physikalischen, chemischen und technologischen Eigenschaften würden Sie für die jeweilige Wahl nennen?
2. Welche Werkstoffangaben machen die Hersteller über ihre Räder?
– Recherchieren Sie in Firmenprospekten und im Internet und benennen Sie mögliche Material-Zusammensetzungen nach DIN EN 10027.
3. Welche Bauteile eines Kfz müssen ein plastisches, welche ein elastisches Verhalten des Werkstoffes aufweisen? – Denken Sie insbesondere an den passiven Unfallschutz und begründen Sie Ihre Aussagen.
4. Was versteht man unter einer Legierung? – Nennen Sie Beispiele.
5. Unterscheiden Sie Duroplaste, Thermoplaste und Elastomere bezüglich ihrer Eigenschaften und ihrer Verwendung im Kfz.
6. Begründen Sie anhand ausgewählter Beispiele die Vielfalt der eingesetzten Werkstoffe im Kraftfahrzeugbau.
7. Beurteilen Sie den zunehmenden Einsatz von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen in der Automobilindustrie unter den Kriterien Sicherheit, Recycling und Umweltverträglichkeit.
8. Welche Bauteile im Kfz werden mehr und mehr aus „nachwachsenden“ Rohstoffen hergestellt?
9. Recherchieren Sie im Internet unter dem Begriff „Formgedächtnis-Legierungen“ (Shape-Memory). Klären Sie den Begriff und nennen Sie mögliche Anwendungen im Kraftfahrzeug.

2.5 Prüftechnik

2.5.1 Bedeutung der Prüftechnik

Bei der Fertigung eines Kraftfahrzeuges muss immer präzise, aber unterschiedlich exakt gearbeitet werden. Beim Zusammenbau des Motors beispielsweise dürfen nur viel kleinere Abweichungen (Fertigungstoleranzen) auftreten als beim Zusammenbau der Karosserie. In der Prüftechnik werden die Werkstücke oder Teile (Kolben, Zylinder, Karosserieteile, Türen, ...) mit einem SOLL-Mass verglichen.

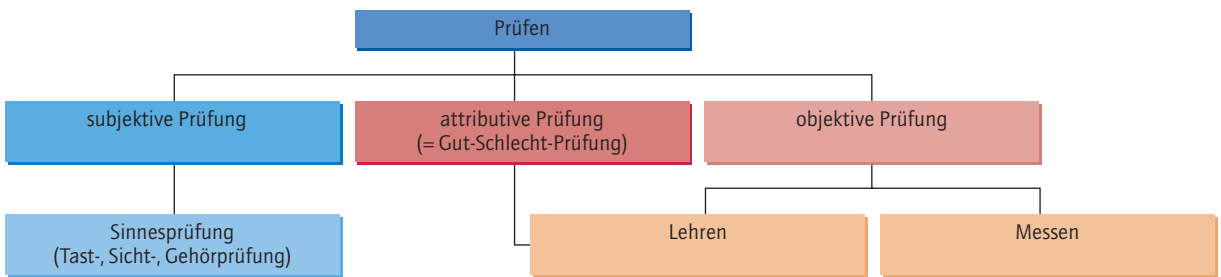
Prüfen ist demnach ein SOLL-IST-Vergleich. Es gibt subjektive und objektive Prüfungen. Subjektives Prüfen erfolgt über die Sinneswahrnehmung: Sehen, Hören, Tasten. Zu den objektiven Prüftätigkeiten gehört das Messen und Lehren.

Messen ist das Vergleichen einer Größe (Länge, Winkel u.ä.) mit Hilfe eines Messmittels. Das

Messmittel kann eine Maßverkörperung (z.B. Parallelendmaß) oder ein anzeigendes Messgerät (z.B. Messschieber) sein. Das Ergebnis ist immer ein Zahlenwert (Istmaß).

Lehren ist das Vergleichen eines Prüfgegenstandes mit einer Maß- oder Formverkörperung. Es wird festgestellt, ob der Prüfgegenstand von der vorgegebenen Sollform oder dem Sollmaß abweicht. Ein Zahlenwert (Messwert) wird nicht ermittelt.

Neben der eigentlichen Prüftechnik gibt es im Fertigungsprozess noch weitere Prüfvorgänge zu anderen Prüfzeitpunkten: z.B. die Eingangsprüfung von Halbzeugen/Rohlingen, Prozessablaufprüfungen und die Qualitätsendprüfung des Fertigproduktes.



2.5.2 Einheiten der Längen- und Winkelprüfung

Physikalische Größen sind nach dem SI-System in sieben Basiseinheiten festgelegt. Längen werden mit der SI-Basiseinheit Meter ermittelt. Neben der Basiseinheit Meter wird teilweise noch die Längeneinheit Zoll (inch) benutzt.

Tabelle 2.7 (S. 54) zeigt alle SI-Basiseinheiten im Überblick. Aus diesen Basiseinheiten lassen sich alle übrigen Einheiten ableiten (z.B. $N = kg \cdot m/s^2$).

Winkel werden in Grad (Einheitenzeichen °) gemessen. Ein Grad ist der 360ste Teil des Vollkreises, der in 60 Winkelminuten zu je 60 Winkelsekunden unterteilt wird. Als Formelzeichen werden griechische Kleinbuchstaben (α , β , ...) eingesetzt.

SI-System
(Système International d'Unités):
Internationales
Einheitensystem

1 Zoll = 25,4 mm

Größe	SI-Basiseinheit Name	Zeichen	Definition
Länge	Meter	m	Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299792458$ Sekunden durchläuft.
Masse	Kilogramm	kg	Das Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps.
Zeit	Sekunde	s	Eine Sekunde ist die Zeitdauer von 9192631770 Schwingungen des Atoms Caesium.
Elektrische Stromstärke	Ampere	A	Ein Ampere ist die Stärke eines konstanten elektrischen Stromes, der zwischen zwei parallel angeordneten Leitern im Abstand von einem Meter die Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ Newton je ein Meter Leiterlänge hervorrufen würde.
Thermodynami- sche Temperatur	Kelvin	K	Ein Kelvin entspricht dem 273,16ten Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes (Dreiphasenpunkt) von Wasser.
Stoffmenge	Mol	mol	Ein Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus eben so vielen Einzelteil- chen besteht, wie Teilchen (Atome) in 0,012 kg Kohlenstoff enthalten sind.
Lichtstärke	Candela	cd	Ein Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $1/683$ Watt durch Steradian beträgt.
Tabelle 2.7	SI- Basiseinheiten.		

2.5.3 Maßabweichungen und Toleranzen

Die Fertigungsgenauigkeit hängt vom Fertigungsverfahren, den eingesetzten Werkzeugen, den Werkstoffen und Maschinen ab. Je genauer Werkstücke gefertigt werden sollen, desto präziser müssen alle Einflussfaktoren aufeinander abgestimmt sein. Es gilt der Grundsatz, dass eine wirtschaftliche Fertigung so grob wie möglich und so genau wie nötig zu erfolgen hat.

Da man weder ganz exakt fertigen noch absolut genau messen kann, ist es nicht angebracht, dem Werkstück absolut genaue Maße zu geben. In technischen Zeichnungen werden deshalb tolerierbare Abweichungen angegeben, in deren Grenzen die Fertigung erfolgen muss. Man unterscheidet:

- Maßtoleranzen,
- Formtoleranzen (diese geben die zulässigen Abweichungen eines Elements von der geometrisch idealen Form an),
- Lagetoleranzen (sie geben die zulässigen Abweichungen von der geometrisch idealen Lage zweier oder mehrerer Elemente zueinander an; Tabelle 2.8).

In Bild 2.14 (S. 56) sind die wichtigsten Begriffe dargestellt, mit denen Maßabweichungen und Toleranzen bezeichnet werden:

Nennmaß (N) ist das in der technischen Zeichnung angegebene Maß. Auf das Nennmaß beziehen sich die zulässigen Abweichungen.

Grenzmaße bezeichnen die zulässige Abweichung vom Nennmaß. Man unterscheidet:

- Höchstmaß G_s = oberes Grenzmaß (größtes zulässiges Maß),
- Mindestmaß G_i = unteres Grenzmaß (kleinstes zulässiges Maß),
- oberes Abmaß Es = Differenz zwischen dem Höchstmaß und dem Nennmaß,
- unteres Abmaß Ei = Differenz zwischen dem Mindestmaß und dem Nennmaß.

G_s : oberes Grenzmaß (supérieur)

G_i : unteres Grenzmaß (inférieur)

Es : écart supérieur (franz.): oberes Abmaß

Ei : écart inférieur (franz.): unteres Abmaß


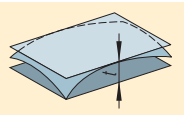
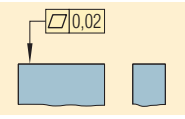

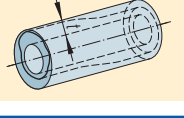
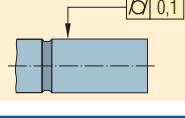

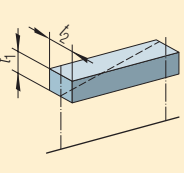
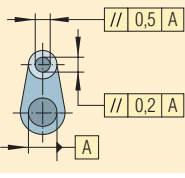

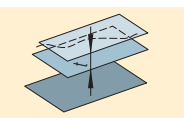
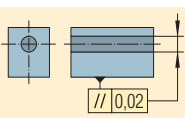

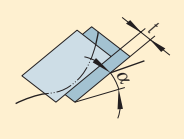
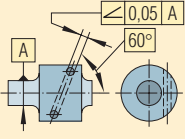

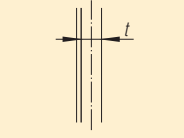
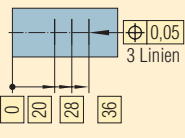

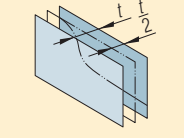
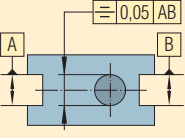


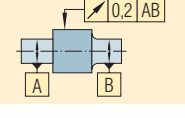

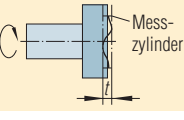
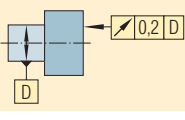
Art der Toleranz		Tol. Eigenschaft / Symbol	Toleranzzone	Zeichnungseintrag	Erklärung
Formtoleranzen		Ebenheit 			Die tolerierte Fläche muss zwischen zwei parallelen Ebenen mit 0,02 mm Abstand liegen.
		Zylinderform 			Die tolerierte Mantelfläche muss zwischen zwei coaxialen Zylindern liegen, die einen Abstand von 0,1 mm haben.
Lage- toleranzen	Richtungs- toleranzen	Parallelität 			Die tolerierte Achse der oberen Bohrung muss innerhalb eines Quaders mit dem Querschnitt $t_1 \cdot t_2 = 0,2 \text{ mm} \cdot 0,5 \text{ mm}$ liegen, der parallel zur Bezugsachse A ist. t_1 und t_2 erstrecken sich in Pfeilrichtung.
		Parallelität 			Die tolerierte Achse der Bohrung muss zwischen zwei zur Bezugsfläche parallelen Ebenen mit 0,02 mm Abstand liegen.
		Neigung (Winkligkeit) 			Die tolerierte Achse der Bohrung muss zwischen zwei parallelen und zur Bezugsachse im Winkel von 60° geneigten Ebenen mit 0,05 mm Abstand liegen.
	Orts- toleranzen	Position 			Jede der tolerierten Markierungslinien muss zwischen zwei parallelen geraden Linien vom Abstand 0,05 mm liegen, die symmetrisch zum theoretisch genauen Ort liegen.
		Symmetrie 			Die tolerierte Achse der Bohrung muss zwischen zwei parallelen Ebenen mit $t = 0,05 \text{ mm}$ Abstand liegen, die symmetrisch zur Mittelebene der Schlitz A und B angeordnet sind.
	Lauf- toleranzen	Rundlauf 			Bei Drehung um die Bezugsachse AB darf die Rundlaufabweichung in jeder achsenkrechten Messebene 0,2 mm nicht überschreiten.
		Planlauf 			Bei Drehung um die Bezugsachse D darf die Planabweichung an jeder beliebigen Messposition 0,2 mm nicht überschreiten.

Tabelle 2.8

Toleranzen und ihre Bedeutung.

Nonius: Hilfsmaßstab zum Ablesen von Bruchteilen der Teilung eines Längenmaßstabes.

Toleranz ist der Fertigungsspielraum zwischen dem Höchst- und dem Mindestmaß bzw. die Differenz zwischen oberem und unterem Abmaß. Sind zu den Nennmaßen keine Abmaße angegeben, gelten für Längenmaße Allgometoleranzen nach DIN ISO 2768. Für bestimmte Nennmaßbereiche sind die zulässigen Grenzmaße aufgeführt.

Istmaß ist das durch Messen des fertigen Werkstückes ermittelte Maß. Fertigungsabweichungen können zu unterschiedlichen Istmaßen am gleichen Werkstück führen.

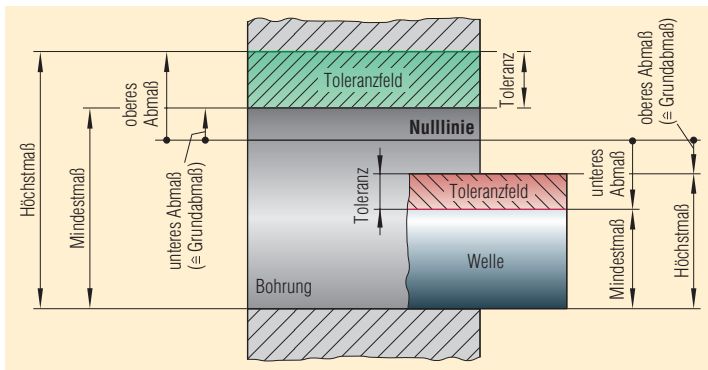


Bild 2.14 Begriffe von Maßabweichungen und Toleranzen.

LCD (Liquid crystal display): Flüssigkristallanzeige

Lehren: Bestimmtes festes Maß oder bestimmte Form des jeweiligen Prüfgegenstandes.

2.5.4 Längenmessgeräte

Längen können durch Messen oder Lehren geprüft werden. In diesem Abschnitt wird das Prüfen durch Messen behandelt. Messgeräte verkörpern das Werkstück-Istmaß (Maßverkörperungen) oder sie zeigen es an (anzeigende Messgeräte).

Maßverkörperungen. Strichmaßstäbe verkörpern Längenmaße durch den festen Abstand von Strichen auf einer Strichskale. Die Maße können direkt und unmittelbar abgelesen werden. Werkstattüblich sind Stahlmaßstäbe, Gliedermaßstäbe und Stahlmessbänder.

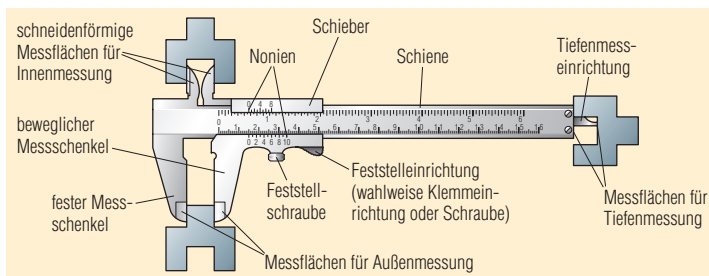


Bild 2.15 Messschieber.

Messschieber sind Längenmessgeräte für Außen-, Innen- und Tiefenmessungen. Der Messschieber besteht hauptsächlich aus einem festen und einem beweglichen Messschenkel (Bild 2.15). Die Ablesung erfolgt mithilfe eines Nonius. Der Nonius besteht aus 10, 20 oder (seltener) 50 gleichen Einheiten, die zusammen so groß sind wie 9, 19 oder 49 Einheiten des abzulesenden Skalenteilungswertes ($1/10$ -, $1/20$ - bzw. $1/50$ -Nonius).

Die Hauptteilung befindet sich auf der Schiene des festen Messschenkels als Millimeter- und/oder Zolleinteilung. Die Noniusteilungen sind auf dem Schieber des beweglichen Messschenkels enthalten. Der Noniusstrich, der mit einem Strich der Hauptteilung zusammenfällt, gibt den gesuchten Bruchteil an.

Messschieber mit digitaler Messwertanzeige zeigen Millimeter, Zehntel- und Hundertstelmillimeter in einem LCD-Display an.

Messschrauben. Mit der Steigung eines Schraubengewindes werden die Messgrößen ermittelt. Durch das Drehen der Skalentrommel schiebt sich die Messspindel so weit gegen den Amboss, bis das Prüfstück an beiden Messflächen anliegt.

Für verschiedene Zwecke gibt es Bügel-, Innen-, Einbau- und Tiefenmessschrauben. Mit der Bügelmessschraube werden Außenmessungen an zylindrischen oder flächigen Werkstücken durchgeführt (Bild 2.16).

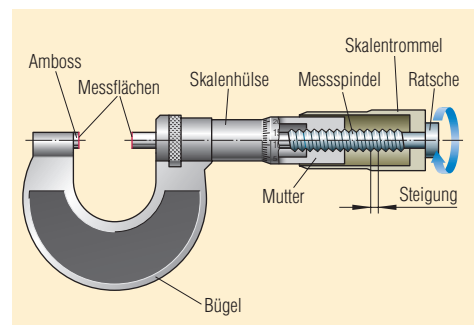


Bild 2.16 Bügelmessschraube.

Messuhren sind Längenmessgeräte, bei denen der Messbolzenweg durch Zahnstange und Zahnräder übersetzt und auf die Zeiger von Kreisskalen übertragen wird. Ein Millimeter Messweg bewirkt meist einen Zeigerausschlag von 360° . Die große Messskale zeigt die $1/100$ mm an, die kleinere die ganzen Millimeter.

Messuhren werden überwiegend zum Unterschiedsmessen von Außen- und Innenmaßen, zur Prüfung von Rundlauf, Parallelität und Ebenheit aber auch zur Einstellung von Werkzeugen verwendet (Bild 2.17). Messuhren sind stoßempfindlich!

2.5.5 Prüffehler

Ein absolut fehlerfreies Messen ist nicht möglich. Folgende Fehlerquellen können auftreten:

- der Messgegenstand ist unvollkommen (z. B. Oberflächenbeschaffenheit),
- das Messgerät ist fehlerhaft (z. B. Abnutzungserscheinungen),
- störende Umwelteinflüsse (z. B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, ...),
- die prüfende Person macht Fehler (z. B. mangelnde Konzentration oder Erfahrung).

Man unterscheidet systematische Fehler und zufällige Fehler.

Systematische Fehler. Sie treten unter gleichen Messbedingungen immer mit dem gleichen Betrag und dem gleichen Vorzeichen auf. Gleiche Messbedingungen bestehen, wenn das gleiche Messgerät, die gleiche Messstelle und die gleichen Umweltbedingungen vorliegen.

Handelt es sich um einen erfassbaren systematischen Fehler (z. B. Steigungsfehler der Messspindel einer Bügelmessschraube), so muss dieser bei der Ermittlung des Messergebnisses berücksichtigt werden. Ermitteln kann man ihn durch einen Vergleich mit Messgeräten oder Maßverkörperungen, deren Fehler bekannt, aber möglichst klein ist.

Nicht erfassbare systematische Fehler werden wie zufällige Fehler behandelt und gehen in die Messunsicherheit ein.

Zu den systematischen Messfehlern gehören:

- Teilungsfehler in Getrieben von Messuhren,
- Steigungsfehler bei Gewinden von Messuhren,
- Abweichungen von der Bezugstemperatur (ca. 20 °C),
- Messkrafteinflüsse, die das Durchbiegen von Messbügeln und Abplattungen von Messflächen verursachen können.

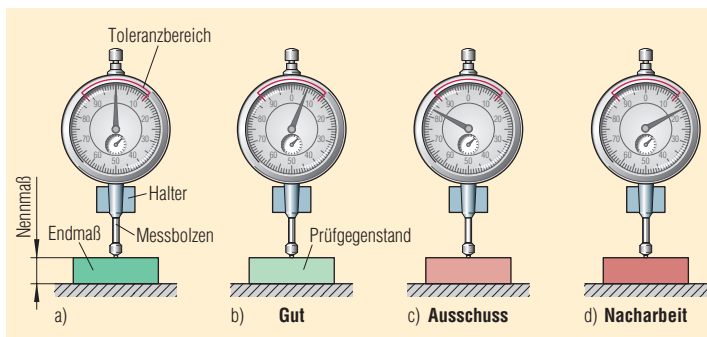


Bild 2.17 Unterschiedsmessung mit einer Messuhr.

Zufällige Fehler sind nicht erfassbar und nicht beeinflussbar. Unter gleichen Messbedingungen schwanken sie nach Betrag und Vorzeichen. Sie verursachen eine Streuung des Messergebnisses.

Ein Maß für die Größe der zufälligen Fehler ist die Standardabweichung. Mit ihr wird die Güte (Reproduzierbarkeit) des Messgerätes gekennzeichnet.

Zu den zufälligen Fehlern zählen:

- Ablesefehler durch falsches Einschätzen der Teilungsabstände,
- unterschiedliche Reibungswiderstände von Führungen und Lagerungen des Messmittels,
- Lager- und Flankenspiel im Messmittel.

2.5.6 Anreißen

Anreißen ist das sichtbare Übertragen von Maßen auf das zu fertigende Werkstück. Werkstückumrisse, Biegekanten, Durchbrüche, Bohrungsmitten etc. werden mit Hilfe von Anreißwerkzeugen in die Werkstückoberfläche geritzt.

Anreißen erfordert besondere Arbeitstechniken und hochwertige Arbeitsmittel. Fehlerhaftes Anreißen führt zu erhöhtem Ausschuss. Notwendig ist das Arbeitsverfahren bei der Einzel- und Serienfertigung von komplizierten Werkstücken. Nicht erforderlich ist es bei der Serienfertigung, dem Einsatz moderner Werkzeugmaschinen (z. B. Bohrwerk, CNC-Werkzeugmaschinen) und der Verwendung von Vorrichtungen.

Körner: Werkzeug mit gehärteter Kegelspitze zum Markieren.

VORSICHT! Kupfervitriol ist giftig!



Ätzend! Arbeitssicherheitsmaßnahmen/Schutzmaßnahmen sind zu beachten. Kontakt mit der Haut ist zu vermeiden.

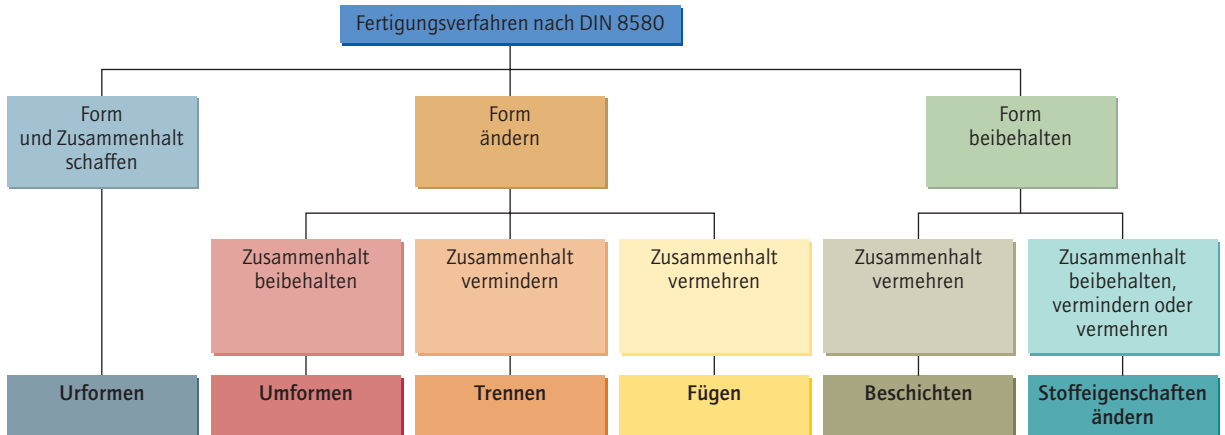
Die Anreißlinien müssen während der Bearbeitungsdauer auf dem Werkstück deutlich sichtbar sein. Der Verlauf der Anreißlinien kann zusätzlich mit Körnerpunkten versehen werden. Nach der Bearbeitung dient der verbleibende Körnerpunkt zur Kontrolle. Rohe Flächen von Walz-, Guss- und Schmiedeteilen werden mit Schlammkreide vorbereitet. Unbearbeitete Werkstücke ohne Guss-, Walz- oder Schmiedehaut werden mit Anreißlack bestrichen oder besprüht. Mit Kupfervitriol (= Kupfersulfat) werden metallisch reine, blanke Werkstücke aus Stahl und Zink gekennzeichnet.

Anreißwerkzeuge und Hilfsmittel. Gerade Linien reißt man mit einer gehärteten Stahlreißnadel an. Oberflächen, die beschädigt werden können, werden mit einer Messingreißnadel oder einem Bleistift angerissen. Kreise und Kreisbögen werden nach dem Setzen eines Körners im Mittelpunkt mit einem Spitzzirkel angerissen. Spitzzirkel können auch zum Abgreifen und Übertragen von Maßen eingesetzt werden. Höhenmessschieber werden zum Anreißen und Messen benutzt. Haarwinkel und -lineale sind keine Anreißwerkzeuge!

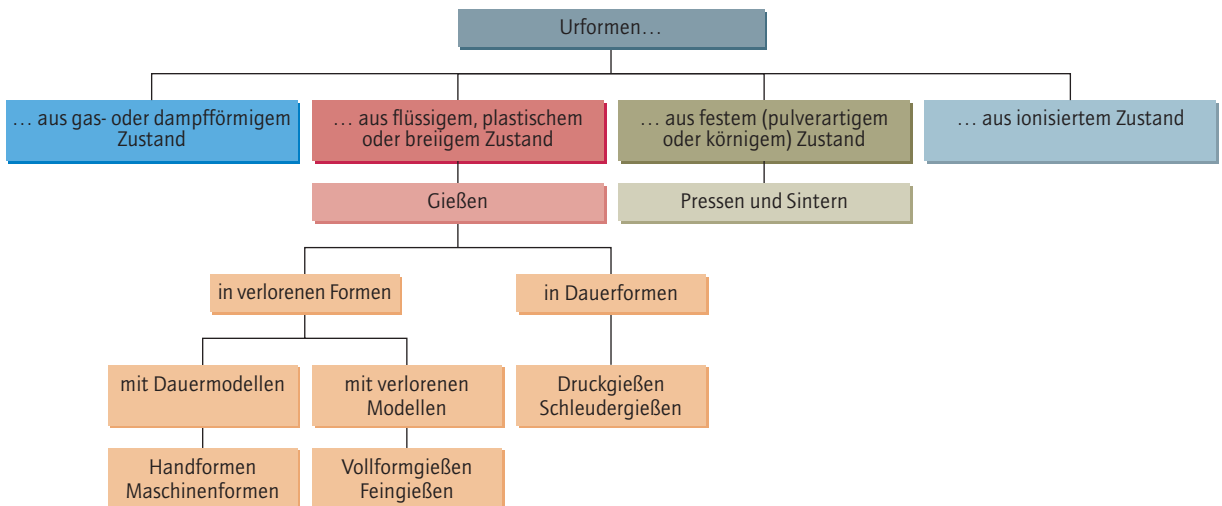
Arbeitsaufträge

1. Erklären Sie die Begriffe Prüfen, Messen, Lehren.
2. Was versteht man unter subjektivem und objektivem Messen?
3. Listen Sie tabellarisch mögliche Prüfvorgänge am Kfz auf und unterscheiden Sie, ob es sich dabei um Messen oder Lehren handelt.
4. Erklären Sie die Begriffe Nennmaß, oberes Abmaß, unteres Abmaß, Höchstmaß, Mindestmaß und Maßtoleranz am Beispiel 32 D10. Geben Sie die Werte an.
5. Unterscheiden Sie systematische und zufällige Messfehler anhand von Praxisbeispielen.
6. Was versteht man unter Formtoleranzen, was unter Lagetoleranzen?
7. Warum gibt ein Motorenhersteller bei der Prüfung des Ventilspiels zwingend vor, ob im warmen oder kalten Zustand geprüft werden soll?

2.6 Fertigungsverfahren (außer Fügen)



2.6.1 Urformen



Unter Urformen versteht man das Fertigen von Werkstücken aus formlosem Stoff durch Schaffung des Zusammenhalts. Formlose Stoffe können Schmelzen, Gase, Flüssigkeiten, Pulver, Fasern, Granulate u. a. sein.

Von den aufgeführten Verfahrensgruppen sind in der Praxis am wichtigsten das Gießen und das Sintern.

Das Gießverfahren wird angewendet, wenn die Herstellung von Werkstücken durch andere Fertigungsverfahren nicht möglich bzw. unwirtschaftlich ist und man bestimmte Eigenschaften des Gusswerkstoffes ausnutzen will.

Beim Gießen werden flüssige Metalle und Metalllegierungen in eine Form gegossen (Bild 2.18, S. 60). Die Gießform entspricht in allen Einzelheiten der gewünschten äußeren Werkstückform.

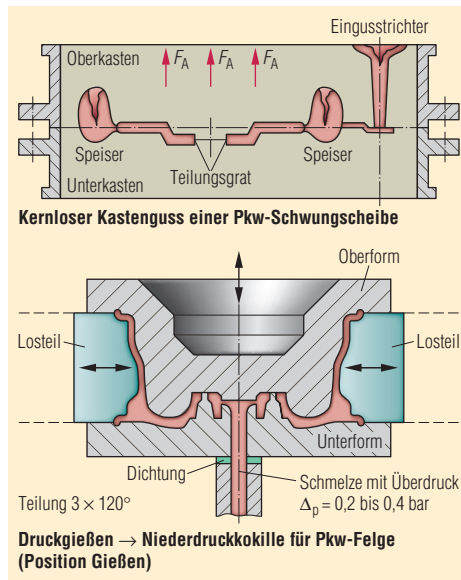


Bild 2.18 Gießverfahren.

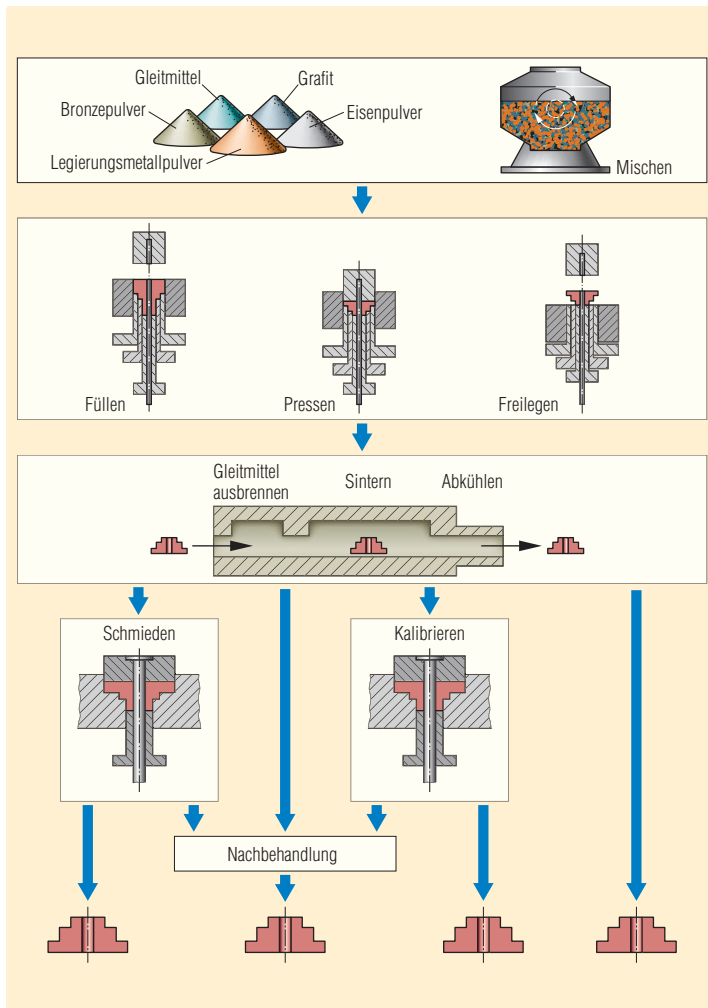


Bild 2.19 Fertigungsablauf zur Herstellung von Sinterteilen.

Da sich flüssige Metalle beim Erkalten (Erstarren) zusammenziehen (der sog. Schwund), muss die Gießform um das Schwundmaß größer ausgelegt sein als das fertige Werkstück. Schwundmaße hängen vom jeweiligen Gusswerkstoff ab; sie betragen 0,5 % bis 2 % bezogen auf das Modellmaß. Außerdem muss eine Bearbeitungszugabe berücksichtigt werden, wenn die Gussteile spanend bearbeitet werden sollen.

Gießwerkstoffe sollten

- ein gutes Fließ- und Formfüllungsvermögen haben,
- wirtschaftlich schmelzbar sein,
- geringe Neigung zum Aufbau von Spannungen und Hohlstellen (Lunkern) während des Abkühlens zeigen.

Nach dem physikalischen Wirkprinzip unterscheidet man die Gießverfahren:

- Schwerkraftgießen (ein Formhohlraum füllt sich durch die Schwerkraft mit flüssigem Gießmetall),
- Druckgießen (flüssiges oder zähflüssiges Gießmetall wird unter Druck bis 2000 bar in die Dauerform gepresst) und
- Fliehkräftgießen (Gießmetall wird in eine sich drehende Form, eine Kokille, gegossen. Durch die Fliehkraft wird das Gießmetall an die Wandung der Form gepresst und erstarrt. Es entsteht ein Rotations-Hohlkörper.).

Im Kraftfahrzeugbau werden Zylinder-, Motor- und Getriebeblöcke, Kurbel- und Nockenwellen, Schwungscheiben, Bremsstrommeln, Pleuel, Räder, Gelenkwellenflansche u. ä. gegossen.

Vorteile gegossener Werkstücke:

- Herstellung komplizierter Formen möglich,
- wirtschaftliche Fertigung bei großen Stückzahlen,
- mechanische Nachbearbeitung der Werkstücke oft nicht erforderlich,
- saubere, glatte Oberfläche und Maßhaltigkeit.

Sintern ist das Verdichten und Verfestigen pulverförmiger Massen bei hohen Temperaturen (Bild 2.19). Bei Pulvern aus einem Ausgangsstoff (Einstoffpulvern) liegt die Sintertemperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Ausgangsstoffes. Bei Zwei- oder Mehrstoffpulvern (z.B. Wolframcarbid und Kobalt) kann die Temperatur den Schmelzpunkt des Pulverbestandteils mit der niedrigsten Temperatur überschreiten. Dies

führt zum Aufschmelzen eines Bestandteiles und zur Kristallneubildung.

Vorteile gegenüber anderen Ur- und Umformverfahren:

- mechanisierter Fertigungsablauf führt zu maßhaltigen Fertigteilen,
- Ausnutzung des Pulverwerkstoffes beträgt annähernd 100%, da Anschnitte, Grate oder Zugaben fehlen,
- das Mischen unterschiedlicher Metallpulver führt zu Werkstoffen, die schmelztechnisch nicht herstellbar wären,
- Einsparungen von ca. 60 % beim Rohstoffverbrauch und ca. 40 % beim Energieverbrauch gegenüber der spanenden Fertigung.

Nachteile:

- hohe Kosten bei der Pulverherstellung,
- man benötigt hochwertige Presswerkzeuge, große Pressen und hohe Kräfte,
- erst in großen Stückzahlen wirtschaftlich,
- Formenvielfalt und Formengröße begrenzt.

Im Fahrzeug- und Maschinenbau werden häufig beispielsweise Zahnriemenräder, Ventileführungen, Synchronringe, Bremsbeläge, Bremsscheiben, Gleitlager, Kolbenringe, Pleuel und Kolben aus gesinterten Werkstoffen hergestellt.

Urformen von Werkstoffen aus Kunststoffen.

Im Kraftfahrzeugbau wird der Anteil an Kunststoffen immer größer.

Das Urformen von Werkstücken aus Kunststoffen ist dem von Werkstücken aus Metallen vergleichbar. Die Ausgangswerkstoffe können als Granulat, Pulver, Pressmasse, Paste und Trockenmischung oder als Lösungen, Flüssigkeiten und Schmelzen vorliegen. Weiterhin können sie aus zwei oder mehreren Komponenten bestehen, die bei der Formgebung miteinander reagieren. Übliche Urformverfahren von Kunststoffen sind:

- Strangpressen (Extrudieren),
- Spritzgießen,
- Pressen,
- Schäumen,
- Laminieren und
- Kalandrieren.

Kunststoffe im Fahrzeugbau → S. 494

Extrudieren:

Herstellung von Formstücken im Extruder, einer Schneckenstrangpresse.

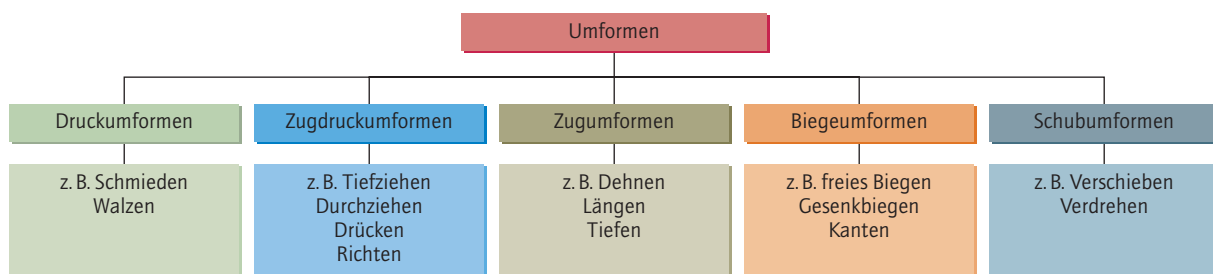
Laminieren:

in Schichten pressen (Laminat = Schichtpressstoff) oder mit Folie überziehen.

Kalandrieren:

im Kalandrieren bearbeiten, einer Maschine mit Presswalzen zum Glätten, Prägen und Beschichten.

2.6.2 Umformen



Umformen ist die plastische Veränderung einer Form durch äußere Krafteinwirkung. Der Stoffzusammenhalt und die Masse bleiben erhalten. Dies gilt für Metalle und Kunststoffe.

Die Vorteile der Umformverfahren bestehen in

- optimaler Werkstoffausnutzung,
- relativ geringer Fertigungszeit,
- guter Oberflächenqualität und
- hoher Werkstofffestigkeit.

Tiefziehen ist ein Zugdruckumformverfahren. Typisch für dieses Verfahren ist, dass die bleibende Umformung des Werkstoffes durch eine kombinierte Zug- und Druckbeanspruchung erzeugt wird.

Die für das Tiefziehen verwendeten Materialien müssen gute Umformeigenschaften besitzen (fließfähige Stoffe, z. B. kaltgewalzte Bleche). Die im Werkstoff auftretenden Kräfte strecken ihn in Ziehrichtung, stauchen ihn aber quer dazu.

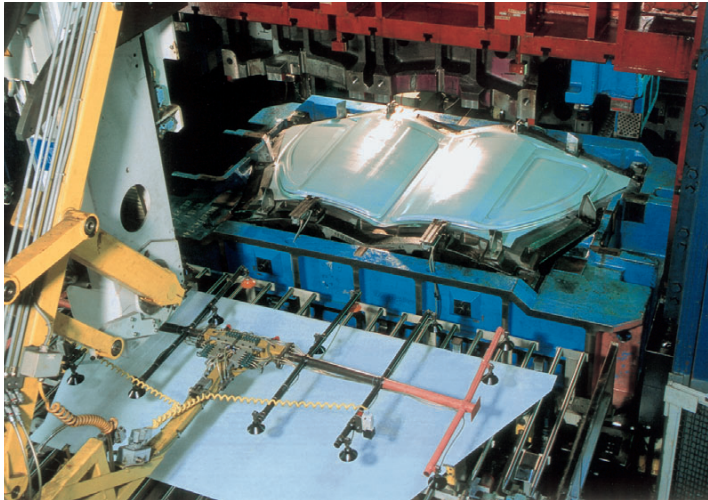


Bild 2.20 Tiefziehen eines Hohlkörpers.

Der Werkstoff (Zuschnitt) wird durch einen Stempel in eine Matrize „gezogen“. Ein Niederhalter drückt dabei den Werkstoff auf die Matrize und verhindert dadurch Faltenbildung. Der Ziehspalt zwischen Stempel und Matrize nimmt die Wanddicke des entstehenden Werkstückes auf.

Im Fahrzeugbau werden die meisten Karosserieteile aus Blech durch Tiefziehen hergestellt (Bild 2.20).

Biegeumformen. Das Biegen, insbesondere das Winkelbiegen, ist eines der am häufigsten angewendeten Umformverfahren. Gebogen werden Bleche, Bänder, Profilstäbe, Rohre und andere Halbzeugformen durch Kaltumformen. Die bei der Biegeumformung auftretenden Spannungen, Verformungen und Kräfte zeigt Bild 2.21.

Weitere berufstypische Umformverfahren (Blechbearbeitungsverfahren) zeigt Tabelle 2.9.

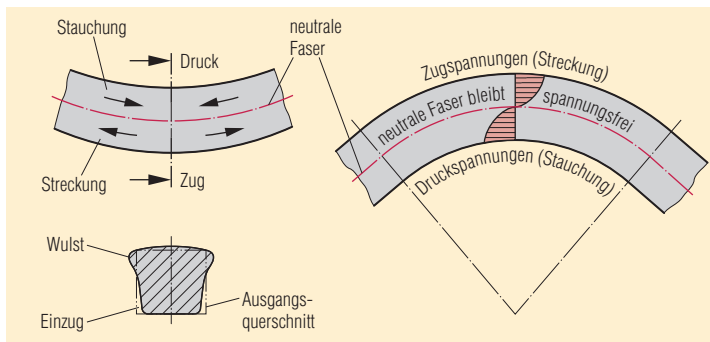
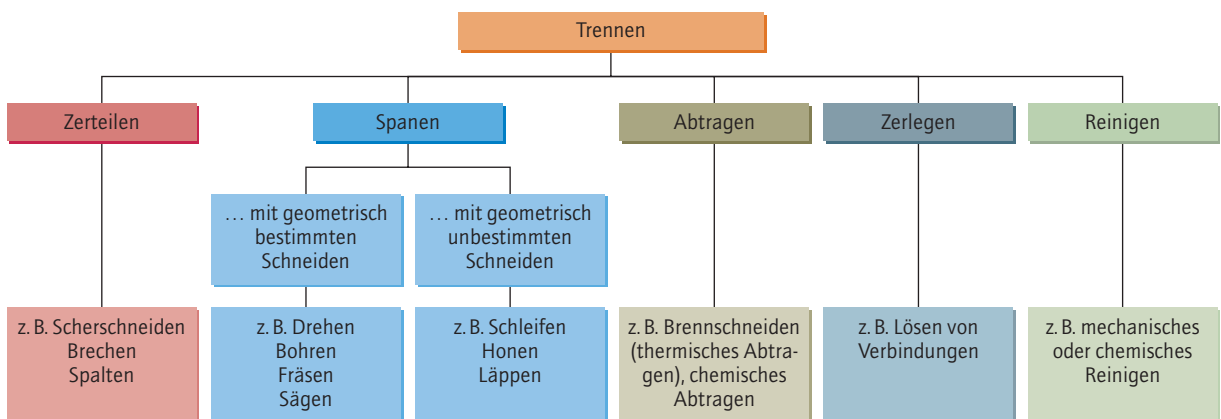


Bild 2.21 Kräfte und Verformungen beim Biegen.

2.6.3 Trennen



Blechbearbeitungs- verfahren		Einsatz/Vorgang/Besonderheiten
Richten		<p>Ungewollte Blechverformungen lassen sich durch Richten rückgängig machen. Es kann kalt und warm gerichtet werden.</p> <p>Beim Kaltrichten wird das Blech mit dem Richthammer auf der verkürzten Seite gestreckt. Beulen werden durch spiralförmig zur Mitte hin gerichtetes Hämmern abgebaut.</p>
Schlichten		<p>Schlichten dient dem Glätten der Oberfläche verformter Bleche; es wird z. B. nach dem Richten durchgeführt.</p>
Bördeln		<p>Bleche und Rohre werden beim Bördeln am Rand entlang einer Kurve umgebogen, und zwar entweder nach außen (Ausbördeln; Strecken des Bleches) oder nach innen (Einbördeln; Stauchen des Bleches).</p>
Sicken		<p>Sicken sind in ein Blech eingearbeitete Rillen. Sie dienen der Versteifung und Stabilisierung von Blechen oder als Anschlag, z. B. an Rohrenden.</p>
Falzen		<p>Falzen ist das Umlegen von Blechkanten mit nachfolgendem Einhaken und Festdrücken der Ränder. Wegen der hohen Beanspruchung dürfen nur gut verformbare Bleche gefalzt werden. Ein Falz verbindet und versteift gleichzeitig.</p>
Tabelle 2.9	Berufstypische Blechbearbeitungsverfahren.	

Fertigungsverfahren, bei denen der Stoffzusammenhalt durch äußere Krafteinwirkung aufgehoben wird, bezeichnet man als Trennverfahren. Manuelle Trennverfahren sind u. a. Sägen, Feilen, Gewindeschneiden, Reiben, Schneiden und Meißeln. Zu den maschinellen Trennverfahren zählt man u. a. Bohren, Drehen, Fräsen, Schleifen, Räumen, Honen und Läppen.

Die Werkzeuge der Trennverfahren besitzen eine oder mehrere keilförmige Schneiden. Geometrisch bestimmt ist diese Schneide, wenn sie in Form und Größe je nach Verwendung und Werkzeug genau festgelegt ist. Die Keilform wird durch den Keilwinkel β , die Länge der Schneide und die Keiflanken bestimmt (Bild 2.22). Geometrisch unbestimmt ist eine Schneide, wenn sich Keilwinkel, Schneidenlänge und Keiflanken eher zufällig ergeben (Schleifkörner von Schleifscheiben).

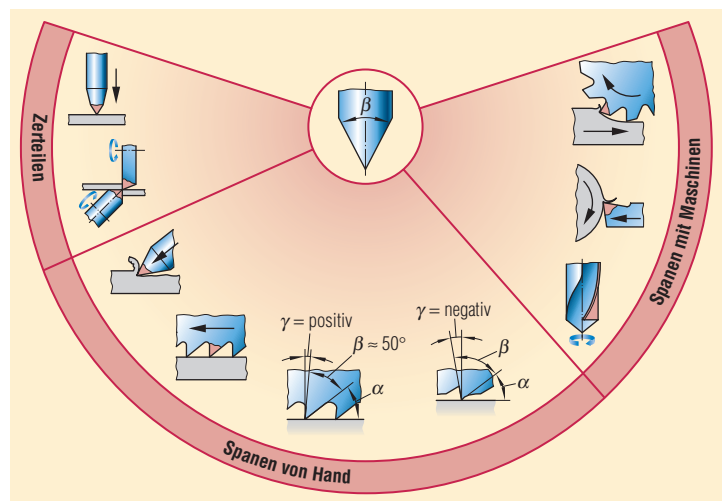


Bild 2.22 Keil als Werkzeugschneide.

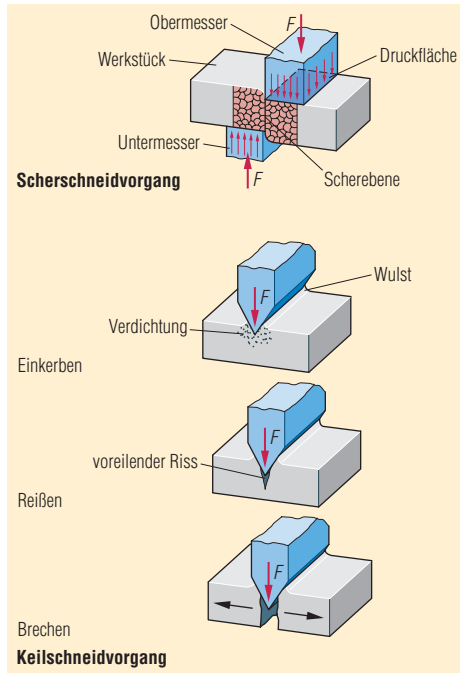


Bild 2.23 Scherschneid- und Keilschneidvorgang.

$$\text{Scherfestigkeit} = \frac{\text{Scherkraft}}{\text{Scherfläche}}$$

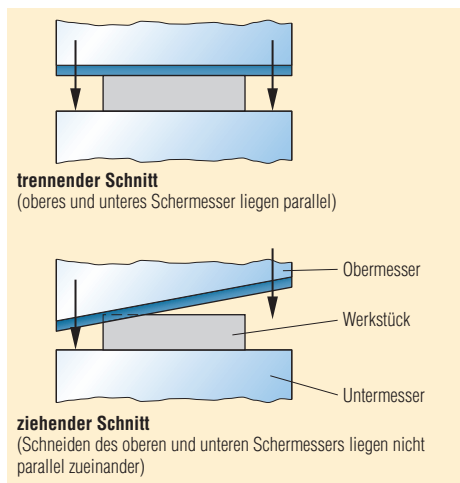


Bild 2.24 Trennender und ziehender Schnitt.

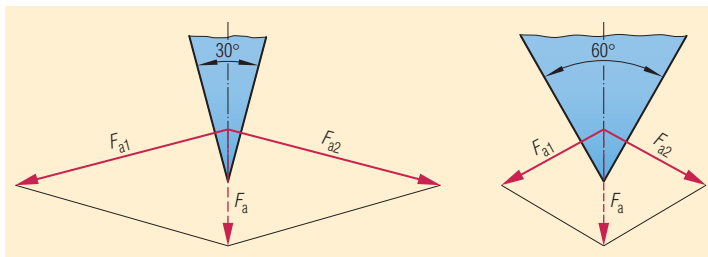


Bild 2.25 Wirkung der Keilkräfte.

Zerteilen ist das Abtrennen von Werkstoffteilchen eines Werkstücks, ohne dass formloser Stoff bzw. Stoffteilchen (Späne) entstehen. Grundsätzlich unterteilt man nach der Art des Zerteilens in (Bild 2.23)

- Scherschneiden (zwei Schneiden bewegen sich aneinander vorbei und scheren dabei den Werkstoff ab) und
- Keilschneiden (ein oder zwei keilförmige Schneiden zerteilen das Werkstück).

Beim Scherschneiden unterscheidet man trennende und ziehende Schnitte (Bild 2.24).

Der Ablauf eines Trennvorgangs hängt von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Die Keilform des Werkzeugs ist eine Einflussgröße. Die Wirkung der aufgetragenen Kraft überträgt sich auf die Keilflanken des Werkzeugs, die den Werkstoff trennen. Die Wirkrichtung der Trennkräfte liegt im rechten Winkel zur Keilflanke. Die Trennkräfte sind umso größer, je kleiner der Keilwinkel ist (Bild 2.25). Je höher jedoch die Werkstofffestigkeit, desto größer muss der Keilwinkel β sein. Größere Keilwinkel sichern einen längeren Werkzeugeinsatz (Standzeit). Gleichzeitig erhöht sich jedoch der Kraftbedarf.

Der Werkstoff setzt den eindringenden Schneidkeilen einen Widerstand entgegen, der überwunden werden muss. Diesen Widerstand bezeichnet man als Scherfestigkeit.

Das Arbeiten mit Handblechscheren erfordert oftmals hohe Scherkräfte. Um diese Kräfte aufzubringen, nutzt man das Prinzip der Hebelwirkung (Bild 2.26).

Der Öffnungswinkel der Schneidkeile hat eine unmittelbare Auswirkung auf die Scherkräfte. Dicke und Scherfestigkeit des Werkstücks begrenzen die Anwendungsmöglichkeiten von Handblechscheren.

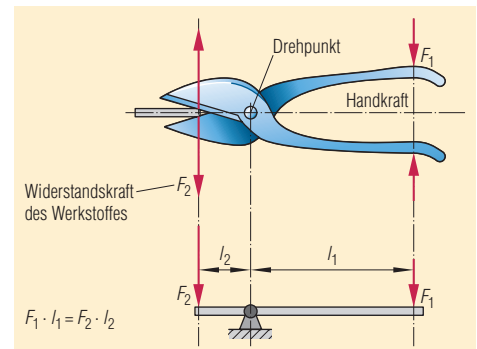


Bild 2.26 Kräfteverhältnisse an Handblechscheren.

Spanen. Unter Spanen versteht man das mechanische Abtrennen von formlosem Stoff (Spänen) mithilfe von keilförmigen Werkzeugschneiden. Werkzeug und Werkstück bewegen sich während des Zerspanungsvorgangs gegeneinander. Die Schnittbewegung kann ausgeführt werden durch:

- Werkzeug (Sägen, Bohren, Fräsen),
- Werkstück (Drehen),
- Werkzeug und Werkstück (Schleifen).

Die Vorgänge des Spanens sind bei allen spanabhebenden Verfahren gleich. Wird die Werkstofffestigkeit überwunden, kommt es zur Spanbildung. Die Späne bilden sich in mehreren hintereinander folgenden Stufen, bei denen die keilförmige Schneide in den Werkstoff eindringt. Die Winkel an der Keilschneide haben auf die Spanbildung, die Oberflächengüte, den Kraftaufwand und die Werkzeugbeanspruchung einen erheblichen Einfluss (Bild 2.27).

Die spanende Werkstoffbearbeitung kann von Hand oder maschinell erfolgen.

Meißel sind einschneidige Werkzeuge zum Zerteilen und Spanen. Der Keilwinkel liegt zwischen

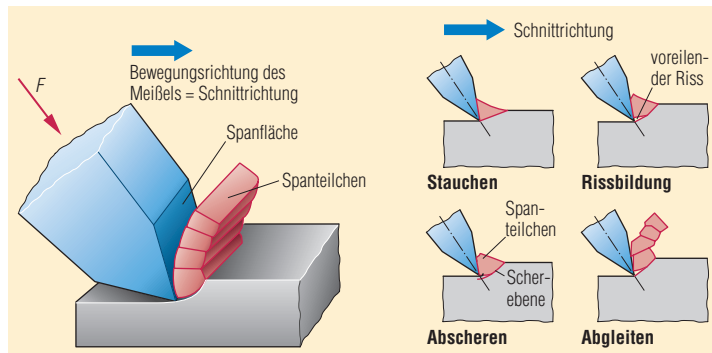


Bild 2.27 Spanbildung.

30° und 85°. Er ist abhängig vom zu bearbeitenden Material (Tabelle 2.10). Besondere Bedeutung haben der Span- und der Freiwinkel, die von der Meißelhaltung beeinflusst werden.

Unfallverhütung:

- Schutzbrille tragen!
- Meißelhaltung und Hammerführung beachten!
- Hämmer auf festen Sitz prüfen!
- Meißelkopf darf keinen „Bart“ haben!
- Schutz anderer Personen beachten!



Größe des Keilwinkels	Bearbeitbare Werkstoffe
30° bis 40°	Aluminium, Al-Legierungen, Blei, Holz
50° bis 60°	Kupfer, Kupfer-Zink-Legierungen (Messing), Baustahl
65° bis 70°	Gusseisen, Stahlguss
75° bis 85°	Hartguss, legierter Stahl
Tabelle 2.10	Keilwinkel am Meißel.

Feilen sind mehrschneidige Werkzeuge. Im Feilenblatt sind sogenannte Hiebe im bestimmten Winkel zueinander eingehauen (gehauene Feilen) oder aber Zähne eingefräst (gefräste Feilen).

Durch das Feilen lassen sich formgerechte und maßgenaue Werkstücke herstellen.

Nach der Hiebart wird zwischen einhiebig und zweihiebig Feilen unterschieden. Einhiebig Feilen werden vorwiegend zur Bearbeitung weicher Werkstoffe, zweihiebig Feilen vorwiegend zur Bearbeitung härterer Werkstoffe eingesetzt.

Die Hiebzahl ist maßgebend für die erzielbare Oberflächengüte. Je größer die Hiebzahl, desto feiner ist die Feile. Nach der Größe der Rautiefe (Oberflächengüte) unterscheidet man in Abhängigkeit von der zerspannten Werkstoffmenge Schrubb-, Schlicht- und Feinschlichtfeilen (Tabelle 2.11, Seite 66).

Unfallverhütung:

- Auf festen Sitz des Feilenheftes achten!
- Späne mit Handfeger entfernen!
- Zur Vermeidung von Schnittverletzungen Werkstück entgraten!



Hiebnummer	Hiebzahl/cm	Erzielbare Oberflächengüte	Feilenart
1	5,3 bis 16	$R_a \approx 3,2 \mu\text{m}$	Schruppfeile
2	10 bis 25	$R_a \approx 0,4 \mu\text{m}$	Schlichtfeile
3	14 bis 35		
4	25 bis 50	$R_a \approx 0,25 \mu\text{m}$	Feinschlichtfeile
Tabelle 2.11		Hiebnummer und erzielbare Oberflächengüte.	

Sägen sind mehrschneidige Werkzeuge. Die Anordnung der keilförmigen Schneiden (Zähne) bewirkt, dass jeder Zahn Späne abträgt (Bild 2.28). Durch Sägen kann man Halbzeuge ablängen, Werkstücke trennen oder mit Nuten und Schlitzten versehen. Neben Handsägen gibt es Maschinensägen (z. B. Bügel-, Band- und Kreissägen).



Unfallverhütung:

Werkstück nahe der Schnittstelle sicher einspannen!
Sägeblatt in Richtung Arbeitshub einspannen!
Am Schnittende Druck auf das Sägeblatt verringern!
Vorsichtig sägen! Verletzungsgefahr!

Gewindeschneiden. Gewinde können spanlos (z. B. durch Gewindewalzen) oder spanend von Hand oder maschinell gefertigt werden.

Innengewinde werden mit Gewindebohrern in vorgebohrte Kernlöcher geschnitten. Gewindebohrer sind mehrschneidige Werkzeuge, die in Form und Maßen dem zu fertigenden Gewinde angepasst sind. Das Werkzeug führt eine gerade Vorschub- und eine drehende Schnittbewegung

aus. Für die maschinelle Fertigung von Innengewinden setzt man Maschinengewindebohrer ein (Bild 2.29). Sie schneiden das Gewinde in einem Arbeitsgang.

Außengewinde werden von Hand mit Schneideisen oder Schneidkluppe hergestellt. Maschinelles Außengewindeschneiden erfolgt überwiegend auf der Drehmaschine. Die Schneidarbeit wird durch Kühlschmiermittel (z. B. Schneidöl) unterstützt.

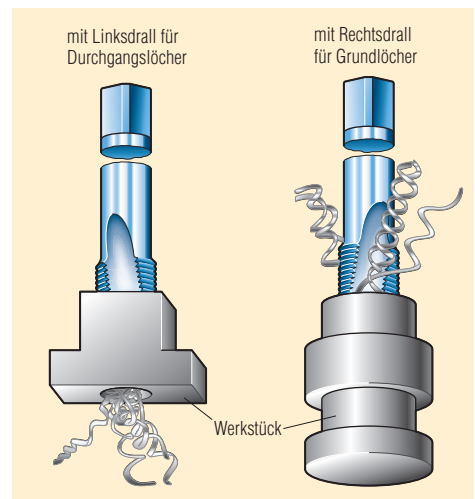


Bild 2.29 Maschinengewindebohrer.

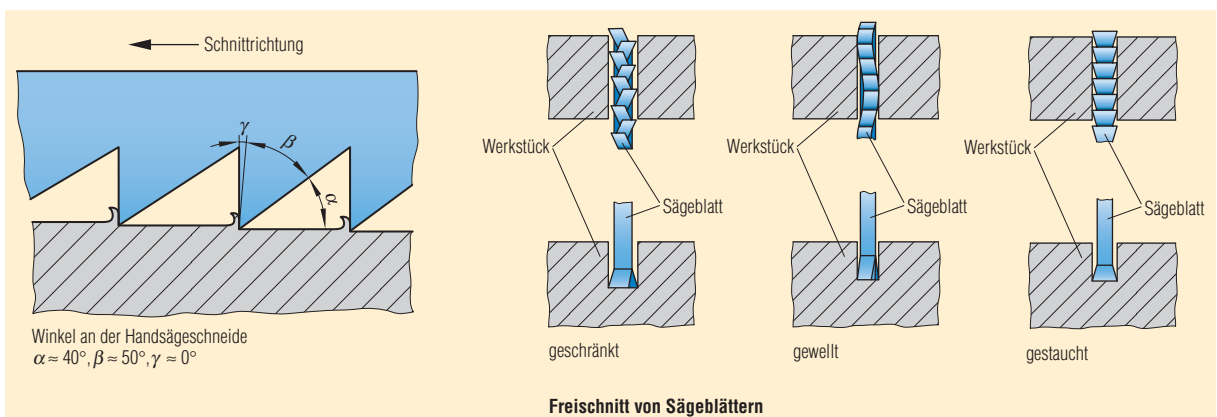


Bild 2.28 Zahnform und Zahnteilung an der Säge.

Herstellen eines Innengewindes von Hand.

Zuerst muss passend zum Nenndurchmesser des Gewindes das Kernloch mit dem richtigen Durchmesser an der richtigen Position gebohrt werden. Den exakten Wert sollte man immer aus einer Norm-Tabelle entnehmen. Faustregeln wie „Faktor 0,8 vom Nenndurchmesser“ gelten als fachlich nicht korrekt. Das Kernloch muss mit 120 Grad angesenkt werden, damit der Gewindebohrer sauber angesetzt werden kann und sofort schneidet (Tabelle 2.12).

Gearbeitet wird mit einem dreiteiligen Gewindebohrersatz (Bild 2.30). Der Werkstoffabtrag erfolgt überwiegend vom Vorschneider (ca. 50%). Der Vorschneider hat eine Rille am Schaft und passt weit in das Kernloch. Der Mittelschneider hat zwei Rillen und übernimmt ca. 34% Abtrag. Der Fertigschneider hat keine Rille; er trägt den Rest ab und glättet die Gewindeoberfläche, damit eine Schraube leicht eingedreht werden kann.

Herstellen eines Außengewindes von Hand.

Vor dem Schneiden muss das Bolzenende kegelig angespitzt werden. Gearbeitet wird meist mit einem einteiligen Werkzeugsatz. Das Schneideisen (Bild 2.31) hat Spanlöcher zur Spanabfuhr; die ersten Gewindegänge schneiden, die mittleren glätten das Gewinde (Tabelle 2.13, Seite 68).

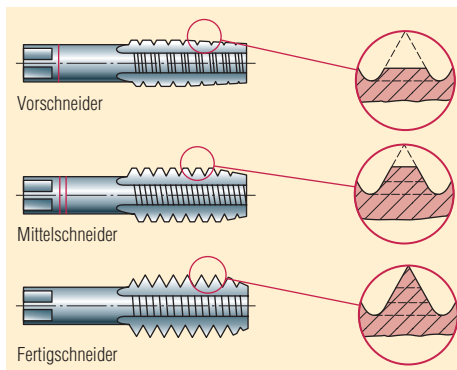


Bild 2.30 Gewindebohrersatz.

Prüfen von Gewinden. Dies kann durch Lehren und mechanisches Messen erfolgen. Innengewinde werden mit Gewinde-Grenzlehrdornen geprüft. Die Gutseite lehrt das Gesamtgewinde, die Aussussseite nur den Flankenwinkel. Außengewinde werden mit Gewinde-Gutlehringen oder Gewinde-Grenzrollenlehren geprüft. Grenzrollenlehrringe besitzen zwei hintereinander angeordnete Rollenpaare. Das vordere bildet die Gutseite, das hintere die Aussussseite ab. Die Werkstattprüfung von Gewinden bezieht sich auf die Prüfung der Form und der Steigung. Dazu benutzt man Gewinde-(Form)lehren.

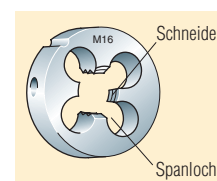
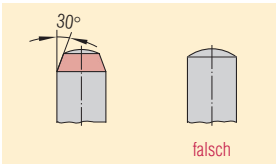
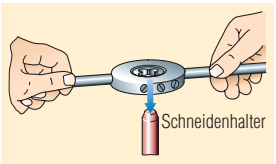
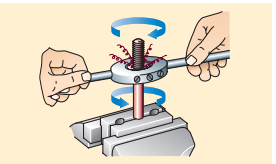
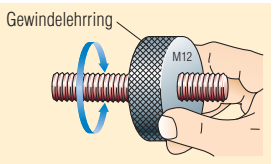


Bild 2.31 Schneideisen für Außengewinde.

Kernloch	Ansetzen	Korrigieren	Eindrehen	Prüfen
<p>Grundloch Durchgangsloch</p>				
Das Kernloch wird normgerecht gebohrt und beidseitig gesenkt.	Der Bohrer wird in ein Windeisen eingespannt und senkrecht eine Umdrehung eingedreht.	Mit einem Winkelmesser wird die Winkelrigkeit geprüft; bei Bedarf herausdrehen und neu ansetzen; Gewindebohrer nicht biegen.	Bohrung mit Schneidöl benetzen, Gewindebohrer spätestens nach einer Umdrehung um 1/4 Umdrehung zurückdrehen – Span brechen.	Mit einer Gewindelehre auf Leichtgängigkeit und Spiel prüfen.
Tabelle 2.12	Herstellung eines Innengewindes von Hand.			

Außenfase anbringen	Ansetzen	Fertigschneiden	Prüfen
			
Die Fase ermöglicht ein winkliges Ansetzen.	Exakt winklig ansetzen und mit einem Winkel überprüfen. Selbst kleine Fehler führen zu einem schrägen Gewinde.	Mit Schneidöl und regelmäßigem Spanbrechen das Gewinde auf die richtige Länge schneiden.	Mit einer Prüflhre (oder als Werkstatthilfsmittel mit einer neuen Mutter) auf Leichtgängigkeit prüfen.
Tabelle 2.13		Herstellung eines Außengewindes von Hand.	

Bohren. Die Spanabnahme erfolgt beim Bohren durch das Zusammenwirken von zwei Bewegungen:

- **Schnittbewegung.** Der in die Bohrspindel eingesetzte Bohrer dreht sich um seine Achse.
- **Vorschubbewegung.** Der Bohrer bewegt sich gleichzeitig in axialer Richtung. Die Bohrspäne werden durch Wendelnuten abgeführt. Vorschub ist der Weg, der während einer Bohrerumdrehung zurückgelegt wird.

Bohrwerkzeuge. Wendelbohrer bestehen aus einem Schaft und einem Schneideteil. Wendelbohrer mit Zylinderschaft spannt man im Bohrfutter. Bohrer mit Kegelschaft werden in den Innenkegel der Bohrmaschinenspindel eingesetzt.

Der Schneideteil besteht aus zwei Hauptschneiden, zwei Nebenschneiden und einer Querschneide. Die Hauptschneiden werden durch die Spanflächen der Wendelnuten und die hinterschlifenen Hauptfreiflächen gebildet. Die geradlinigen Hauptschneiden schließen den Spitzenwinkel σ ein. Das Zusammentreffen der Hauptfreiflächen im Bohrerkerne führt zur Querschneide. Sie wirkt beim Bohrvorgang schabend. Die Fasen geben dem Bohrer eine Seitenführung (Bild 2.32).

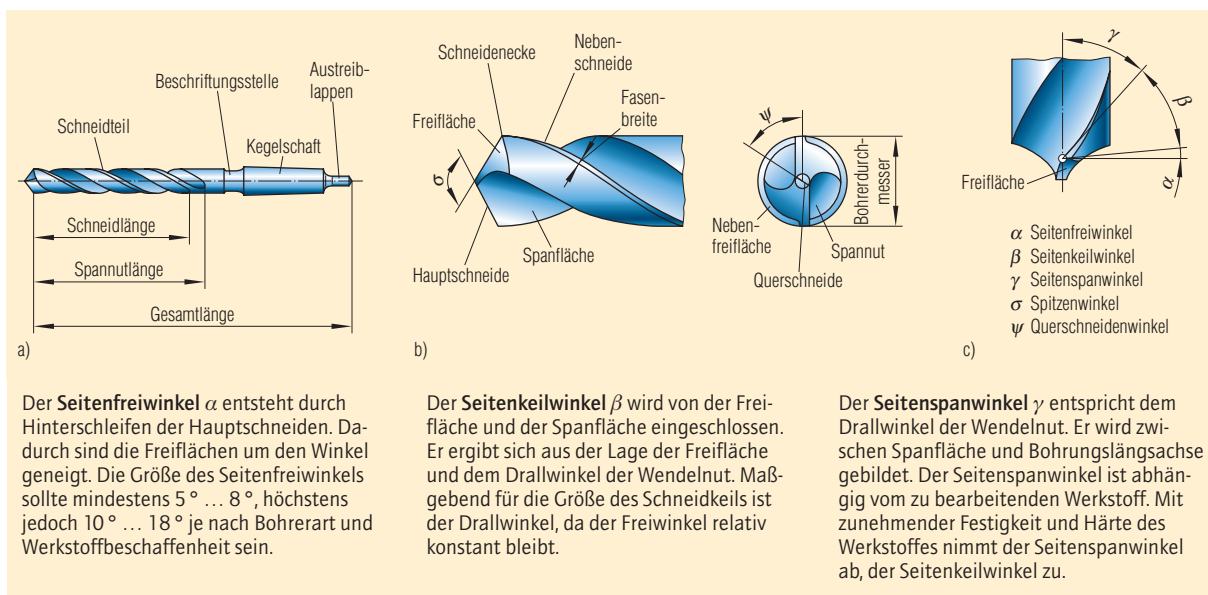


Bild 2.32 Winkel an der Bohrerschneide.

Aufbohren und Senken (Plan- und Profilsenken). Wenn Bohrungen den Qualitätsanforderungen nicht genügen, müssen sie nachbearbeitet werden. Eine Nachbearbeitung durch Aufbohren oder Senken ist dann erforderlich, wenn ein Grat zu entfernen ist oder unterschiedliche Schraubenkopfformen aufzunehmen sind.

Aufbohren ist die Erweiterung eines vorgefertigten Loches mit einem mehrschneidigen Werkzeug. Aufbohrer verbessern die Oberflächengüte und Formgenauigkeit.

Senken ist ein Formbohren mit besonderen Werkzeugen. Die Stirnschneiden der Senker erzeugen eine Vertiefung (Senkung) mit planer (flacher) oder kegeliger Fläche. Damit die Senkung genau zentrisch zum vorgefertigten Loch liegt, besitzen verschiedene Senker einen Führungszapfen. Kegelige Vertiefungen dienen dem Entgraten und dem Einsetzen von Senkschrauben und Senknieten.

Reiben. Unter Reiben versteht man ein Schlichten von zuvor mit Untermaß gebohrten Löchern. Es werden maßhaltige und formgenaue zylindrische oder kegelige Bohrungen mit glatter Oberfläche erzeugt. Die Spanabnahme ist gering. Die Schneidwirkung ist schabend (Spanwinkel $\gamma = 0^\circ$).

Reibahlen sind mehrschneidige Werkzeuge. Sie besitzen stets eine gerade Anzahl von Schneiden (Bild 2.33). Die Abstände der Schneiden voneinander sind ungleich groß. Das verhindert Unebenheiten (Rattermarken) in der Bohrung. Im Kfz-Bereich sind verstellbare Handreibahlen gebräuchlich.

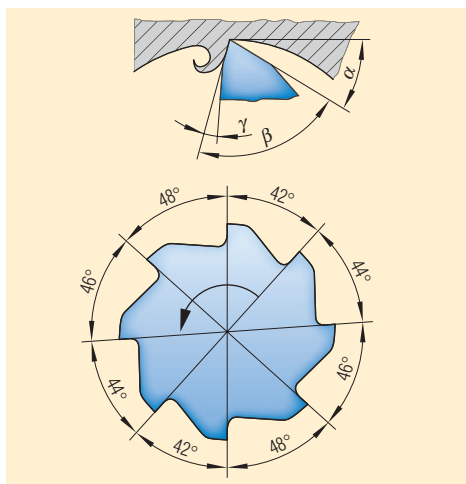


Bild 2.33 Zahnteilung und Winkel bei Reibahlen.

Drehen. Durch Drehen werden kreis- oder kreisringförmige (rotationssymmetrische) Querschnittsflächen erzeugt. Das im Spannfutter gespannte Werkstück führt die kreisförmige Schnittbewegung aus, die geradlinige Vorschubbewegung und somit die Spanabnahme wird vom Werkzeug ausgeführt. Das Schnittwerkzeug (Drehmeißel) ist ständig im Eingriff. Es lässt sich mithilfe von Schlitten (Quer- und Längsschlitten) längs oder quer zur Werkstückachse bewegen. Daraus ergeben sich die Zustell- und die Vorschubbewegung.

Drehmeißel sind einschneidige Werkzeuge, die eine Haupt- und eine Nebenschneide haben (Bild 2.34, Seite 70). Während die Hauptschneide den Span in Vorschubrichtung trennt, trennt die Nebenschneide ihn am Umfang des Werkstücks.

Wegen der sehr unterschiedlichen Dreharbeiten gibt es viele verschiedene Bauarten von Drehmeißeln (Bild 2.35, Seite 70).

Schneidstoffe für Drehmeißel. Schnellarbeitsstähle sind bis ca. 600° wärmebeständig. Sie können mit Titanitrid beschichtet werden. Diese Beschichtung vergrößert das Einsatzgebiet in der Zerspanung.

Hartmetalle (HM) sind bis ca. 1000°C wärmebeständig. Sie werden aufgelötet oder auf den Schaft festgeklemt bzw. geschraubt. Hartmetallschneidstoffe erlauben hohe Schnittgeschwindigkeiten.

Schneidkeramik (SK) ist bis ca. 1800°C wärmebeständig. Schneidkeramische Werkstoffe werden als Schneidplatten gefertigt und wie Hartmetalle in Klemmsysteme gespannt. Die Schneidstoffe sind sehr spröde. Stoßartige Belastungen sind wegen der Gefahr des Ausbrechens zu vermeiden!

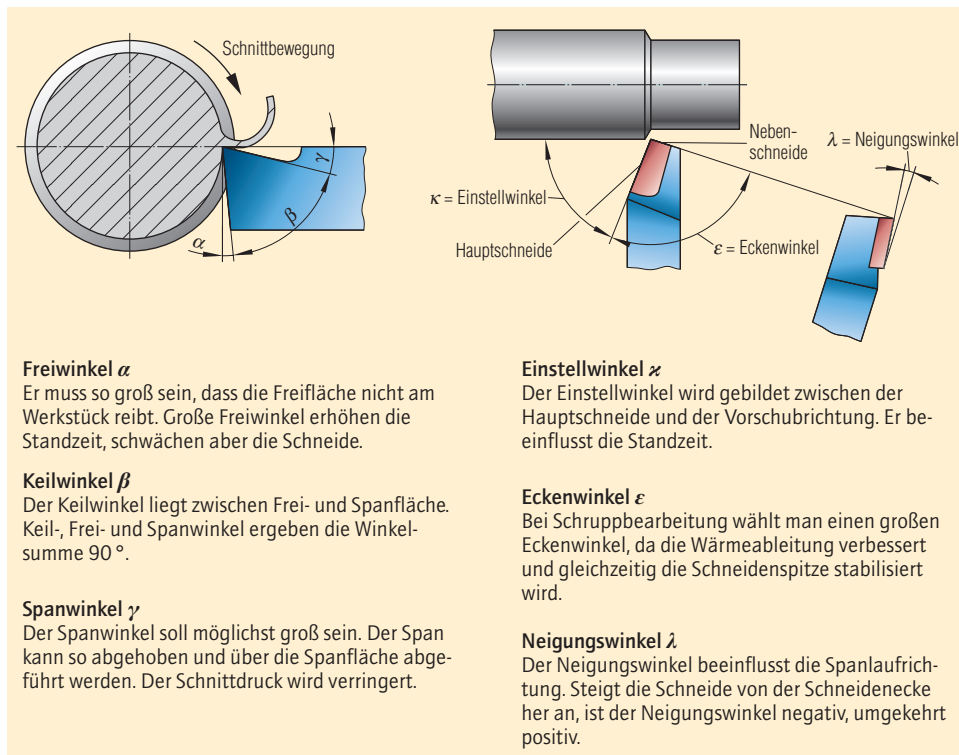


Bild 2.34 Winkel am Drehmeißel.

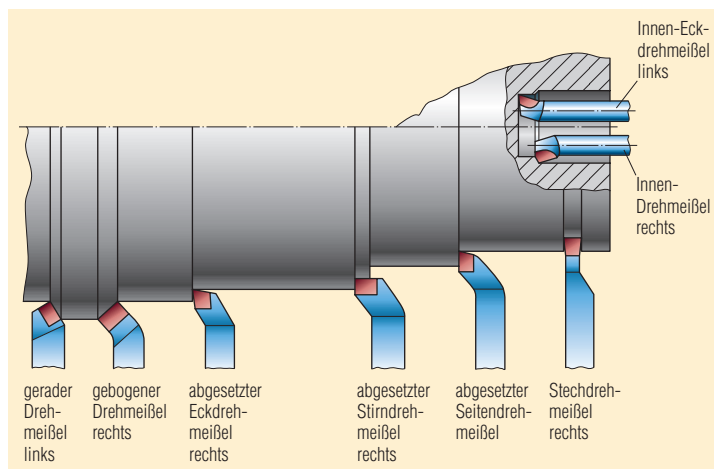


Bild 2.35 Drehmeißelarten.

Fräsen. Durch Fräsen werden ebene oder gekrümmte Innen- und Außenflächen erzeugt.

Die Fräswerkzeuge sind mehrschneidige Werkzeuge. Die Schneiden können an der Mantelfläche oder an der Stirnfläche angeordnet sein. Während des Zerspanens sind in der Regel mehrere Schneiden im Eingriff. Beim Fräsvorgang unterscheidet man vier Arbeitsbewegungen: Schnitt-, Vorschub-, Zustell- und Quervorschubbewegung.

Die Fräsvorgänge (Bild 2.36) werden unterschieden nach:

- der Form der erzeugten Fläche in Plan- und Rundlauffräsen,
- der Lage der Werkzeugschneiden in Umfangs- und Stirnfräsen und
- der Richtung der Bewegung in Gleich- und Gegenlauffräsen.

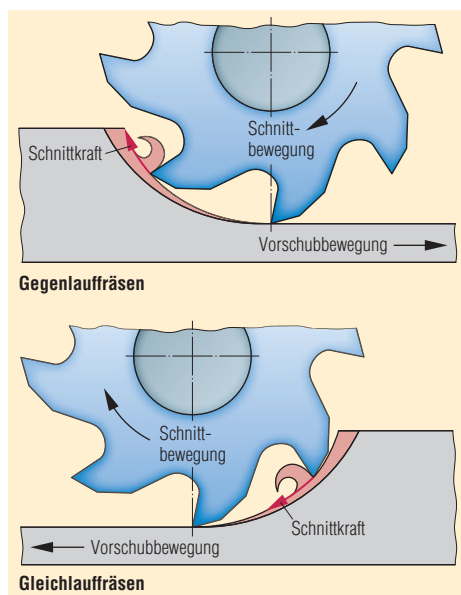


Bild 2.36 Fräsvorgänge.

Fräswerkzeuge. Der Schneidkeil des Fräasers ist mit dem des Drehmeißels und anderer spanender Werkzeuge vergleichbar. Der Schneidkeil wird auch hier vom Spanwinkel, dem Freiwinkel und dem Keilwinkel gebildet. Je nach der Form der Freifläche gibt es spitzgezahnte Fräser (Zähne gefräst) und hinterdrehte/hinterschliffene Fräser. Spitzgezahnte Fräser werden an der Freifläche, hinterdrehte/hinterschliffene Fräser an der Spanfläche nachgeschliffen. Das Profil bleibt jeweils erhalten.

Schleifen ist – im Gegensatz zu den bisher besprochenen Arbeitsverfahren – Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden

- zur Bearbeitung schwer zerspanbarer Werkstoffe,
- zum Trennen und Verputzen von Metallteilen,
- zum Schärfen von Werkzeugschneiden und
- als Feinbearbeitungsverfahren zur Erzeugung hoher Oberflächengüte, Form- und Maßhaltigkeit.

Die Schleifscheibe besteht aus einer Vielzahl harter, Späne abtragender Schleifkörner und einem Bindemittel (Bild 2.37). Die Ausrichtung der Schleifkörner ist zufällig. Das Einzelkorn kann daher entweder einen positiven oder einen negativen Spanwinkel haben. Daraus ergibt sich eine schneidende und/oder schabende Wirkung.

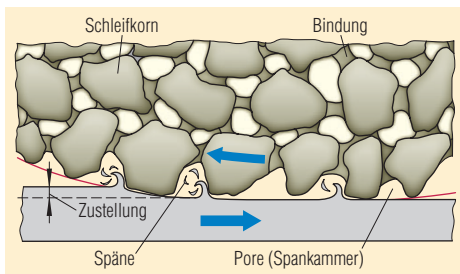


Bild 2.37 Aufbau/Gefüge einer Schleifscheibe.

Schleifmittel. Es gibt natürliche und künstliche Kornwerkstoffe. Zu den natürlichen zählen Sandstein, Quarz, Bimsstein (Lava), Naturkorund (Aluminiumoxid) und Diamant. Bis auf den Diamanten haben natürliche Schleifmittel wegen ihrer unzureichenden Festigkeit eine untergeordnete Bedeutung.

Für Schleifscheiben werden fast ausschließlich synthetische Kornwerkstoffe eingesetzt. Dazu gehören Elektrokorund (Normal-, Halbedel- und Edeltkorund), Siliciumkarbid, Bornitrid und synthetische Diamanten.

Körnung, Bindung, Härtegrad und Gefüge. Die Korngröße beeinflusst unmittelbar die Zerspansleistung und Oberflächengüte. Ein grobes Korn wird für weiche, ein feines Korn für harte Werkstoffe benutzt.

Die Bindung hält die einzelnen Schleifkörner auf der Schleifscheibe bzw. dem Schleifband zusammen. Es werden mineralische, keramische, metallische, harz- und kautschukartige Bindungen verwendet, die unterschiedliche Gebrauchseigenschaften besitzen.

Der Härtegrad bestimmt den Widerstand, den das Bindemittel dem Herausbrechen des Kornwerkstoffs aus dem Schleifkörperverbund entgegensetzt. Die Härte der Schleifscheibe steht in Abhängigkeit zu dem zu bearbeitenden Werkstückwerkstoff. Je härter dieser ist, desto weicher muß die Schleifscheibe sein und umgekehrt.

Das Gefüge ist gekennzeichnet durch die Verteilung von Schleifkörnern, Bindemittel und Porenraum. Je größer die Gefügekennzahl, desto offener bzw. poröser ist die Schleifscheibe.

Schleifverfahren. Diese werden je nach Lage der Schleifkörner zur Bearbeitungsfläche eingeteilt. Demnach entspricht das Umfangsschleifen dem Schleifen mit der Umfangsfläche des Werkzeugs, Stirnschleifen dem Schleifen mit der Stirnfläche des Werkzeugs (Bild 2.38).

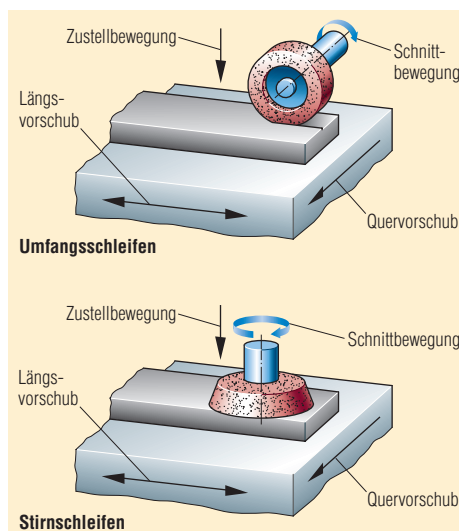


Bild 2.38 Schleifverfahren.

Schleifen im Gleichlauf → hohe Belastung der Schneiden.

Schleifen im Gegenlauf → stetige Belastung der Schneiden.



Weiterhin ist eine Unterscheidung nach der Form der bearbeiteten Werkstückflächen möglich. Planschleifen (Flachschleifen) erzeugt ebene Flächen, Rundschleifen (Außen- und Innenrundsleifen) drehsymmetrische Schnittflächen am Werkstück.

Beim Planumfangsschleifen wird der Werkstoff im Gleich- oder Gegenlauf abgetragen. Dieses Verfahren bietet Vorteile aufgrund der einfachen Spannmöglichkeiten der Werkstücke auf Magnetplatten.

Arbeitshinweise, Regeln und Unfallverhütung beim Schleifen

- Bedienungs- und Aufbauanleitung beachten!
- Vor Beginn der Schleifarbeit Drehzahl/ Umfangsgeschwindigkeit, Vorschub und Spannungstiefe einstellen!
- Schleifscheibe auf Unversehrtheit überprüfen (Klangprobe)!
- Schleifscheibe mit Abricht-Diamant abrichten!
- Probelauf bei neuen Schleifscheiben! Gefahrenbereich absichern!
- Höchstzulässige Schnittgeschwindigkeit nie überschreiten! Angabe auf der Scheibe beachten!
- Schutzhauben schließen! Schutzbrille tragen!
- Beim Schleifen am Schleifbock Vorlage max. 2 mm von der Schleifscheibe entfernen! Gefahr des Werkstückeinzugs zwischen Scheibe und Vorlage!

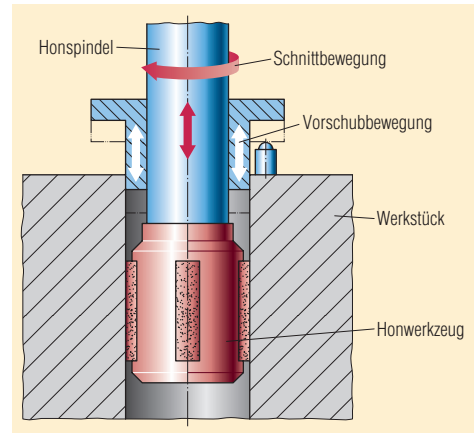


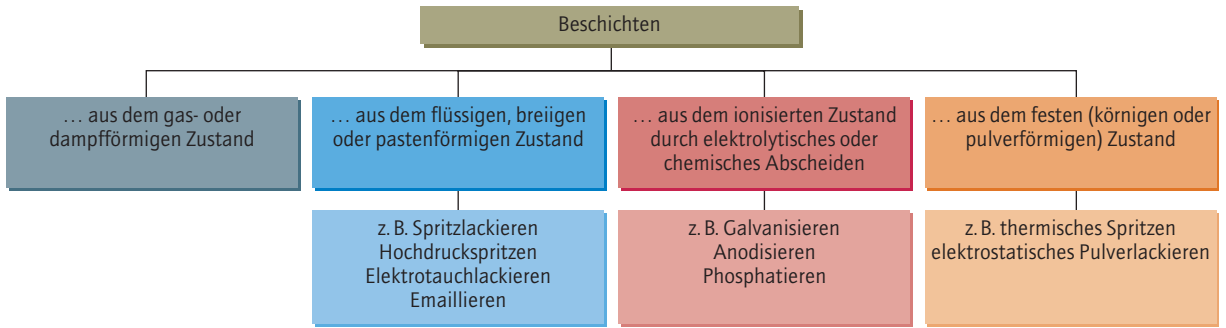
Bild 2.39 Bewegungsvorgänge beim Honen.

Honen dient der Verbesserung der Oberflächengüte sowie der Maß- und Formgenauigkeit von bereits vorgearbeiteten Bohrungen, Formteilen oder Wellen mithilfe geeigneter Werkzeuge (Bild 2.39). Mehrleisten-Honwerkzeuge führen eine gleichzeitige Dreh- und axiale Vorschubbewegung aus. Dadurch ergibt sich eine typische Oberflächenstruktur von sich kreuzenden Rillen, die z.B. bei Zylindern eine bessere Abdichtung und Schmierung der Kolbenringe ermöglicht. Der Kühlschmierstoff (Petroleum, spezielle Honöle) transportiert die anfallenden Späne, schmiert die Schneiden und führt die entstehende Reibungswärme ab.

Läppen. Im Gegensatz zum Schleifen und Honen wird das Läppen mit losen Schleifkörnern durchgeführt. Zur Erzielung großer Form- und Maßgenauigkeit und Oberflächengüte können fast alle Metalle, Oxidkeramiken, Rohglas, Natur- und Hartstoffe, Kunststoffe u. ä. maschinell oder von Hand bearbeitet werden.

Während des Bearbeitungsprozesses bilden die losen Körner mit dem flüssigen Bindemittel das Läppmittel. Werkzeug und Werkstück gleiten unter ständigem Richtungswechsel aufeinander. Das Läppmittel schiebt sich einerseits zwischen Werkzeug und Werkstück, andererseits werden Körner von der Läppplatte gehalten. Zwischen Platte und Werkstückoberfläche erfolgt ein Spannen (z. B. „Einschleifen“ von Ventilsitzen).

2.6.4 Beschichten



Die Verfahrensgruppe Beschichten wird im Fahrzeugbau als Korrosionsschutzmaßnahme, zur Verschönerung und zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit von Teilen eingesetzt. Dabei werden metallische oder nichtmetallische Schutzschichten aufgebracht (z. B. Verzinken durch Galvanisieren oder Lackieren).

Feuerverzinken. Die Oberflächen von Werkstücken und Halbzeugen aus Stahl müssen vor dem galvanischen Verzinken metallisch rein sein. Die gereinigten Teile werden in ein Verzinkungsbad (Temperatur ca. 450 °C) getaucht. Wechselseitige Diffusion bildet in den Randzonen eine Legierung aus Eisen und Zink. An der Oberfläche befindet sich ein Überzug aus Zink. Die Dicke der Zinkschicht kann durch die Tauchzeit, die Badtemperatur und die Stahlzusammensetzung beeinflusst werden.

Das Galvanisieren beruht darauf, dass sich das jeweilige Deckmetall mithilfe des elektrischen Stromes (**Elektrolyse**) auf dem Grundmetall ablagert. Das Werkstück bildet die Kathode, das Überzugsmetall die Anode (Ausnahme Chrom) (Bild 2.40). Galvanische Überzüge haben folgende Vorteile:

- Beschichten komplizierter Werkstückformen möglich,
- beliebige Schichtdicke in Abhängigkeit von der Stromdichte erreichbar,
- Herstellung von hochglänzenden Überzügen möglich.

Lackieren. Fahrzeugkarosserien, Stahlbaukonstruktionen u.ä. werden mit einem dauerhaften Korrosionsschutz durch **Lackieren** versehen.

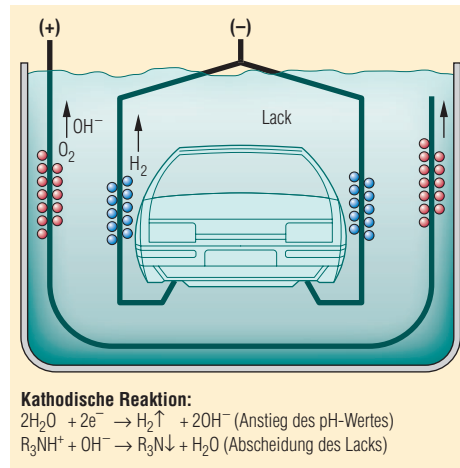


Bild 2.40 Galvanische Schutzschicht.

2.6.5 Stoffeigenschaften ändern

Mit den Verfahren dieser Fertigungsgruppe werden die Gebrauchseigenschaften von Werkstoffen den spezifischen Anforderungen (z. B. Härte, Verschleißfestigkeit) angepasst. Die Eigenschaften können beeinflusst werden durch

- **Umlagern**, d.h. Änderung der Gitterstruktur durch Glühen, Härten, Anlassen,
- **Aussondern**, d.h. Entzug von Kohlenstoff in den Randschichten durch Entkohlung,
- **Einbringen**, d.h. Erhöhung von Kohlenstoff und Stickstoff in den Randschichten durch Aufkohlen oder Nitrieren.

In der Praxis werden diese Verfahren als Wärmebehandlungsverfahren bezeichnet (Tabelle 2.14, S. 74).

Galvanisieren:
elektrolytisches Metallabscheiden

Elektrolyse
→ S. 101
Galvanisches Element
→ S. 102

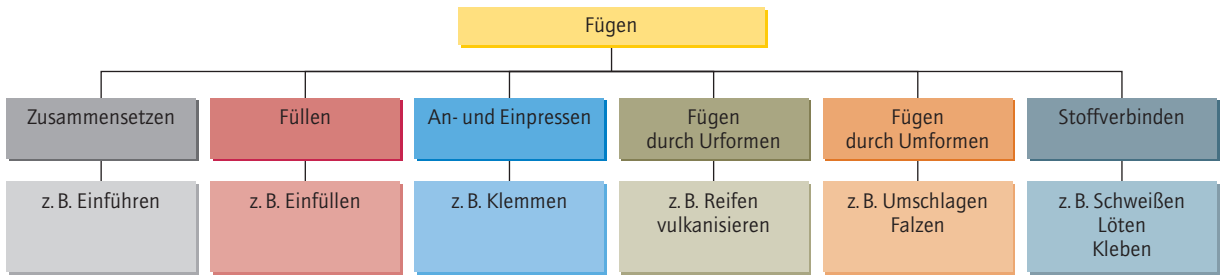
Fahrzeuglackierung
→ S. 491

Verfahren	Beschreibung	Auswirkungen / Einsatz / Beispiele	
Glühen	Langsames Erwärmen des Werkstückes auf Glühtemperatur, Halten auf Glühtemperatur zum Durchwärmen, anschließend langsam abkühlen.	Spannungsarmglühen (550 °C bis 650 °C)	Beseitigt innere Gefügespannungen nach dem Umformen oder Schweißen.
		Weichglühen (680 °C bis 750 °C)	Werkstück kann besser bearbeitet werden (spanlos oder spanend).
		Normalglühen (750 °C bis 950 °C)	Erzielt nach dem Umformen (Walzen, Schmieden) ein feinkörniges Gefüge.
Härten	Erwärmen auf Härtetemperatur (770 °C bis 850 °C), Halten zum Durchwärmen, anschließend rasch abkühlen (abschrecken).	Stahl wird hart und verschleißfest, aber auch spröde. (Werkzeugstähle)	
Randschichthärten	Die Randschicht wird schnell auf Härtetemperatur erwärmt und anschließend sofort abgekühlt.	Die Werkstücke erhalten eine harte und verschleißfeste Randschicht, der Kern bleibt zäh.	
Nitrieren	Beim Glühen wird die Randzone des Werkstücks mit Stickstoff angereichert.	Die Werkstücke erhalten eine dünne, sehr harte und verschleißfeste Randschicht.	
Vergüten	Nach dem Härten und Abschrecken wird das Werkstück nochmals auf ca. 500 °C bis 700 °C erwärmt (angelassen).	Die Werkstücke erhalten große Zugfestigkeit bei guter Dehnung und Zähigkeit. (Kurbelwellen)	
Tabelle 2.14	Wärmebehandlungsverfahren.		

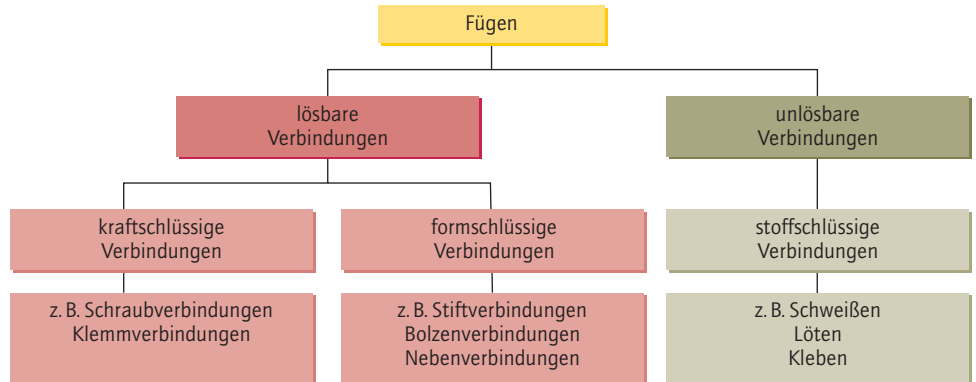
Arbeitsaufträge

1. Welches sind die Besonderheiten der Fertigungstechnik Urformen?
2. Nennen Sie Bauteile eines Kraftfahrzeugs, die durch Gießen hergestellt werden.
3. Welche Unterschiede bestehen zwischen dem Gießen in verlorenen Formen und dem Gießen in Dauerformen?
4. Ein Leichtmetallrad soll gegossen werden. Welches Gießverfahren bietet sich an? – Begründen Sie Ihre Antwort.
5. Warum lassen sich Wolfram und Aluminium gemeinsam sintern, jedoch nicht legieren? – Begründen Sie ihre Aussage.
6. Erkundigen Sie sich, welche Bauteile im Kraftfahrzeug aus gesinterten Werkstoffen hergestellt sind. Begründen Sie den Einsatz von Sinterwerkstoffen nach den notwendigen Gebrauchseigenschaften.
7. Welches sind die Besonderheiten des Fertigungsverfahrens Umformen?
8. Beschreiben Sie das Formänderungsverhalten unterschiedlicher Werkstoffe beim Umformen. Begründen Sie ihre Aussage mithilfe des Spannungs-Dehnungs-Diagramms (Bild 2.6, S. 46).
9. Erläutern Sie die Werkstoffbeanspruchung an einer Biegestelle.
10. Kurbelwellen werden häufig geschmiedet. Welche Gründe sprechen für ein solches Vorgehen?
11. Vergleichen Sie ein geschmiedetes Rad mit einem gegossenen Rad. Nennen Sie jeweils Vor- und Nachteile.
12. Beim Biegen einer Bremsleitung wurde der Mindestbiegeradius unterschritten. Welche Auswirkungen hat dies fertigungstechnisch und für die Bremsfunktion?
13. Erläutern Sie grundlegende Unterschiede zwischen den Fertigungsverfahren Zerteilen und Spanen.
14. Stellen Sie den Einfluss des Spanwinkels auf die Spanbildung dar.
15. Warum dürfen Reibahlen nur in Schnittrichtung zurückgedreht werden?
16. Welche Unterschiede hinsichtlich der einzustellenden Schnittgeschwindigkeit und des Vorschubs gelten für das Bohren und Senken?
17. Maschinengewindebohrer gibt es mit Links- und Rechtsdrall. Erklären Sie den jeweiligen Einsatzbereich.
18. Erläutern Sie, weshalb Schleifscheiben vor Inbetriebnahme ausgewuchtet werden müssen.
19. Warum werden Zylinderlaufbuchsen gehont, aber Ventilsitze geläppt?
20. Welche Beschichtungsverfahren sind für den Kfz-Mechatroniker wichtig? Wann und warum werden sie eingesetzt?
21. Erklären Sie den Ablauf des Galvanisierens am Beispiel Verchromen.
22. Was ist das Typische am Aussehen feuerverzinkter Oberflächen? Wie entsteht dieses Aussehen?
23. Warum ist es sinnvoller, ein verrostetes Karosserieteil vor dem Grundieren zu strahlen als zu schleifen?

2.7 Fügen



Die obige Darstellung entspricht den DIN-Gruppen. Praxisgerechter ist folgende Einteilung:



2.7.1 Schraubverbindungen

Haftreibung:

Widerstand, den ein Körper dem Verschieben aus der Ruhelage entgegensetzt.

Gleitreibung:

Widerstand beim Gleiten ebener Körper.

Rollreibung:

Widerstand beim Abrollen von Körpern.

Für zwei gleiche Stoffkombinationen gilt:

Haftreibung >
Gleitreibung >
Rollreibung

Schraubverbindungen lassen sich schnell und ohne umfangreiche Hilfsmittel herstellen. Die Verbindungen lassen sich nahezu unbegrenzt lösen und wieder anziehen. Nach dem Verwendungszweck unterteilt man in:

- Befestigungsschrauben, -gewinde (Herstellung von festen und/oder dichten, lösbaren Verbindungen, z. B. Zylinderkopfverschraubung),
- Bewegungsschrauben, -gewinde (Umwandlung von Drehbewegung in geradlinige Bewegung, z. B. Mess- und Einstellschrauben),
- Dichtungsschrauben (Verschluss von Ein- und Auslauföffnungen, z. B. Ölwanne).

Reibung. Wird ein in Ruhe befindlicher Körper auf einer Unterlage bewegt, wird der Zugkraft ein Widerstand entgegengesetzt. Diese bewegungshemmende Kraft ist die Reibungskraft, die von den Faktoren

- Normalkraft (der senkrecht zur Reibungsfläche wirkenden Kraft),
- Werkstoffpaarung,
- Reibungsart (z. B. Haft-, Gleit- oder Rollreibung) und
- Reibungszustand (z. B. Schmierung) abhängig ist.

Die Reibungskraft hängt nicht von der Größe der Reibungsfläche ab, sehr wohl aber von der Anzahl!

In der Reibungszahl sind die Faktoren Werkstoffpaarung, Reibungsart und Reibungszustand zusammengefasst.

$$\text{Reibungskraft} = \text{Normalkraft} \cdot \text{Reibungszahl} \cdot \text{Anzahl der Reibungsflächen}$$

$$F_R = F_N \cdot \mu \cdot z$$

Mechanik der Schraube. Die Wirkung der Schraube beruht auf der schiefen Ebene. Bei kleinem Steigungswinkel ist

- die Hangabtriebskraft klein,
- die Normal- und Reibungskraft groß.

→ Die Reibungskraft verhindert ein Abgleiten des Körpers. Die Selbsthemmung lässt ihn auf der schiefen Ebene haften (Bild 2.41).

Bei großem Steigungswinkel ist

- die Hangabtriebskraft groß,
- die Normal- und Reibungskraft klein.

→ Der Körper gleitet auf der schiefen Ebene abwärts, da keine Selbsthemmung vorhanden ist.

Gewindearten. Die oben genannten mechanischen Prinzipien wirken bei allen Gewinden. Die Unterscheidung der Gewindearten erfolgt nach:

- dem Verwendungszweck in Bewegungs- und Befestigungsgewinde,
- dem Gewindeprofil in Befestigungsschrauben (Spitzgewinde) und Bewegungsschrauben (Trapez-, Sägen- und Rundgewinde),
- dem Drehsinn beim Einschrauben (Uhrzeigersinn = Rechtsgewinde = Normalgewinde),
- der Gewindesteigung in Regel- und Feingewinde,
- der Anzahl der Gewingegänge (ein- und mehrgängige Gewinde).

Schrauben- und Mutternarten. Für die Vielzahl der verschiedenen Verwendungszwecke gibt es unterschiedliche Schraubenformen, die nach ihren Grundformen unterteilt werden in

- Kopfschrauben,
- Stiftschrauben,
- Gewindestifte und
- Stopfen.

Es gibt ebenso viele Mutternarten (Bild 2.42). Die Sechskantmutter ist die am häufigsten eingesetzte Mutter. Selbstsichernde Muttern besitzen einen aus Polyamid oder Metall bestehenden selbstsichernden Ring bzw. haben einen gewellten Gewindefehler (z. B. Steigung). Wird die Mutter angezogen, presst sich das Gewindeprofil der Schraube in den eingelegten Ring. Die zusätzlichen Reibungskräfte verhindern ein Lösen der Verbindung.

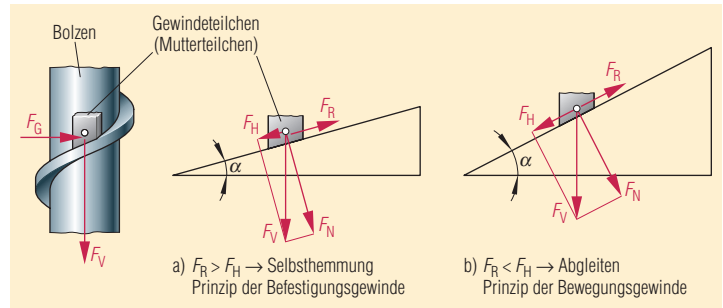


Bild 2.41 Schiefe Ebene, Reibungskraft, Selbsthemmung.

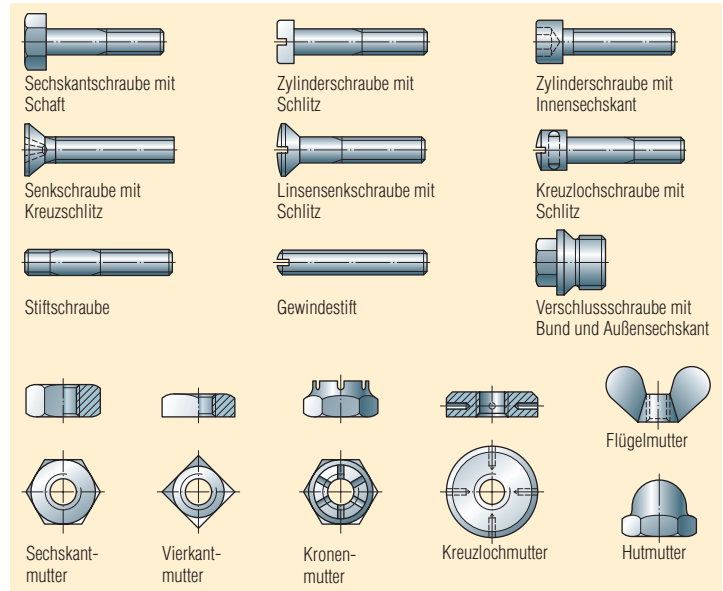


Bild 2.42 Schrauben- und Mutternarten.

Festigkeitsklassen. Schraubenwerkstoffe sind in Festigkeitsklassen eingeteilt (Tabelle 2.15, Seite 78). Die Festigkeitsklassen für Schrauben bestehen aus zwei Zahlen, die durch einen Punkt getrennt werden. Bei Muttern besteht die Kennzeichnung nur aus einer Zahl. Bei einer Paarung von Schraube / Mutter mit unterschiedlicher Festigkeit ist für die Festigkeit der Verbindung das schwächere Element maßgebend.

Festigkeitsklasse Schrauben	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
Zugfestigkeit R_m in N/mm ²	300	400	400	500	500	600	800	900	1000	1200
Streckgrenze R_e in N/mm ²	180	240	320	300	400	480	—	—	—	—
Dehngrenze $R_{p0,2}$ in N/mm ²	—	—	—	—	—	—	640	720	900	1080
Bruchdehnung A_5 in %	25	22	14	20	10	8	12	10	9	8
Festigkeitsklasse Muttern	4			5		6	8	9	10	12
Zugehörige Schrauben	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9

Die Festigkeitsklassen 4; 5; 6; 8; 9; 10; 12 gelten für Muttern mit Nennhöhen $\geq 0,8 \cdot d$.

Die zweistelligen Festigkeitsklassen 04 und 05 betreffen Muttern mit der Nennhöhe $\geq 0,5 \cdot d$ und $\geq 0,8 \cdot d$.

Tabelle 2.15

Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern.

Spezielle Schraubenverbindungen im Kraftfahrzeug. Neben den üblichen Schrauben und Muttern zählen dazu (Bild 2.43):

- Zylinderschrauben, die anstelle des Innensechskants mit einem Innenvielzahl- oder Innenkeilprofil versehen sind.
- Torx-Schrauben als Innen- und Außen-Torx und entsprechende Muttern mit Außen-Torx. Die Größen werden mit einem vorangestellten T gekennzeichnet. Zur Sicherung gegen unbefugtes Lösen erhalten Torx-Innenschraubenköpfe (Torx-TR) einen Stift.
- Torx-Plus-Schrauben (Innen- und Außen-Torx).

Gemeinsam ist diesen Schrauben und Muttern eine verbesserte Anlagefläche beim Festschrauben. Innen-Torx-Schrauben haben dazu eine sechszahnige sternförmige Ausparung und gerundete Übergänge im Profil. Schraubenformen dieser Art ermöglichen größere Anzugsdrehmomente ohne Überbeanspruchung des Schraubenkopfes und/oder des Schraubwerkzeugs.

Schraubensicherungen. Äußere Krafteinwirkungen (Erschütterungen, Schwingungen etc.) können zur Verringerung der Vorspannkraft in der Verbindung führen. Dadurch kann sie sich lösen.

Statisch belastete Verbindungen erfordern keine zusätzliche Sicherung, da die Selbsthemmung des Gewindes genügend groß ist. Dynamisch belastete Verbindungen müssen gegen selbsttätiges Lösen gesichert werden (Bild 2.44). Man unterscheidet:

- kraftschlüssige Schraubensicherungen,
- formschlüssige Schraubensicherungen,
- stoffschlüssige Schraubensicherungen.

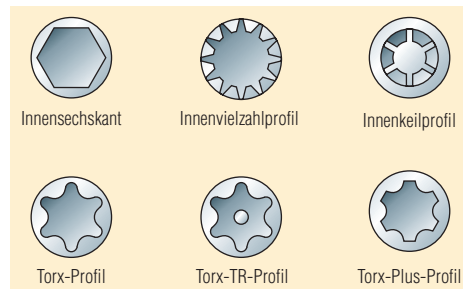


Bild 2.43 Spezielle Schraubenköpfe.

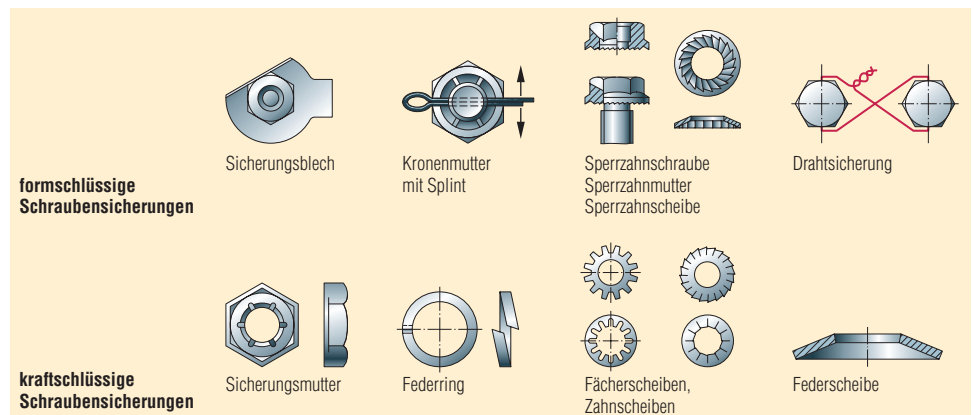


Bild 2.44 Schraubensicherungen.

Bei ständiger Wechselbeanspruchung (z. B. Zylinderkopf, Pleuelfuß, Bremssattel, Fahrschmel) werden Dehnschrauben eingesetzt. Die mit einem Drehmomentschlüssel (und Drehwinkelanzug) angezogene Dehnschraube ist mit einer bestimmten Zugkraft vorgespannt, die über der Streckgrenze (elastisch-plastischer Bereich) liegt. Dehnschrauben dürfen deshalb nur einmal verwendet werden (Bild 2.45).

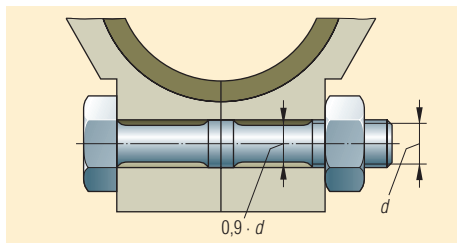


Bild 2.45 Dehnschraube.

2.7.2 Stift- und Bolzenverbindungen

Stift- und Bolzenverbindungen sind formschlüssige und form-/kraftschlüssige lösbare Verbindungen. Diese Verbindungselemente sind vielseitig einsetzbar (Bild 2.46).

Stifte. Durch senkrecht zur Stiftachse wirkende Scherkräfte werden Stifte vorrangig auf Abscherung beansprucht. Da der Stift diese Kräfte aufnimmt, werden andere Verbindungselemente entlastet.

Zylinderstifte dienen hauptsächlich der Lagesicherung von Bauteilen.

Spannhülsen und -stifte eignen sich als Befestigungs- und Sicherungselemente.

Kerbstifte bilden eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Stift und Bauteil durch die Verformung der Kerbstift-Randwülste beim Eintreiben.

Bolzen zählen zu den Stiften und stellen meist ein Gelenk her (z. B. Türscharnier). Müssen Bol-

zen besonders fest sitzen, werden sie entweder eingepresst oder das Ende des Bolzens wird kegelig ausgeführt. Das kegelige Ende wird mit einem Gewinde angezogen. Sicherungselemente verhindern ein seitliches Verschieben. Die Beweglichkeit der Verbindung bleibt erhalten. Bolzen werden auf Abscherung, Biegung und Flächenpressung beansprucht.

2.7.3 Nabenverbindungen

Nabenverbindungen sind meist formschlüssige lösbare Verbindungen. Sie werden überall dort eingesetzt, wo Kräfte und Bewegungen von Bauteil zu Bauteil ohne Rutschen übertragen werden sollen (Bild 2.47).

Wellen übertragen Drehmomente und Axialkräfte auf die Nabe. Durch Formelemente (z. B. Pass- oder Scheibenfedern, Keil- und Antriebswellen), entsteht die formschlüssige Verbindung. Axialkräfte werden durch Sicherungsringe u. ä. aufgenommen.

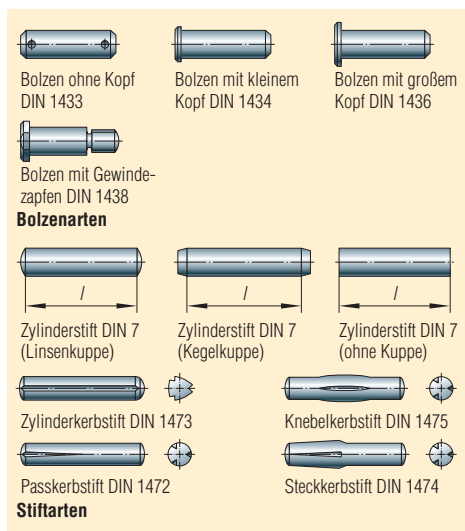


Bild 2.46 Stift- und Bolzenarten und ihre Verwendung.

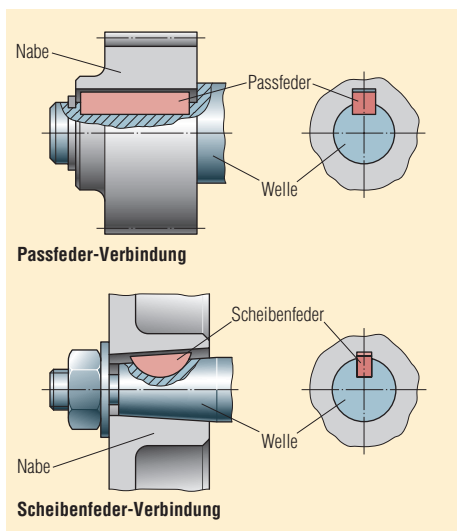


Bild 2.47 Nabenverbindungen.

2.7.4 Gasschmelzschweißen

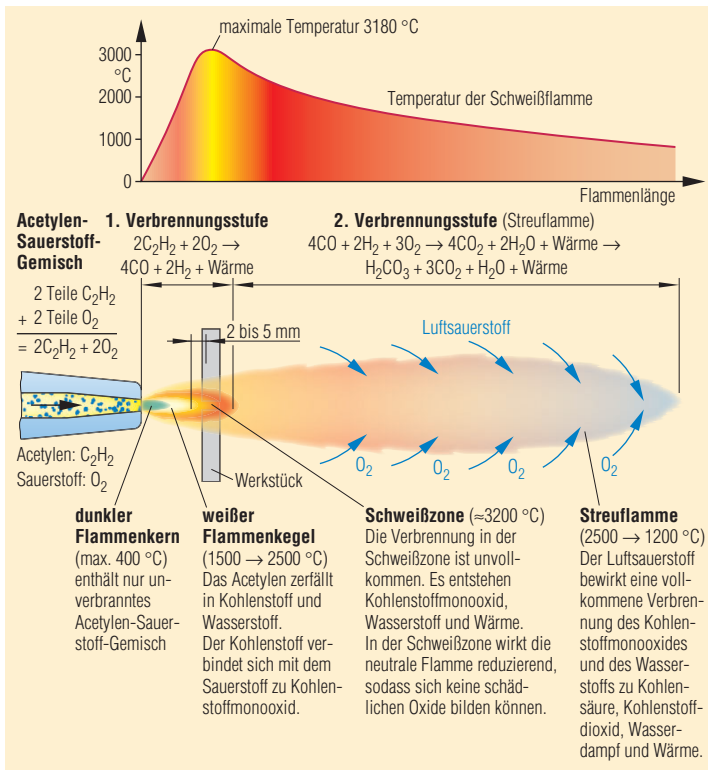
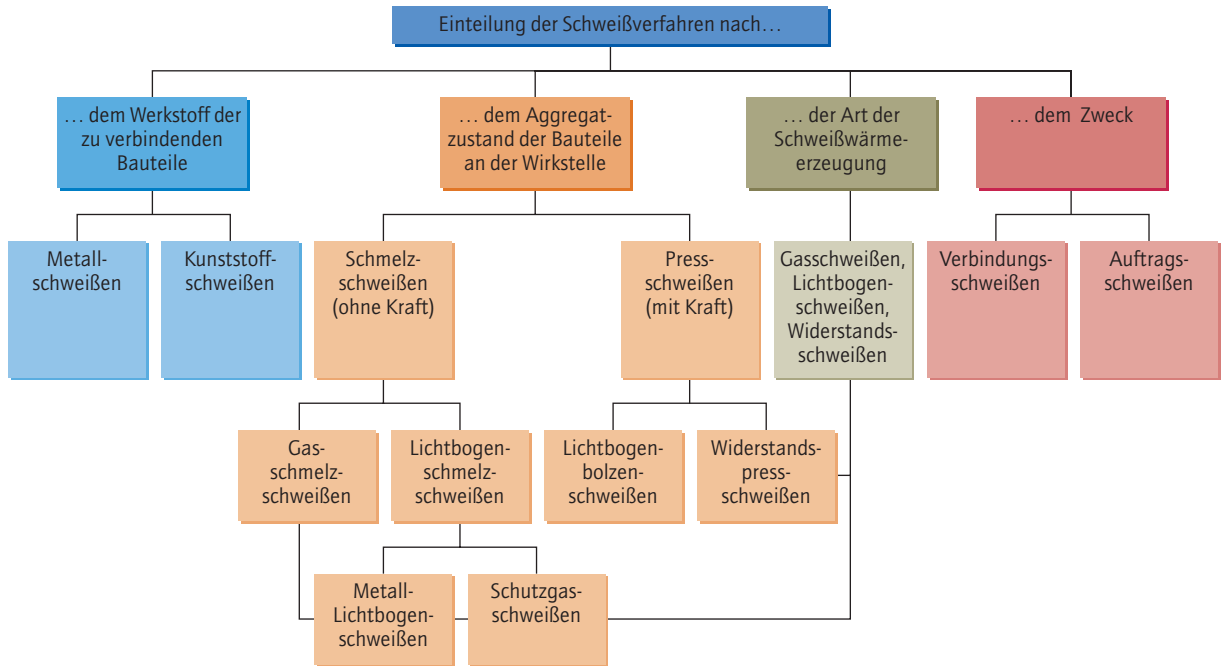


Bild 2.49 Acetylen-Sauerstoff-Flamme.

Beim Schweißen werden die zu verbindenden Bauteile in der Schweißzone geschmolzen. Schweißverbindungen sind stoffschlüssige Verbindungen, bei denen nur gleichartige Werkstoffe miteinander verbunden werden können. Im Bereich der Schweißzone kommt es zu Gefügeumwandlungen (Bild 2.48).

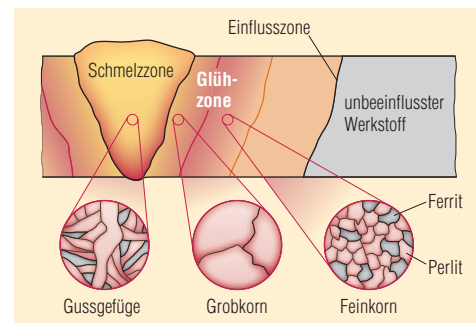


Bild 2.48 Gefügeumwandlung an der Schweißnaht.

Das Schweißbad wird beim Gasschmelzschweißen durch eine Brenngas-Sauerstoff-Flamme erzeugt (Bild 2.49). Brenngase sind Acetylen, Propangas und Wasserstoff.

Acetylen ist eine instabile chemische Verbindung (C_2H_2). Acetylenflaschen sind deshalb mit einer porösen, schwammartigen Masse gefüllt, die mit Aceton getränkt wird. Aceton kann Acetylen in großen Mengen lösen; die Aufnahmefähigkeit nimmt mit steigendem Druck zu. 1 Liter Aceton löst 25 Liter Acetylen bei 1 bar Druck. Demnach enthält eine Flasche: 13 Liter Aceton · 25 Liter Acetylen · 19 bar = 6000 Liter Acetylen.

Die Armaturen und Schläuche von Acetylenflaschen werden über ein Linksgewinde (für brennbare Gase) angeschlossen, der Druckminderer auch über einen Spannbügel.



Bild 2.50 Gasflaschen und ihre Kennzeichnung.

Gasflaschen unterliegen einer Farb- und Namenskennzeichnungspflicht (Bild 2.50).

Sauerstoff. Sauerstoff kann flüssig oder gasförmig geliefert werden. Üblich ist die 40- oder 50-Liter-Normalflasche. Der Fülldruck beträgt ca. 150 bar bzw. 200 bar.

Die Armaturen und Schläuche einer Sauerstoffflasche werden über ein Rechtsgewinde angeschlossen, der Druckminderer über ein $R^{3/4}$ -Rechtsgewinde.

Nach dem Boyle-Mariottschen Gesetz gilt:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

Daraus folgt für eine 40-l-Flasche Sauerstoff:

$$V_2 = \frac{150 \text{ bar} \cdot 40 \text{ l}}{1 \text{ bar}} = 6000 \text{ l}$$

2.7.5 Schutzgas-Schweißen

Metall-Inertgas-Schweißen (MIG-Schweißen). Bei diesem Verfahren wird ein Lichtbogen zwischen einer abschmelzenden Dauerlektrode und dem Werkstück gezündet. Das Schutzgas wird von außen zugeführt, um das Schmelzbad, den übergelenden Zusatzwerkstoff bzw. die Elektrodenspitze und die hoch erhitzten Bereiche der Schweißnaht atmosphärisch abzuschirmen.

Angewendet wird das MIG-Schweißen zum Verbinden von Aluminium (z. B. Fahrzeugaufbauten), Magnesium und hochlegierten Stählen.

Neben dem MIG-Schweißen wird auch das Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG-Schweißen) angewendet. Die eingebrachten Schutzgase sind hier aktive, d. h. oxidierende, reaktionsfähige Gase. Der aktive Bestandteil ist Sauerstoff. Angewendet wird das Verfahren zum Schweißen von Dünn- und Feinblechen in Karosseriebetrieben.

inert: träge, untätig

inerte Gase: Edelgase, die keine chemischen Verbindungen eingehen.



Arbeitssicherheit und Unfallverhütung

- Die Flaschenventile nur max. eine Umdrehung öffnen, um im Gefahrenfall schnell schließen zu können.
- Zum Öffnen/Schließen nie Werkzeuge benutzen. Es besteht Funkengefahr!
- Nach dem Öffnen der Gasventile die Schweißflamme umgehend zünden!
- Schadhafte Gasschläuche umgehend wechseln!
- Gasflaschen müssen gegen Umfallen gesichert werden!
- Gasflaschen nicht der prallen Sonne oder anderen Wärmequellen aussetzen. Es entsteht ein unzulässiger Druckanstieg in der Flasche!
- Vereistes Sauerstoffventil nur mit Warmwasser/Warmluft abtauen.
- Kein Fett/Öl an das Flaschenventil der Sauerstoffflasche bringen. Feuergefahr!
- Acetylen nicht mit Kupfer in Verbindung bringen. Bildung von Acetylenkupfer! Dichtungen, Armaturen und Leitungen dürfen nicht aus Kupfer oder Kupferlegierungen bestehen.
- Schweißerschutzbrille tragen! Die schützt die Augen vor Strahlung und Schweißspritzern.
- Schutzschürze (Leder) und Sicherheitsschuhe tragen!
- Gute Be- und Entlüftung sicherstellen!
- Reiner Sauerstoff darf nicht als Raumentlüftung eingesetzt werden. Explosionsgefahr!
- Schweißdrahtenden umbiegen, um Verletzung der Augen zu vermeiden!

Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG-Schweißen). Der Lichtbogen wird zwischen der nicht abschmelzenden Wolframelektrode und dem Werkstück unter Edelgasschutz erzeugt (Bild 2.51). Das inerte Schutzgas (z. B. Argon, Helium oder deren Gemische) hüllt die Elektrode, den Lichtbogen und das Schmelzbad ein und schützt es vor äußeren Einflüssen. Es kann mit und ohne Zusatzwerkstoff gearbeitet werden.

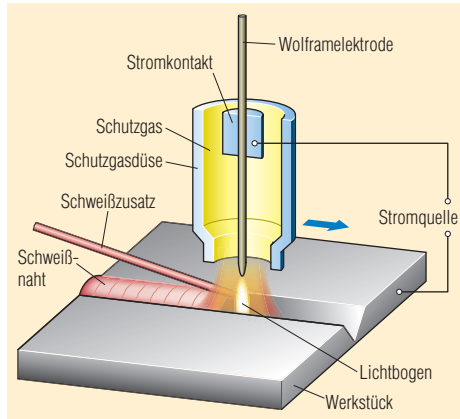


Bild 2.51 Prinzip des WIG-Schweißens.

Das WIG-Schweißen eignet sich für Schweißverbindungen hoher Güte, zum Schweißen von dünnen Blechen und Rohren, Aluminium und Al-Legierungen, NE-Metallen sowie hochlegierten Werkstoffen.

WP:
Wolfram Plasma

Plasma: ein so hoch erhitztes Gas, dass es elektrisch leitfähig wird.

Plasmaschweißen (WP-Schweißen). Ein Plasmastrahl dient dabei als Wärmequelle (Bild 2.52). Das Plasmagas Argon schützt die hoch erhitzte Elektrode vor Oxidation. Der Schutzgasmantel umgibt den brennenden Lichtbogen und schützt die flüssige Schweißzone vor Oxidation.

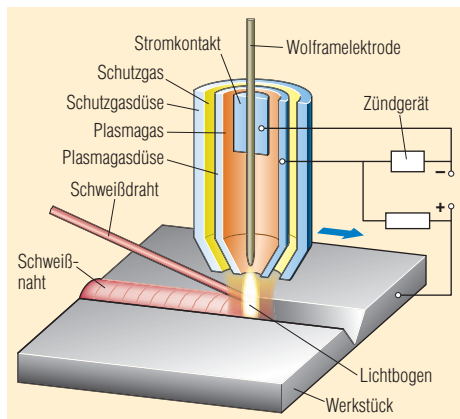


Bild 2.52 Prinzip des Plasmaschweißens.

Das WP-Schweißen wird eingesetzt in der Luft- und Raumfahrt, in der Elektrotechnik, dem Reaktorbau und bei Werkstoffen geringer Wärmeleitfähigkeit (z. B. Cr-Ni-Legierungen). Vorteilhaft ist die erzielbare Schweißgeschwindigkeit. Nachteilig sind die hohen Investitions- und Betriebskosten.

2.7.6 Pressschweißen

Die im Fahrzeugbau wichtigste Form des Pressschweißens ist das Widerstandspressschweißen. Es entsteht eine stoffschlüssige Verbindung ohne Zusatzwerkstoffe dadurch, dass zwei Bleche durch Wärme und Druck miteinander verbunden werden (Bild 2.53).

Beim Punktschweißen werden die Werkstücke an einzelnen Schweißpunkten durch zwei Punktelektroden zusammengepresst und verbunden. Die Schweißwärme entsteht durch den Übergangswiderstand zwischen den Blechen und dem inneren Widerstand der Bleche. Das Verschweißen erfolgt durch einen kurzzeitig fließenden hohen Strom. Die Qualität der Verschweißung ist abhängig von der Anpresskraft, dem Elektrodendurchmesser, der Stromstärke und der Schweißzeit.

Das Punktschweißen wird häufig zum Schweißen von Karosserien eingesetzt. Die Karosserie eines Mittelklassewagens hat über 2500 Schweißpunkte.

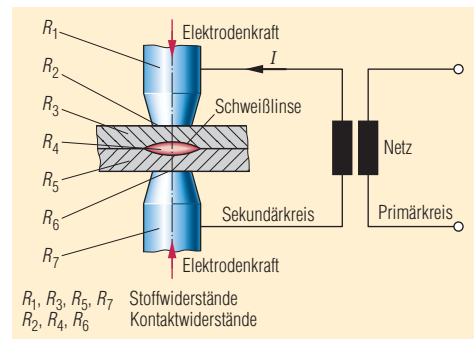


Bild 2.53 Prinzip des Pressschweißens.

2.7.7 Löten

Beim Löten werden mithilfe eines geschmolzenen Zusatzwerkstoffes unlösliche stoffschlüssige Verbindungen hergestellt. Im Gegensatz zum Schweißen schmilzt das Werkstück an der Verbindungsstelle nicht.

Der Lötvorgang verläuft in drei Stufen (Bild 2.54):

- Benetzen. Flüssiges Lot benetzt die Fügeteiloberflächen.
- Fließen. Das Lot fließt aufgrund der Kapillarkapillare in den Lötspalt (0,05 bis 0,2 mm).
- Binden. Atome des flüssigen Lotes diffundieren in die Randzonen der Fügeteile und umgekehrt. Es kommt zu einer Legierungsbildung.

Je nach Arbeitstemperatur unterteilt man Löten in

- Weichlöten (< 450 °C) und
- Hartlöten (> 450 °C).

Weichlöten. Wegen der geringen Arbeitstemperatur (120 °C bis 450 °C) kommt es lediglich zu einer geringen Legierungsbildung zwischen Grundwerkstoff und Lot. Die Festigkeit der Lötverbindung ist nicht sehr hoch. Durch den niedrigen Schmelzpunkt der Weichlote sind die Verbindungen temperaturempfindlich.

Angewendet wird das Weichlöten im Kfz-Bereich für Elektroverbindungen bzw. in der Karosseriereparatur als Lotauftrag (Aufzinnen).

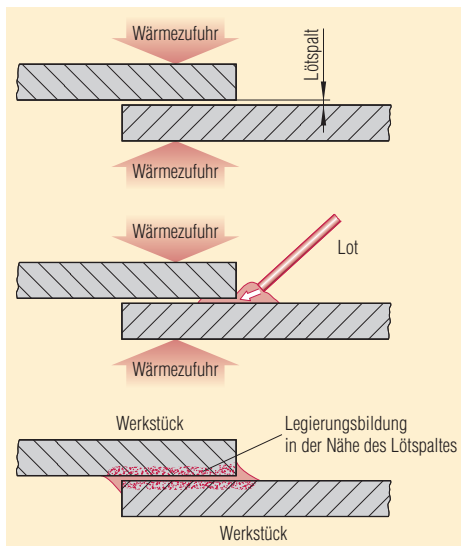


Bild 2.54 Lötvorgang.

Hartlöten. Durch die höhere Arbeitstemperatur (450 °C bis 1100 °C) zeigen Grundwerkstoff und Lot eine verbesserte Legierungsbildung. Dadurch steigen auch die Festigkeitswerte der Verbindung.

Flussmittel. Oxidschichten müssen vor dem Lötvorgang mechanisch (z. B. Schmirgeln) oder durch chemische Reaktionen (z. B. durch Säuren, Laugen oder Salze, sogenannte Flussmittel) entfernt werden. An die Flussmittel werden folgende Anforderungen gestellt:

- gute Benetzbarkeit,
- keine Reaktion mit dem Lot oder Werkstück,
- Schmelzpunkt muss niedriger als der Lot-Schmelzpunkt sein.

Flussmittelreste müssen sorgfältig entfernt werden, da sonst unter Feuchtigkeitseinwirkung an den Verbindungsstellen Flussmittelkorrosion auftreten kann. Die Wahl des Flussmittels richtet sich nach dem Lötverfahren, den Werkstoffen, der Zusammensetzung der Lote und der Arbeitstemperatur.

Lote. Die Schmelztemperatur der Lote muss unter der des niedrigstschmelzenden Grundwerkstoffs liegen. Da die Lote selbst Legierungen sind, richtet sich die Arbeitstemperatur nach dem niedrigstschmelzenden Bestandteil des Lotes. Weichlote sind Zinn-Blei- oder Blei-Zinn-Legierungen (Lötzinn). Mit steigendem Zinngehalt steigt die Arbeitstemperatur des Lotes.

Hartlote bestehen aus Reinkupfer, Kupfer-Zink-Legierungen, Silberlegierungen und silberhaltigen Legierungen zum Löten von Schwermetallen. Al-Si-Legierungen werden zum Hartlöten von Aluminiumwerkstoffen eingesetzt.

Kapillare: sehr feines Röhrchen

Kapillarkapillare: Saugwirkung von Flüssigkeiten in engen Spalten und Poren.

Diffundieren: eindringen, durchdringen



Überhitzung der Lote vermeiden! Giftige Dämpfe von Cadmium und Blei können sonst entstehen!

2.7.8 Kleben

Durch Kleben werden Metalle untereinander oder mit anderen Werkstoffen unter Verwendung eines Klebstoffes verbunden. Alle Klebstoffverbindungen sind unlösbar und stoffschlüssig. Die Festigkeit der geklebten Verbindung hängt ab von der Eigenfestigkeit (Kohäsion) des Klebstoffs und den Bindekräften (Adhäsion) zwischen Klebstoffschicht und Fügeteiloberfläche (Bild 2.55). Als Klebstoffe für das Kleben von Metall verwendet man

- physikalisch abbindende Klebstoffe, z. B. Kontakt- oder Schmelzklebstoffe und
- Reaktionsklebstoffe (Polymerisations-, Polyadditions- und Polykondensationsklebstoffe).

Kunststoffe → S. 43

Bei physikalisch abbindenden Klebstoffen entsteht die Klebschicht durch Ablüften/Verdunsten von Lösungsmitteln oder dem Erstarren von Schmelzen. Kaltkleber härten bei Zimmertemperatur, Warmkleber bei ca. 100 °C bis 250 °C aus.

Reaktionsklebstoffe binden durch chemische Reaktionen ab. Mehrkomponenten-Klebstoffe werden vor dem Auftragen gemischt. Die Zeit zwischen dem Mischen und dem Gelieren des Klebstoffs bezeichnet man als Topfzeit. Sie gilt als Verarbeitungszeit der Klebstoffmischung. Die Abbindereaktion kann durch einen Härter oder Katalysator, die Einwirkung höherer Temperaturen sowie durch Luftfeuchte oder Sauerstoffentzug ausgelöst werden.

Die gefügten Verbindungen erreichen eine hohe Festigkeit, die bei einer Vergrößerung der Klebfläche noch größer wird. Die Beanspruchung der Klebverbindung sollte nur auf Schub (Abscherrung) erfolgen. Bei Zugbeanspruchung sind Maßnahmen gegen das Abschälen vorzunehmen (konstruktive Veränderungen).

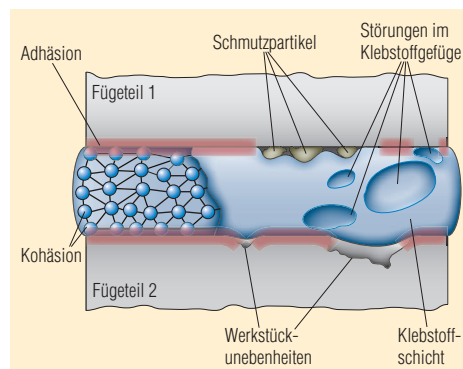


Bild 2.55 Kleben.

Gegenüber herkömmlichen Fügeverfahren zeichnet sich das Kleben durch Gewichtersparnis, elektrisch isolierende Eigenschaften und geringere Fertigungskosten aus. Nachteilig sind die umfangreiche Vorbereitung der Fügeteile im Bereich der Klebstellen, die begrenzte Temperaturbeständigkeit und die langen Aushärtezeiten.

Herstellen einer Klebeverbindung. Bei der Planung einer Klebeverbindung müssen die typischen Nachteile des Klebens vermieden werden: Eine reine Zugbelastung der Klebnaht ist genauso zu vermeiden wie ein Abschälen (Bild 2.56). Nur eine Scherbeanspruchung mit ausreichend großer Klebfläche erzeugt die notwendige Festigkeit. Die Fläche der Klebnaht lässt sich durch konstruktive Maßnahmen vergrößern (Tabelle 2.16). Beim Durchführen der Klebeverbindung muss eine bestimmte Reihenfolge eingehalten werden:

- Oberflächen mechanisch reinigen (Schleifmittel),
- Oberflächen chemisch reinigen (Lösungsmittel),
- Kleber auftragen (nach Herstellervorschrift),
- Kleber antrocknen lassen,
- Bauteile fügen,
- Lage der Bauteile kontrollieren und bei Bedarf korrigieren,
- Bauteil fixieren und Abbindezeit abwarten.

Das neu gefügte Bauteil wird von Kleberresten gereinigt und evtl. gegen Korrosion beschichtet.

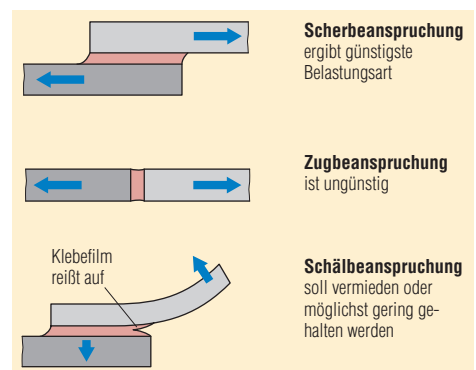
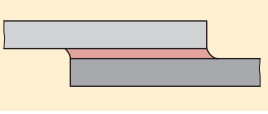
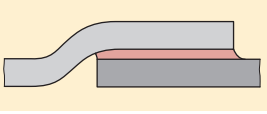
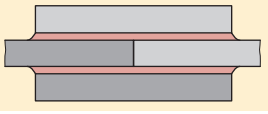
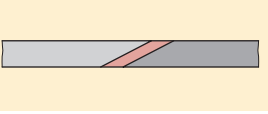


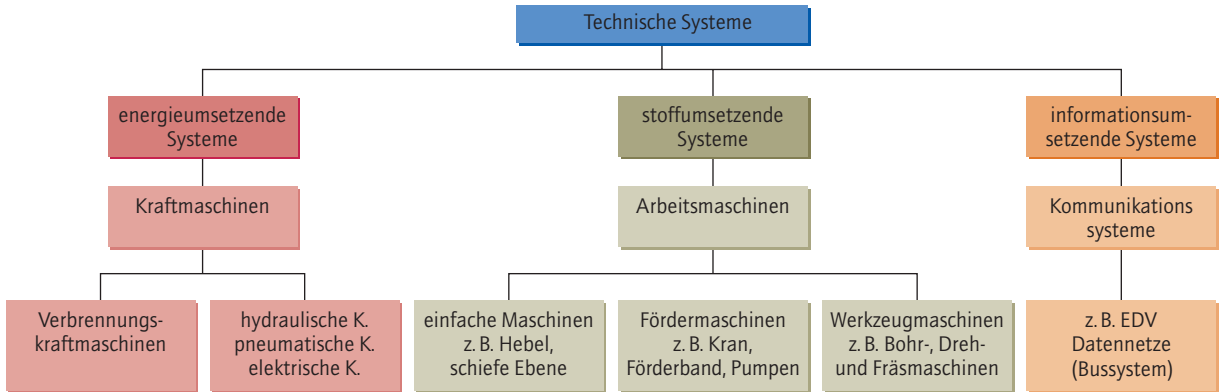
Bild 2.56 Beanspruchungsarten beim Kleben.

einfache Überlappung	gefaltzte Überlappung	Lasche (einfach oder zweifach)	Schäftung
			
einfach herzustellen beliebig große Klebefläche Bauteile werden versetzt angeordnet	einfach herzustellen beliebig große Klebefläche Bauteile bleiben in einer Flucht	zusätzliches Bauteil notwendig beliebig große Klebefläche größere Bauteildicke gefügte Bauteile bleiben in Flucht	Flächen müssen exakt im Winkel angeschrägt werden, schwierig herzustellen Klebefläche nur bei großer Werkstückdicke ausreichend groß Bauteil behält Flucht und Dicke
Tabelle 2.16	Anordnung der Bauteile zum Kleben.		

Arbeitsaufträge

1. Welche Fügeverfahren werden in Ihrem Ausbildungsbetrieb bei welchen Anlässen / Arbeiten eingesetzt?
2. Erklären Sie das Prinzip lösbarer und unlösbarer Verbindungen.
3. Erläutern Sie Form-, Kraft- und Stoffschluss.
4. Beschreiben Sie Einsatzmöglichkeiten von Bewegungs- und Befestigungsgewinden.
5. Diskutieren Sie, warum im Kfz-Bereich Schrauben bzw. Muttern unterschiedlicher Festigkeitsklassen eingesetzt werden. Betrachten Sie insbesondere Schraubverbindungen im Bereich Fahrwerksaufhängung und Zylinderkopfschrauben.
6. Warum müssen immer mehr Schraubverbindungen im Kraftfahrzeug mit einem vom Hersteller definierten Drehmoment angezogen werden? Listen Sie einige auf und geben Sie das jeweilige Anzugsmoment an.
7. Erläutern Sie die Begriffe „selbsttätiges Lösen“ und „Setzen“ einer Schraubverbindung und geben Sie geeignete Gegenmaßnahmen an.
8. Welche Aufgaben hat die Elektrodenumhüllung beim Schweißen?
9. Welche Bedeutung hat die Kapillarwirkung beim Löteten?
10. Nennen und begründen Sie die Aufgaben von Flussmitteln.
11. Nennen Sie Vor- und Nachteile von Klebverbindungen.
12. Welche Fügeverfahren werden beim Bau eines Kfz eingesetzt? An welchen Stellen? – Entwerfen Sie eine Tabelle, die die Art des Fügens, die Teile des gefügten Kfz, die Gründe für den Einsatz und Alternativen auflistet.

2.8 Das System Kraftfahrzeug



2.8.1 Maschinen und Geräte als technische Systeme

Technische Systeme sind von Menschen geschaffene Anlagen, Maschinen, Geräte und technische Einrichtungen. Um ein komplexes Gesamtsystem (z. B. eine Werkzeugmaschine oder das Kraftfahrzeug) besser zu begreifen, unterteilt man es in Teilsysteme und Funktionseinheiten.

Erst diese systematische Betrachtung vom Aufbau und der Wirkungsweise eines technischen Systems ermöglicht das Verstehen von komplizierten Zusammenhängen. Die Systemanalyse entwickelt für alle technischen Systeme vergleichbare Merkmale und Elemente. So können die Funktionsabläufe z. B. für Wartung, Diagnose und Reparatur leichter verglichen und begriffen werden.

Systemaufbau. Sowohl das Gesamtsystem als auch die Teilsysteme haben Systemgrenzen, die sie von ihrer jeweiligen Umgebung trennen (Bild 2.57). Kennzeichen eines Systems ist die Eingabe (Input) außerhalb der Systemgrenze, die Verarbeitung innerhalb des Systems und die Ausgabe (Output) über die Systemgrenze hinaus. Beim System Kraftfahrzeug sind Eingabegrößen Kraftstoff und Luft, die Ausgabegrößen sind Abgas, Wärme und – der eigentliche Zweck des Systems – die Fahrbewegung.

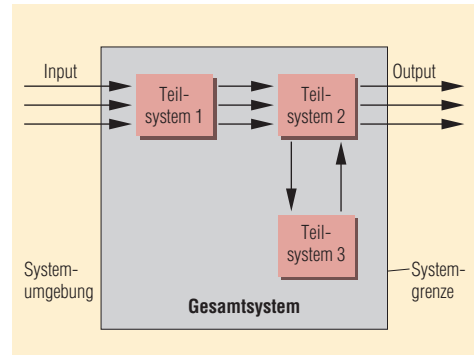


Bild 2.57 Systemaufbau.

Der Unterschied zwischen den Eingabe- und Ausgabegrößen macht die Funktion eines Systems aus. Die Änderung der Größen bezeichnet man als Umsetzung.

Die Unterteilung technischer Systeme erfolgt in

- energieumsetzende,
- stoffumsetzende und
- informationsumsetzende Systeme.

2.8.2 Das System Kraftfahrzeug in Teilfunktionen

Bild 2.58 zeigt das Kraftfahrzeug als Gesamtsystem. Es lässt sich in Funktionseinheiten einteilen.

Antriebseinheit ist der Motor. In ihm wird die im Kraftstoff gespeicherte chemische Energie in Wärmeenergie und mechanische Energie umgewandelt (Bild 2.59).

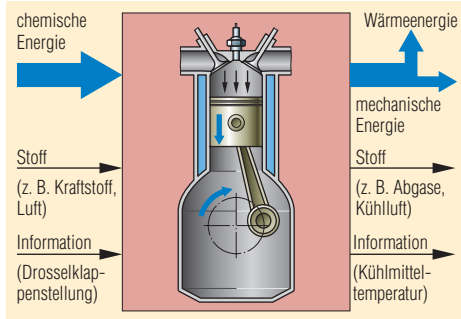


Bild 2.59 Energieumsatz am Beispiel Verbrennungsmotor.

Die Energieübertragungseinheit besteht aus Kupplung, Getriebe, Gelenkwelle, Achsgetriebe und Antriebswelle der Räder. Sie überträgt die mechanische Energie des Motors an die Wirkstelle (Berührungsfläche von Reifen und Straßenbelag, Bild 2.60).

Die Trag- und Stützeinheit wird vom Rahmen oder der selbsttragenden **Karosserie** gebildet.

Arbeitseinheit. In der Arbeitseinheit wird die Hauptfunktion des Gesamtsystems (Personen

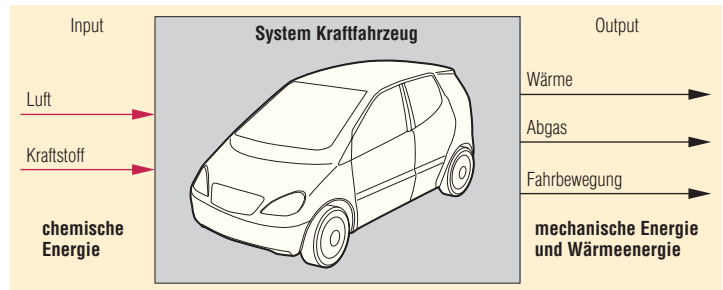


Bild 2.58 System Kraftfahrzeug.

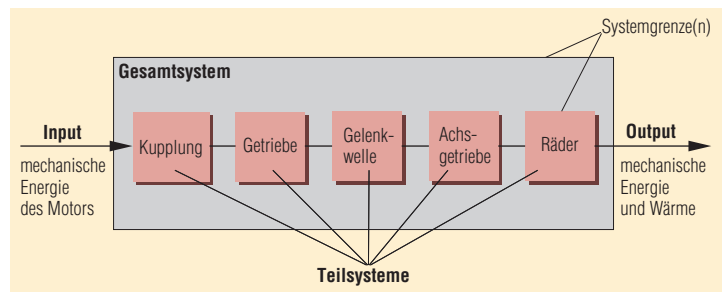


Bild 2.60 Energieübertragungseinheit.

und/oder Güter befördern) erfüllt. Beim Kraftfahrzeug besteht sie im Teilsystem Rad/Straße und der Umsetzung der drehenden in eine geradlinige Bewegung.

Steuerungs- und Regelungseinheiten im Kraftfahrzeug beziehen sich u.a. auf Lenk-, Brems-, Einspritz- und Navigationssysteme. Durch Informationsverarbeitung werden die Prozesse der Stoff- und Energieumsetzung beeinflusst.

Karosserie → S. 486

Arbeitsaufträge

1. Welche grundsätzlichen Arten technischer Systeme gibt es? – Nennen Sie Beispiele.
2. Erklären Sie das Kraftfahrzeug als technisches System.
3. Erläutern Sie den Energieumsatz in einem Verbrennungsmotor.
4. Was versteht man unter einem Wirkungsgrad? Weshalb ist er immer kleiner 1?
5. Erläutern Sie anhand des Beispiels Kraftfahrzeug den Begriff Teilsystem. Aus welchen Teilsystemen besteht das Gesamtsystem Kfz?
6. Erläutern Sie den Systemgedanken anhand einer Werkzeugmaschine aus Ihrem Ausbildungsbetrieb.

3 Elektrotechnik

3.1 Einführung in die Elektrotechnik

Niels Bohr:
dänischer Physiker
(1885 – 1962),
Entwicklung des
Atommodells 1913

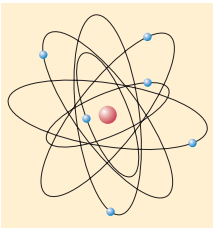


Bild 3.1
Bohr'sches Atommodell,
prinzipieller Atom-
aufbau.

Die Anzahl und die Komplexität elektrischer und elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen sind in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen. Häufig zählen u.a. elektrische Fensterheber, Antiblockiersystem und Airbag zur Serienaus-

stattung eines Neufahrzeuges. Daher muss sich der Kfz-Fachmann verstärkt mit den Grundlagen der Elektrik und Elektronik auseinander setzen um solche Systeme reparieren und warten zu können.

3.1.1 Elektrische Eigenschaften der Atome

Die Materie ist aus Atomen aufgebaut. Sie sind die kleinsten Bausteine eines Elementes und lassen sich chemisch nicht weiter zerlegen. Atome sind so klein, dass sie selbst unter einem Elektronenmikroskop nicht zu erkennen sind. Daher kann man sich ihren Aufbau nur mithilfe von Modellen vorstellen. Eine annähernde Vorstellung liefert das Bohr'sche Atommodell (Bild 3.1).

Danach besteht jedes Atom aus einem Atomkern und einer Atomhülle. Der Atomkern wird aus Protonen und Neutronen aufgebaut. Die Protonen sind die Träger der positiven elektrischen Ladung. Die Neutronen haben keine elektrische

Ladung. Im Atomkern ist fast die gesamte Masse des Atoms vereint. Daher weist dieser eine extrem große Dichte auf.

In der Atomhülle befinden sich die Elektronen. Sie sind Träger der negativen elektrischen Ladung. Ihre Masse ist im Vergleich zur Kernmasse verschwindend gering. Die Elektronen bewegen sich auf bis zu 7 ellipsenförmigen Bahnen (Schalen) um den Atomkern. Die Anzahl der Bahnen ist von der Elektronenzahl abhängig, da auf jeder Bahn nur eine begrenzte Anzahl von Elektronen Platz haben.

Zeichenerklärung:					
Ordnungszahl	Name	Symbol			
			Schale	Atomkern	Elektronen
			relative Atommasse		
1	Wasserstoff	H			
1 Proton					
1,008					
2	Helium	He			
2 Protonen 2 Neutronen					
4,002					
3	Lithium	Li	4	Beryllium	Be
3 Protonen + Neutronen			4 Protonen + Neutronen		
6,941			9,012		
5	Bor	B	6	Kohlenstoff	C
5 Protonen + Neutronen			6 Protonen + Neutronen		
10,811			12,011		
7	Stickstoff	N	8	Sauerstoff	O
7 Protonen + Neutronen			8 Protonen + Neutronen		
14,0			15,999		
9	Fluor	F	10	Neon	Ne
9 Protonen + Neutronen			10 Protonen + Neutronen		
18,998			20,179		
11	Natrium	Na	12	Magnesium	Mg
11 Protonen + Neutronen			12 Protonen + Neutronen		
22,989			24,305		
13	Aluminium	Al	14	Silicium	Si
13 Protonen + Neutronen			14 Protonen + Neutronen		
26,981			28,086		
15	Phosphor	P	16	Schwefel	S
15 Protonen + Neutronen			16 Protonen + Neutronen		
30,974			32,064		
17	Chlor	Cl	18	Argon	Ar
17 Protonen + Neutronen			18 Protonen + Neutronen		
35,453			39,948		

Bild 3.2 Atomaufbau der Elemente 1 bis 18 nach dem Bohr'schen Atommodell.

Im Regelfall ist ein Atom nach außen elektrisch neutral, da es gleich viele Elektronen auf den Bahnen wie Protonen im Kern besitzt. Negative und positive Elementarladungen gleichen sich somit aus. Den genauen Atomaufbau der ersten achtzehn Elemente zeigt Bild 3.2.

Für alle Elemente gelten folgende Eigenschaften:

- Ein Element stellt sich umso reaktionsfreudiger dar, je weniger Elektronen es auf der äußeren Schale (= Valenzelektronen) besitzt. Die Zahl der Außenelektronen gibt Auskunft über das chemische Verhalten des Elementes.
- Die voll besetzte Außenschale mit 8 Elektronen (Helium = 2 Elektronen) ist Kennzeichen der Edelgase. Sie gehen nur sehr selten und unter besonderen Voraussetzungen eine chemische Verbindung mit anderen Elementen ein.
- Alle metallischen Elemente verfügen über wenig Außenelektronen und sind daher relativ reaktionsfreudig.

Die positive Elementarladung der Protonen bewirkt eine Anziehungskraft auf die Elektronen. Durch die Kreisbewegung der Elektronen entsteht eine entgegengerichtete Fliehkraft. Beide Kräfte sind gleich groß und heben sich in ihren Wirkungen auf. Dennoch kommt es vor, dass sich Valenzelektronen aus ihrer Atomhülle lösen. Sie bewegen sich frei und orientierungslos zwischen den Atomen. Man bezeichnet sie als „freie Elektronen“. Das Atom hat sich dadurch verändert. In ihm überwiegt jetzt die Anzahl der Protonen, es ist nach außen positiv geladen. Umgekehrt können aber auch freie Elektronen sich als zusätzliche Elektronen in die Hülle eines Atomes begeben. Dann überwiegt in diesem Atom die negative Ladung (Bild 3.3).

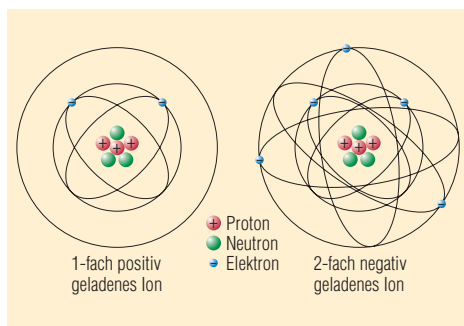


Bild 3.3 1fach⁺- und 2fach⁻-geladenes Ion.

Elektrische Leiter. Hierunter fallen alle Metalle. Dies hängt mit ihrer geringen Anzahl an Außenelektronen zusammen, die nur sehr schwach mit dem Atomkern verbunden sind und leicht abgegeben werden. Die zurückbleibenden positiv geladenen Metallionen nehmen feste Gitterplätze ein und bauen das Kristallgitter auf. Die freien Elektronen bewegen sich ungeordnet als Elektronenwolke zwischen den Metallionen und können dabei von einem Atom zum anderen wechseln. Durch den Ladungsunterschied zwischen den positiven Ionen und den Elektronen entstehen Anziehungskräfte, die das Gitter zusammenhalten. Dies bezeichnet man als Metallbindung (Bild 3.4).

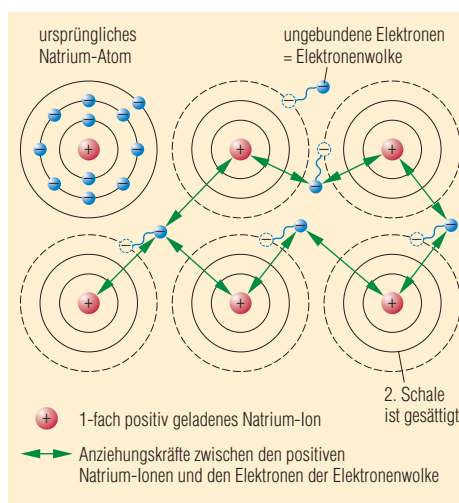


Bild 3.4 Die Metallbindung am Beispiel von Natrium.

Durch das Anlegen einer Spannungsquelle werden die freien Elektronen zu einer gerichteten Bewegung innerhalb des Metalls veranlasst. Sie sind nun in der Lage elektrische Energie zu transportieren.

Neben den Metallen ist auch Kohle ein guter elektrischer Leiter.

Nichtleiter. Es gibt aber auch Stoffe, die den Strom nicht leiten können. Weil an ihrem Werkstoff-Aufbau alle Außenelektronen beteiligt sind, liegen keine frei beweglichen Ladungsträger vor. Solche Materialien werden als Nichtleiter bzw. Isolatoren bezeichnet. Sie dienen in der Elektrotechnik zur Isolierung. Vielfach benutzt werden Hartgummi, spezielle Kunststoffe und Porzellan.

valere (lat.):
frei sein

Ion: positiv oder negativ geladenes Atom

Halbleiter. Bezüglich ihrer elektrischen Leitfähigkeit nehmen sie eine Zwischenstellung zwischen den Leitern und den Nichtleitern ein.

3.1.2 Grundgrößen der Elektrotechnik

Spannung. Sie ist die Ursache für die Erzeugung elektrischen Stromes. Eine elektrische Spannung liegt vor, wenn an zwei Punkten (z. B. den Polen einer Spannungsquelle) unterschiedlich viele Elektronen vorhanden sind. Am Minuspol herrscht ein Elektronenüberschuss, am Pluspol ein Mangel (Bild 3.5a). Die Differenz zwischen Elektronenmangel und Überschuss gibt die Höhe der Spannung an.

Die Einheit der Spannung U ist das Volt [V].

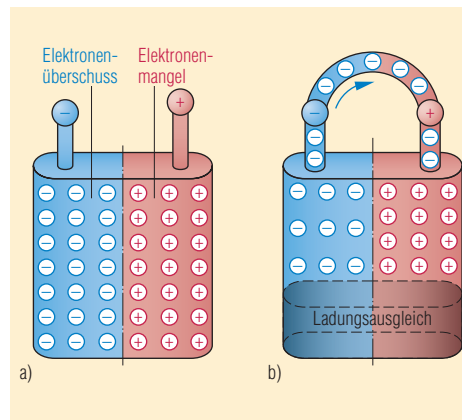


Bild 3.5 a) Spannungserzeugung durch Ladungstrennung.
b) Elektronenfluss nach Verbindung der Pole.

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$$

R = Leiterwiderstand in Ω ,
 ϱ = spezifischer Leiterwiderstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, l = Leiterlänge in m, A = Leiterquerschnitt in mm^2

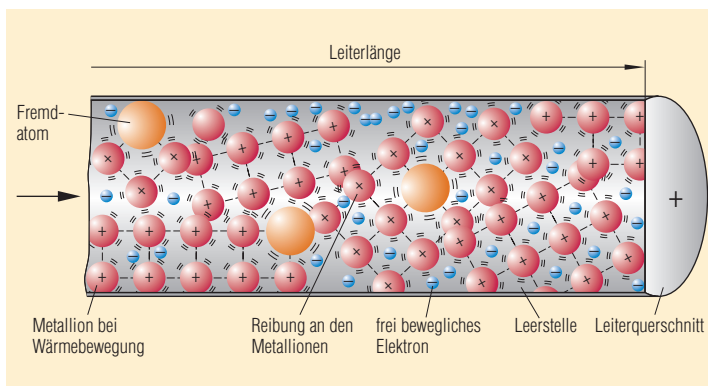


Bild 3.6 Behinderung von Elektronen bei ihrer Strömung durch den Leiter.

Jede Spannungsquelle ist bestrebt die Ladungstrennung auszugleichen. Innerhalb der Quelle ist dies bauartbedingt nicht möglich. Werden jedoch die Pole über Leitungen mit einem Verbraucher verbunden, fließen Elektronen von der Überschussseite zur Mangelseite (Bild 3.5b). Obwohl sich die Elektronen im Leiter nur mit sehr geringer Geschwindigkeit bewegen, leuchtet z. B. beim Betätigen eines Lichtschalters die Lichtquelle sofort auf, weil vom Minuspol der Spannungsquelle ein großer Druck auf die frei beweglichen Elektronen im Leiter ausgeübt wird (Abstoßung gleicher Ladung). Zudem übt der Pluspol eine Anziehungskraft aus. Druck und Anziehungskraft breiten sich im Stromkreis sofort aus.

Stromstärke. Ein Strom kann nur fließen, wenn eine Spannung anliegt und der Stromkreis geschlossen ist. Die elektrische Stromstärke ist die Ladungsmenge, die pro Sekunde durch einen Leiterquerschnitt fließt. Zur Verdeutlichung stellt man sich einen aufgeschnittenen Leiter vor, bei dem man die Elektronen zählt, die pro Sekunde an der Schnittstelle austreten.

Die Einheit der Stromstärke I ist das Ampere [A].

Die Stromstärke von 1 Ampere entspricht der Ladungsbewegung von $6,24 \cdot 10^{18}$ Elektronen pro Sekunde.

Widerstand. Freie Elektronen können nicht ungehindert durch einen elektrischen Leiter wandern. Das Kristallgitter des Leiterwerkstoffes setzt ihnen dabei einen Widerstand entgegen, wie das Bild 3.6 verdeutlicht. Diesen bezeichnet man als elektrischen Leiterwiderstand.

Die Einheit des elektrischen Widerstandes R ist das Ohm $[\Omega]$.

Durch die Reibung der Elektronen im Metallgitter entsteht Wärme. Fließt ein zu großer Strom durch einen zu kleinen Leitungsquerschnitt, führt dies zu einer übermäßigen Erwärmung des Leiters. Für die Berechnung des Leiterwiderstandes spielen der spezifische elektrische Widerstand des Leiterwerkstoffes, der Leiterquerschnitt und die Leiterlänge eine Rolle.

In Tabelle 3.1 sind die spezifischen Leiterwiderstände der wichtigsten Leiterwerkstoffe gegenübergestellt.

Werkstoff	ρ in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Silber (Ag)	0,017
Kupfer (Cu)	0,018
Aluminium (Al)	0,028
Stahl	0,13
Nickelin	0,39
Konstantan	0,49
Tabelle 3.1 Spezifischer elektrischer Widerstand einiger ausgewählter Leiterwerkstoffe.	

Spezifischer elektrischer Widerstand eines Leiterwerkstoffes: wird für einen Leiterquerschnitt von 1 mm^2 , einer Leiterlänge von 1 m und einer Temperatur von 20°C angegeben.

3.1.3 Stromarten

Gleichstrom. Beim Gleichstrom bewegen sich die Ladungsträger stets mit gleicher Stromstärke in gleicher Richtung (Bild 3.7).

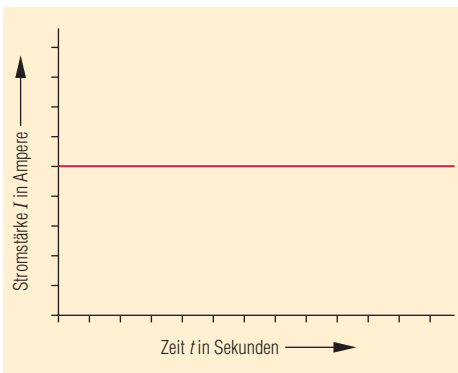


Bild 3.7 Zeitlicher Verlauf eines Gleichstromes.

Wechselstrom. Beim Wechselstrom ändern die Ladungsträger ihre Richtung in regelmäßig wiederkehrenden Zeitabständen. Man bezeichnet dies als einen periodischen Stromverlauf. Die Anzahl der Perioden in einer Sekunde geben die Frequenz des Wechselstromes an. Durch die Richtungsänderung des Stromes wird auch eine ständige Veränderung der Stromstärke hervorgerufen. Oberer und unterer Höchstwert der Stromstärke sind zahlenmäßig gleich groß und werden als Amplitude (Scheitelwert) bezeichnet. Der Wechselstrom zeigt einen sinusförmigen Verlauf der Stromstärke bezogen auf die Zeit (Bild 3.8).

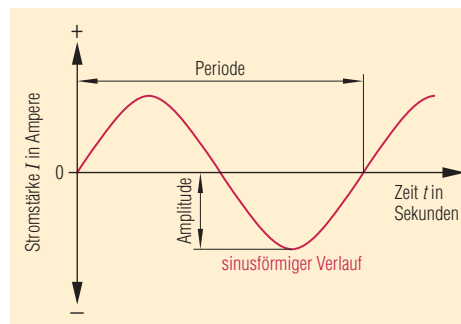


Bild 3.8 Zeitlicher Verlauf eines Wechselstromes.

Drei-Phasen-Wechselstrom (Drehstrom). Hierbei handelt es sich um eine Überlagerung von drei sinusförmigen Wechselströmen, die sich in ihrem zeitlichen Verlauf unterscheiden (Bild 3.9). Der Maximalwert der einzelnen Wechselströme wird abhängig von der Zeit durchlaufen (Phasenverschiebung).

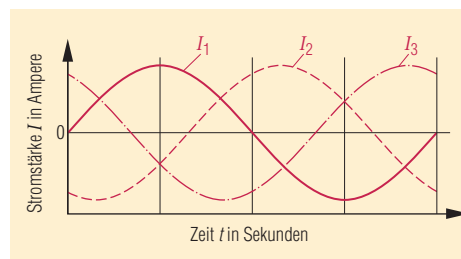


Bild 3.9 Zeitlicher Verlauf eines Drehstromes.

Die Einheit der Frequenz f ist das Hertz [Hz].

Arbeitsaufträge

1. Beschreiben Sie die Metallbindung am Beispiel von Magnesium.
2. Erklären Sie den Unterschied zwischen einem Atom und einem Ion.
3. Die elektrischen Grundgrößen Spannung, Stromstärke und Widerstand werden oft mit einem unter Druck stehenden Wasserhahn verglichen. Ordnen Sie die Begriffe Wasserdruck, Wassermenge und Drosselung am Wasserhahn den elektrischen Grundgrößen zu.
4. Von welchen Größen hängt der Widerstand eines elektrischen Leiters ab?
5. Übernehmen Sie die nebenstehende Tabelle und ergänzen Sie diese mithilfe des Tabellenbuches. Lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Dichte eines Werkstoffes und seinem spezifischen Widerstand erkennen?

Werkstoff	Dichte ρ in kg/dm^3	Spezifischer Widerstand ρ in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Aluminium		
Blei		
Chrom		
Stahl		
Kupfer		
Silber		

3.1.4 Gleichstromkreis

Energiewandler:

In der Literatur wird meist von einem „Verbraucher“ gesprochen, obwohl dieser Ausdruck nicht zutreffend ist. Ein elektrischer Verbraucher verbraucht keine Energie, sondern überführt diese nur in eine andere Energieform.

Ein einfacher elektrischer Stromkreis besteht mindestens aus:

- der Spannungsquelle,
- den elektrischen Leitungen,
- einem Energiewandler (Verbraucher).

Stromrichtung. Die Elektronen müssen die elektrische Energie vom Minus- zum Pluspol transportieren, da sie aufgrund ihrer Ladung von diesem angezogen werden. Diese mit den Gesetzen der Physik erklärable Stromrichtung bezeichnet man als **physikalische** oder **Elektronenstromrichtung**.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden die Auswirkungen des elektrischen Stromes erforscht. Da zu diesem Zeitpunkt fast keine Kenntnisse über den Aufbau der Materie vorlagen, wurde die Stromrichtung fälschlicherweise vom Pluspol zum Minuspol angenommen. Sie wird als **technische Stromrichtung** bezeichnet. Um die Wirkungen des elektrischen Stromes zu erklären, ist die Stromrichtung ohne Bedeutung. Deshalb geht man in der Technik weiterhin von einer technischen Stromrichtung aus.

Zur Verdeutlichung können die angenommene Stromrichtung und die Spannung mit Pfeilen in den Schaltplänen eingezeichnet werden (Bild 3.10). Der Spannungspfeil verläuft vom Plus- zum Minuspol und soll verdeutlichen, in welche Richtung die Spannung den Strom treibt.

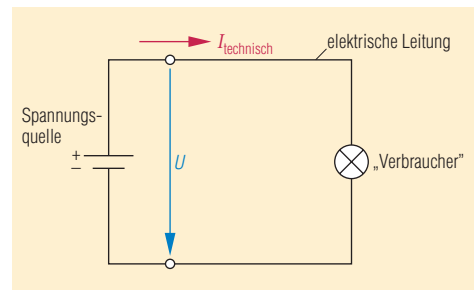


Bild 3.10 Einfacher elektrischer Stromkreis mit eingetragener technischer Stromrichtung und Spannung.

Messungen im elektrischen Stromkreis. Die elektrischen Grundgrößen Spannung und Stromstärke können im geschlossenen Stromkreis gemessen werden. Dazu werden sowohl analoge als auch digitale Vielfachmessgeräte benutzt. Digitale Geräte sind genauer und einfacher zu bedienen. Die Ablesegenauigkeit ist höher.

Die elektrische Spannung wird mit dem Spannungsmesser gemessen. Dieser wird parallel zur Spannungsquelle oder zum Verbraucher betrieben.

Die elektrische Stromstärke wird mit dem Strommesser ermittelt. Das Strommessgerät wird dazu in den Stromkreis eingebaut, d. h. es wird in Reihe mit dem Verbraucher geschaltet. Dies ist sowohl in der Hin- als auch in der Rückleitung möglich. Die Möglichkeiten zur Spannungs- und Stromstärkenmessung verdeutlicht Bild 3.11.

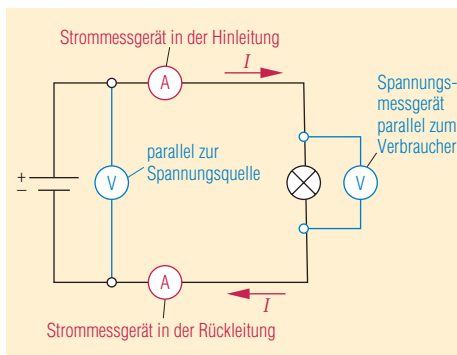


Bild 3.11 Mögliche Messstellen für Spannung und Stromstärke.

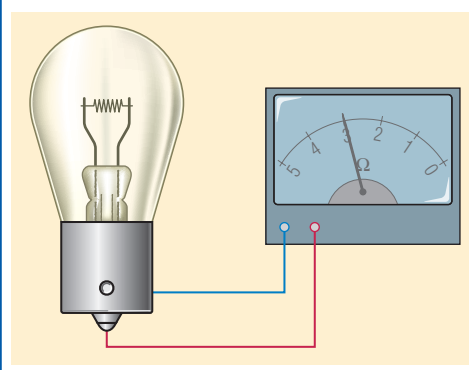
Der Widerstandswert in einem Stromkreis kann gemessen oder ermittelt werden (Tabelle 3.2).

Analoge Messgeräte: Darstellung der Messergebnisse durch einen Zeigerausschlag auf einer Skale.

Digitale Messgeräte: zeigen den ermittelten Messwert als Ziffernfolge.

direkte Widerstandsermittlung (Messung des Widerstandwertes)

Der Verbraucher wird mit seinen beiden Anschlüssen vom Stromkreis getrennt und beide Klemmen mit einem Widerstandsmessgerät verbunden. Der Widerstand kann direkt abgelesen werden.



indirekte Widerstandsermittlung (Berechnung des Widerstandwertes)

Der Verbraucher wird nicht vom Stromkreis getrennt. Die durch den Verbraucher durchgehende Stromstärke (Strommessgerät) und die am Verbraucher anliegende Spannung (Spannungsmessgerät) werden gemessen. Aus beiden Messwerten wird nach dem Ohm'schen Gesetz (Kap. 3.1.5) der Widerstand errechnet.

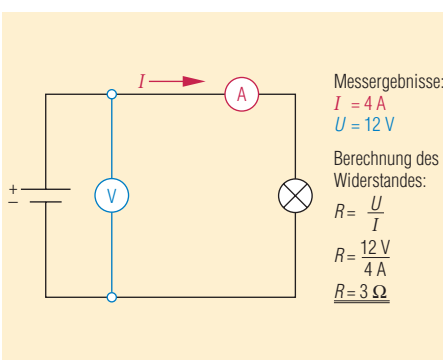


Tabelle 3.2

Direkte und indirekte Widerstandsermittlung.

Arbeitsaufträge

1. Welche Mess- und Einstellvorschriften müssen bei der Spannungs- und Strommessung berücksichtigt werden?
2. Erklären Sie den Unterschied zwischen technischer und physikalischer Stromrichtung.
3. Wodurch unterscheiden sich die direkte und die indirekte Widerstandsmessung?
4. Für die Darstellung elektrischer Stromkreise werden genormte Schaltzeichen benutzt. Schlagen Sie die wichtigsten Schaltzeichen in Ihren Tabellenbüchern nach und zeichnen Sie diese heraus.

3.1.5 Ohm'sches Gesetz

Das Ohm'sche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand. Es ist durch Auswertung von zwei Versuchsreihen im einfachen Stromkreis abgeleitet worden.

1. Versuchsreihe. Der Widerstand wird konstant gehalten, die Spannung schrittweise erhöht und die sich einstellende Stromstärke ermittelt.

Versuchsergebnis:

Widerstand R in Ω	10	10	10	10	10
Spannung U in V	10	20	30	40	50
Stromstärke I in A	1	2	3	4	5

Gleich bleibender Widerstand bewirkt bei einer Spannungserhöhung eine gleichzeitige Stromerhöhung. Die Stromstärke verhält sich proportional zur Spannung, $I \approx U$.

2. Versuchsreihe. Die Spannung wird konstant gehalten, der Widerstand schrittweise erhöht und die sich einstellende Stromstärke ermittelt.

Versuchsergebnis:

Spannung U in V	12	12	12	12	12
Widerstand R in Ω	0,5	1	2	4	8
Stromstärke I in A	24	12	6	3	1,5

Gesetzmäßigkeiten der Reihenschaltung:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Gleich bleibende Spannung bewirkt bei einer Widerstandserhöhung eine Abnahme der Stromstärke. Diese verhält sich umgekehrt proportional zum Widerstand,

$$I \approx \frac{1}{R}$$

Die Zusammenfassung beider Versuchsergebnisse beschreibt das Ohm'sche Gesetz:

$$I = \frac{U}{R}$$

3.1.6 Schaltung von Widerständen

Reihenschaltung. Eine Reihenschaltung von Widerständen liegt vor, wenn alle Widerstände nacheinander von demselben Strom durchflossen werden (Bild 3.12).

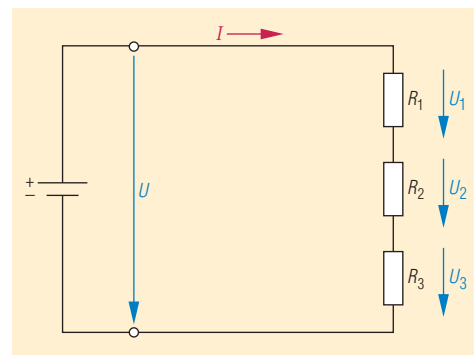


Bild 3.12 Reihenschaltung von Widerständen.

Für die Reihenschaltung gelten folgende Gesetzmäßigkeiten:

- Die Stromstärke ist überall gleich.
- Die Summe der Teilspannungen an den einzelnen Widerständen ist gleich der Gesamtspannung (Zweite Kirchhoff'sche Regel).
- Aus der Summe der Einzelwiderstände errechnet sich der Gesamtwiderstand der Schaltung.
- Ist der Stromkreis einer Reihenschaltung an einer Stelle unterbrochen, kann kein Strom mehr fließen.

In der Fahrzeugtechnik werden Reihenschaltungen eingesetzt, wenn die Betriebsspannung an einzelnen Verbrauchern reduziert werden muss (so genannte Vorwiderstände).

Parallelschaltung. Eine Parallelschaltung von Widerständen liegt vor, wenn alle Widerstände an derselben Spannung anliegen. Dabei bilden sich Knotenpunkte, in denen sich der Strom verzweigt. Durch jeden Zweig fließt nur ein Teilstrom (Bild 3.13).

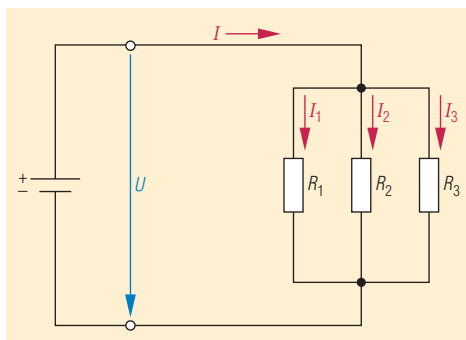


Bild 3.13 Parallelschaltung von Widerständen.

Für die Parallelschaltung gelten folgende Gesetzmäßigkeiten:

- Die Spannung an den einzelnen Widerständen ist gleich der Gesamtspannung.
- In einem Stromverzweigungspunkt (Bild 3.14) ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme (Erste Kirchhoffsche Regel).
- Der Kehrwert des Gesamtwiderstandes ist gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände.
- Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung ist stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.
- Die Unterbrechung eines parallelen Leitungspfades führt nicht zum Ausfall der kompletten Schaltung.
- Jederzeit können Verbraucher zu- oder abgeschaltet werden.

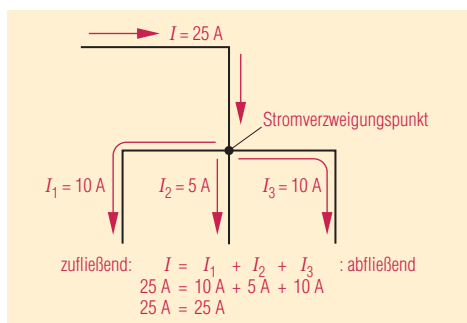


Bild 3.14 Stromverzweigungspunkt.

In der Fahrzeugtechnik finden Parallelschaltungen Verwendung, wenn mehrere Verbraucher mit derselben Spannung betrieben werden sollen (z.B. Glühlampen der Vorglühanlage eines Dieselmotors).

Netzwerk. Ein Widerstandsnetzwerk ist eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltungen (Bild 3.15). Schaltungstechnisch einfach aufgebaute Netzwerke bezeichnet man als gemischte Schaltungen. In Widerstandsnetzwerken gelten die Gesetzmäßigkeiten der Reihen- und Parallelschaltung.

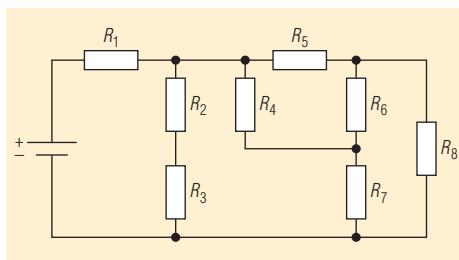


Bild 3.15 Komplexes Widerstandsnetzwerk.

Für die Berechnung von Netzwerken muss die Schaltung schrittweise vereinfacht werden. Dazu müssen die parallel oder in Reihe geschalteten Widerstände zu Ersatzwiderständen zusammengefasst werden.

Die Brückenschaltung besteht aus zwei Reihenschaltungen von jeweils zwei Widerständen, die parallel an einer gemeinsamen Spannungsquelle angeschlossen sind (Bild 3.16, S. 96). Der Gesamtstrom I_G verzweigt sich im Punkt A in die Teilströme I_1 (über die Widerstände R_1 und R_2) und I_2 (über die Widerstände R_3 und R_4). Die Widerstände $R_1 \dots R_4$ arbeiten als Spannungsteiler.

Gesetzmäßigkeiten der Parallelschaltung:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

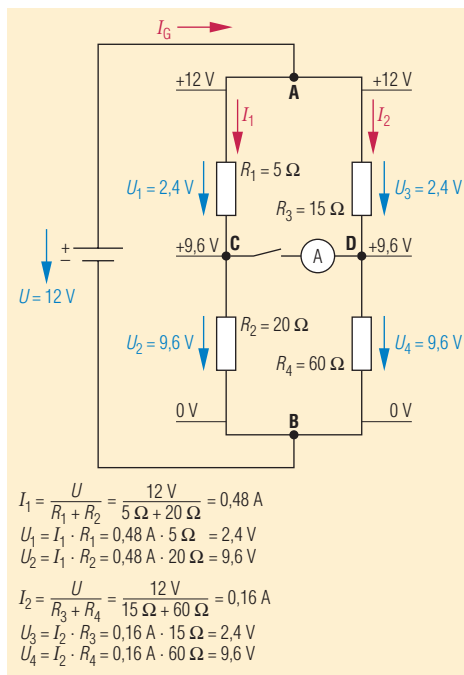


Bild 3.16 Brückenschaltung.

Der Schaltungspunkt B soll der Bezugspunkt für alle Spannungen sein. Die Teilspannung an einem Schaltungspunkt gegen einen festgelegten Bezugspunkt nennt man Potenzial. Der Bezugspunkt B hat das Potenzial 0 Volt. Bei der Brückenschaltung ermittelt man den Stromfluss zwischen den Schaltungspunkten C und D. Zeigt ein Strommesser keinen Stromfluss an, besteht zwischen beiden Punkten keine Spannung; beide Punkte müssen gegenüber dem Bezugspunkt B das gleiche Potenzial besitzen. Diesen Zustand bezeichnet man als abgeglichene Brücke. Die mathematische Bedingung für eine abgeglichene Brücke lautet:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_4} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Mithilfe einer Brückenschaltung werden Widerstandsmessungen durchgeführt. Dabei wird ein Widerstand (z. B. R_1) durch den zu messenden Widerstand R_x ersetzt. Die Widerstände $R_2 \dots R_4$ werden solange verändert, bis die Brücke abgeglichene ist. R_x kann dann berechnet werden:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}.$$

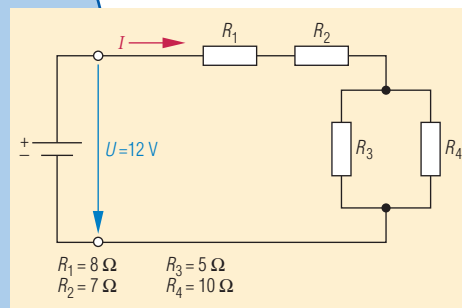
Eingesetzt wird die Brückenschaltung z. B. im Hitzdraht-Luftmassenmesser.

Luftmassenmesser
→ S. 218

Arbeitsaufträge

1. Stellen Sie beide Versuchsergebnisse zur Herleitung des Ohm'schen Gesetzes grafisch dar.
2. Erklären Sie die Ergebnisse beider Versuchsergebnisse mithilfe der elektrotechnischen Vorgänge im Inneren des Leiters.
3. Warum lautet das Ohm'sche Gesetz in seiner richtigen Fassung

$$I = \frac{U}{R}$$
und nicht wie meist beschrieben $U = R \cdot I$?
4. Warum ist die Summe der Einzelwiderstände in einer Parallelschaltung stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand?
5. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand des Netzwerkes im nebenstehenden Bild.



3.2 Elektrische Leistung, Arbeit und Wirkungsgrad

Die elektrische Leistung P ist das Produkt aus der Spannung U und der Stromstärke I . Die Einheit ist das Watt [W].

Elektrische Leistung. Um einen störungsfreien Betrieb zu ermöglichen, ist auf den meisten elektrischen Bauteilen die vorgeschriebene Spannung und die Leistungsaufnahme verzeichnet.

Glühlampen beispielsweise sind an ihrem Sockel gekennzeichnet. Die Beleuchtungsanlage eines Pkws ist mit verschiedenen Glühlampen bestückt (Tabelle 3.3).

Glühlampen, die besonders viel Helligkeit erzeugen, haben einen hohen Leistungswert. In ihnen fließen entsprechend große Ströme.

12-V-Glühlampe für	Typ	Leistung
Abblendlicht	H7	55 W
Standlicht vorn	Glassockel	5 W
Blinklicht vorn	Bajonett	21 W
Schlusslicht	Bajonett	10 W
Kennzeichenleuchte	Soffitte	5 W
Bremslicht	Bajonett	21 W
Tabelle 3.3		Mögliche Glühlampen eines Pkws.

Elektrische Arbeit

Die elektrische Arbeit W ist das Produkt aus der elektrischen Leistung P und der Zeit t der Einschaltdauer. Die Einheit ist die Wattsekunde [Ws].

Wirkungsgrad. Allgemein versteht man unter einem Wirkungsgrad das Verhältnis von „Nutzen“ zu „Aufwand“. Übertragen auf den Wirkungsgrad der elektrischen Leistung bzw. Arbeit bedeutet dies:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{zugeführte Leistung}} = \frac{\text{abgegebene Arbeit}}{\text{zugeführte Arbeit}}$$

Der Wirkungsgrad η (Eta, griech. Buchstabe) ist ein reiner Zahlenwert, stets kleiner als 1 oder kleiner als 100%.

Alle elektrischen Geräte wandeln elektrische Energie in andere Energieformen um, z.B. in Licht, Wärme oder mechanische Energie. Diese Umwandlung erfolgt immer unvollständig, ein Teil der elektrischen Energie kann nicht in die gewünschte Form überführt werden (Bild 3.17). Bei einem Elektromotor kann nur ein Teil der aufgenommenen elektrischen Energie in mechanische Energie überführt werden. Der andere Teil

wandelt sich in Wärme um. Die Wärmeenergie kann aber nicht genutzt werden. Man bezeichnet solche Energie als Verlustenergie.

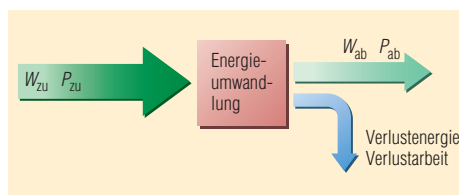


Bild 3.17 Darstellung des Energieflusses.

Arbeitsaufträge

1. Von welchen Größen ist die elektrische Arbeit in einem Stromkreis abhängig?
2. Diskutieren Sie die Möglichkeit elektrische Geräte mit einem Wirkungsgrad von 100% zu entwickeln.

3.3 Wirkungen des elektrischen Stromes

Das „Fließen“ elektrischen Stromes ist nur indirekt an seinen Wirkungen zu erkennen:

- magnetische Wirkung → Schalten eines Relais,
- Lichtwirkung → Leuchten einer Glühlampe,
- Wärmewirkung → Beheizen des Türschlosses,
- chemische Wirkung → Ladungs- und Entladungsvorgänge in der Batterie.

Weiterhin kann der elektrische Strom auf den Menschen eine **physiologische Wirkung** ausüben.

Stromdurchgang durch den menschlichen Körper
→ S. 111

3.3.1 Magnetische Wirkung

Die Wirkungsweise von Elektromotoren, Zündspulen, Relais und vielen anderen elektrischen Bauteilen im Kraftfahrzeug beruht auf den Eigenschaften des Magnetismus. Durch den Magnetismus entstehen magnetische Felder, die auf andere Magnete oder Eisenteile Anziehungs- und Ausrichtungskräfte ausüben. Magnetische Felder können durch Dauermagnete oder Elektromagnete erzeugt werden.

Elementarmagnete: kleinste in einem Werkstoff vorkommende Magnete, die bei Eisen und Nickel aus Kristalliten bestehen und unter einem Mikroskop nicht sichtbar sind.

Dauermagnetismus. Dauermagnete behalten ihre magnetische Eigenschaft meist für lange Zeit fast unverändert bei. An den Enden der Magnete (Pole) herrschen die größten Anziehungskräfte. Ein Magnet hat immer einen Nord- und einen Südpol. Ungleiche Pole zweier Magnete ziehen sich an, gleichartige Pole stoßen sich ab (Bild 3.18). Als Werkstoff für Dauermagnete wird meist eine Legierung aus Aluminium-Nickel-Cobalt benutzt.

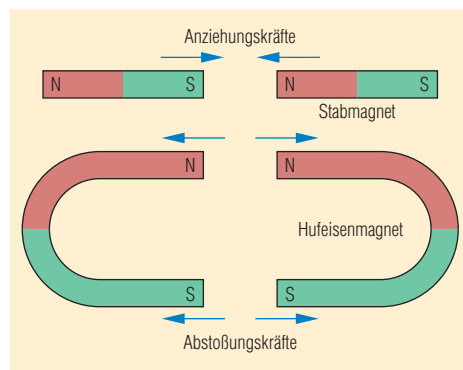


Bild 3.18 Dauermagnete; Anziehungs- und Abstoßungskräfte.

Magnetische Felder lassen sich mithilfe kleiner Eisenteile sichtbar machen. Werden diese in den Einflussbereich magnetischer Kräfte gebracht, ordnen sie sich zu geschlossenen Linienzügen. Diese bezeichnet man als Feldlinien (Bild 3.19). Die Dichte der Linien ist ein Maß für die Stärke des Feldes. Die Feldlinienrichtung verläuft außerhalb des Magneten stets vom Nord- zum Südpol.

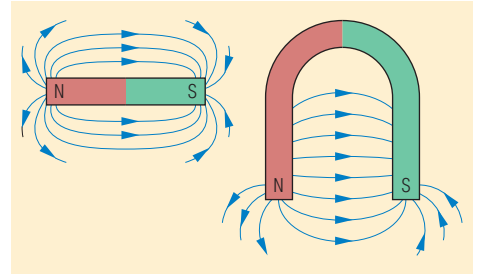


Bild 3.19 Feldlinienverlauf eines Stab- und Hufeisenmagneten.

Durch das Einbringen der Werkstoffe Eisen, Nickel und ihre Legierungen in ein Magnetfeld oder durch Bestreichen ihrer Oberfläche mit einem Magneten werden die Werkstoffe magnetisch. Dabei werden die einzelnen Elementarmagnete des Stoffes in Richtung der Pole ausgerichtet. Normalerweise liegen sie ungeordnet im Werkstoff vor (Bild 3.20).

Sind alle Elementarmagnete ausgerichtet, ist eine Verstärkung des Magnetfeldes nicht mehr möglich. Der Sättigungspunkt des Feldes ist erreicht. Die magnetische Wirkung kann ohne die Ausrichtung nicht festgestellt werden.

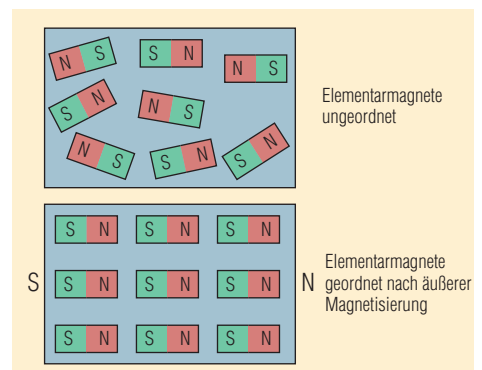


Bild 3.20 Elementarmagnete, ungeordnet und geordnet nach äußerer Magnetisierung.

Die genaue Werkstoffzusammensetzung entscheidet über die Haltbarkeit der Magnetisierung. „Weiches Eisen“ (Eisen mit sehr kleinen Anteilen an Kohlenstoff und Silicium) ist mit geringen magnetischen Kräften schnell magnetisierbar. Allerdings verliert sich der Magnetismus genauso schnell (flüchtiger Magnetismus). Erschütterung und Erwärmung sorgen bei allen Werkstoffen für einen vorzeitigen Abbau der Magnetisierung.

Elektromagnetismus. Auch der elektrische Strom übt eine magnetische Wirkung aus. Um einen stromdurchflossenen Leiter entsteht ein ringförmiges Magnetfeld. Die Stromrichtung bestimmt die Magnetfeldrichtung (Bild 3.21).

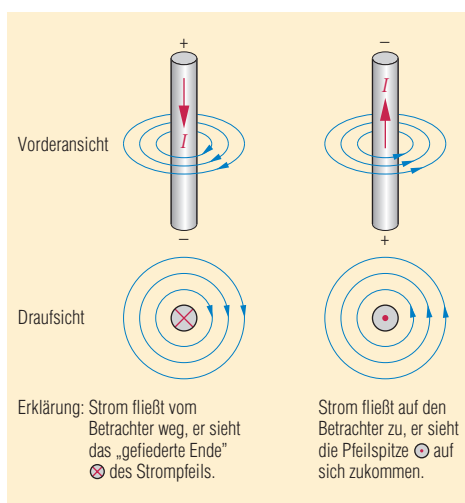


Bild 3.21 Kennzeichnung der Strom- und Magnetfeldrichtung in einem stromdurchflossenen Leiter.

Die Magnetfeldstärke steigt mit zunehmender Stromstärke an und fällt mit zunehmender Entfernung vom Leiter ab. Wird ein Leiter zu einer Spule aufgewickelt, entsteht ein Magnetfeld, das dem eines Stabmagneten entspricht (Bild 3.22). Dabei entsprechen die Spulenöffnungen den Polen. Eine größere Zahl an Windungen und eine höhere Stromstärke verstärken das Magnetfeld.

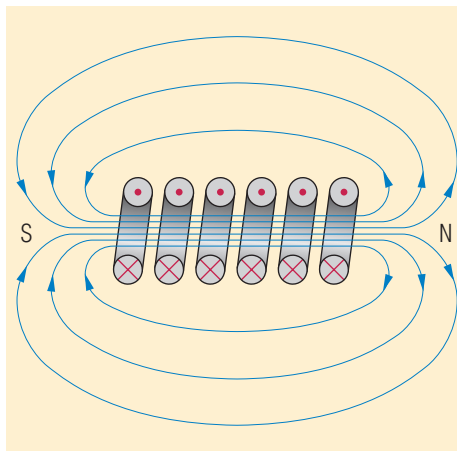


Bild 3.22 Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule.

Ein weichmagnetischer Eisenkern im Inneren einer stromdurchflossenen Spule verstärkt das Magnetfeld erheblich, weil der Eisenkern selber zum Magneten wird (Bild 3.23). Nach Abschalten des Stromes baut sich das Magnetfeld der Spule sehr schnell ab. Damit verliert auch der Eisenkern seine magnetische Wirkung. Bleibt ein geringer Restmagnetismus zurück, bezeichnet man dies als magnetische Remanenz.

Das Verstärkungsprinzip magnetischer Spulenfelder durch Einschließen von Eisenkernen wird z. B. für die Funktion eines Elektromagneten oder einer Zündspule ausgenutzt.

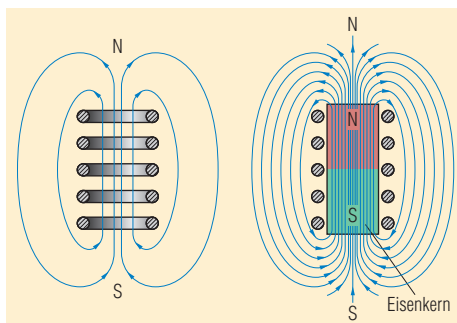


Bild 3.23 Verstärkung des Magnetfeldes durch einen Eisenkern.

remanere (lat.):
zurückbleiben

Bestimmung des Feldlinienverlaufs:
Schaut man bei angenommener technischer Stromrichtung in die Richtung des Stromflusses, dann verlaufen die Feldlinien im Uhrzeigersinn.

Durch Überlagerung von zwei oder mehr Magnetfeldern entsteht ein gemeinsames Magnetfeld mit einem resultierenden Kraftlinienverlauf. Darin verstärken sich Feldlinien gleicher Richtung, solche in entgegengesetzter Richtung schwächen sich ab oder löschen sich aus (Bild 3.24).

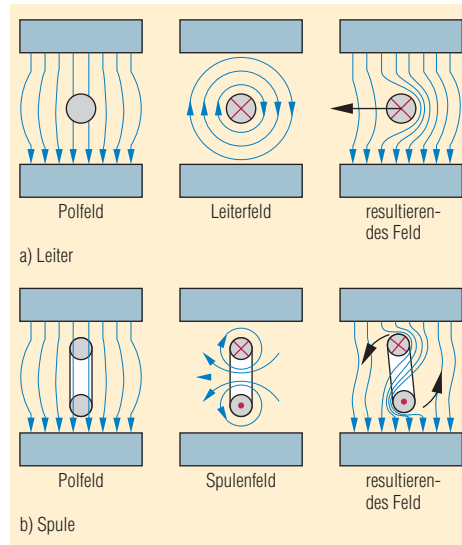


Bild 3.24 Leiter und Spule im Magnetfeld.

3.3.2 Licht- und Wärmewirkung

Licht lässt sich mithilfe von Strom auf zwei prinzipiell unterschiedliche Arten erzeugen. Danach werden die Glühlampe und die Gasentladungslampe unterschieden.

Die Glühlampe (Bild 3.25). Erhöht man die Stromstärke in einem stromdurchflossenen Leiter immer weiter, so steigt seine Temperatur durch zunehmende Schwingung der Atome im Kristall-

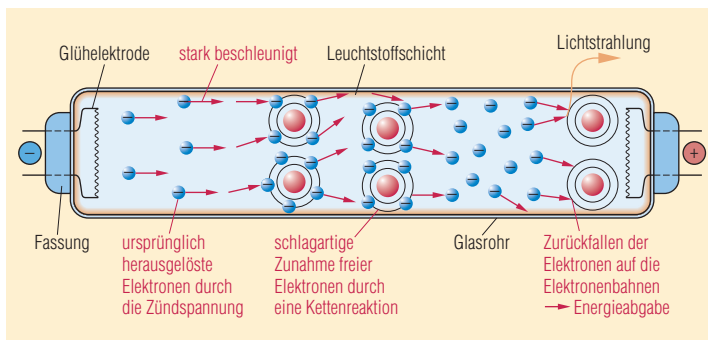


Bild 3.26 Aufbau einer Leuchtstofflampe mit Darstellung des Ionisierungsvorganges.

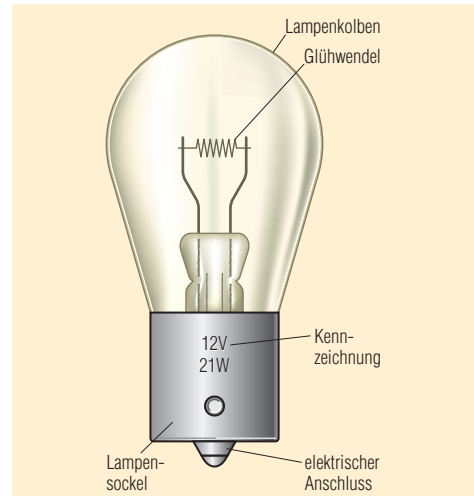


Bild 3.25 Aufbau einer Glühlampe.

gitter. Der Leiter wird zunächst rotglühend (ca. 800 °C). Bei noch höheren Temperaturen strahlt er schließlich weiß. Es entsteht Licht. Der Wirkungsgrad der Glühlampe beträgt rund 5 %.

Die Gasentladungslampe (Leuchtstofflampe). Aufbau (Bild 3.26): An beiden Enden des Glasrohres befinden sich zwei Glühelktroden, die Innenseite des Rohres ist mit einem Leuchtstoff beschichtet. Die gesamte Lampe ist mit einem Gas gefüllt.

Funktion: An die Elektroden wird eine Spannung angelegt. Hat diese einen bestimmten Wert erreicht (Zündspannung), werden einzelne Elektronen aus den Gasatomen herausgelöst und dabei stark beschleunigt. Durch die Elektronenabgabe werden die Gasatome ionisiert. Ein Strom fließt. Die herausgelösten Elektronen besitzen so viel Energie, dass sie ihrerseits andere Elektronen aus den Atomen herausschlagen. Schlagartig nimmt die Anzahl freier Elektronen zu. Durch die einsetzende Kettenreaktion fließt ein immer höherer Strom, der durch einen Vorwiderstand begrenzt werden muss. Nach kurzer Zeit fallen die Elektronen auf die ursprünglichen Atomschalen zurück. Dabei geben sie die zuvor aufgenommene Energie als Strahlungsenergie ab. Diese wird durch die Beschichtung auf der Innenseite des Glaskörpers in sichtbares Licht umgewandelt. Gasentladungslampen bleiben während des Betriebes kalt, sie erzeugen weniger Verlustwärme. Ihr Wirkungsgrad liegt bei ungefähr 20 %.

Wärmewirkung. Bewegen sich Elektronen durch einen metallischen Leiter, stoßen diese zwangsläufig mit den Ionen des Grundgitters zusammen. Dabei wandeln sie einen Teil ihrer Bewegungsenergie um, der Leiter erwärmt sich. Deshalb muss eine zu hohe Stromstärke in elektrischen Anlagen vermieden werden (Brandgefahr). Dagegen wird eine kontrollierte Wärmeentwicklung durch den elektrischen Strom z. B. für die Funktion der Heckscheibenheizung oder beim Auslösen einer Schmelzsicherung benötigt.

3.3.3 Chemische Wirkung

Fließt ein elektrischer Strom durch eine elektrisch leitende Flüssigkeit, so verändert er ihre Zusammensetzung. In der Kraftfahrzeugtechnik wird die chemische Wirkung z. B. bei der Funktion der **Starterbatterie** angewendet.

Damit eine Flüssigkeit den elektrischen Strom gut leiten kann, müssen in ihr Verbindungen aus Ionen gelöst sein, z. B. Salze, Säuren, Laugen oder Metalloxide. Diese Ionenlösung bezeichnet man als Elektrolyt. Taucht man zwei Elektroden in einen Elektrolyten und legt daran eine Spannung an (Bild 3.27), wandern seine Ionen zu den Elektroden. Positive Ionen wandern zu der nega-

tiven Elektrode und nehmen dort Elektronen auf, bis sie elektrisch neutral sind. Negative Ionen werden von der positiven Elektrode angezogen. Sie geben dort ihre überschüssigen Elektronen ab, bis auch sie neutralisiert sind.

Im Gegensatz zu den Metallen wandern in Flüssigkeiten sowohl positive als auch negative Ladungsträger. Durch die unterschiedliche Richtung der Ionenwanderung wird die Flüssigkeit in ihre Ausgangsstoffe zerlegt. Die beschriebene Trennung von Stoffen durch den elektrischen Strom bezeichnet man als Elektrolyse.



Elektrolyse: aus griech. Elektron = Bernstein und Analysis = Auflösung

Batterie → S. 512

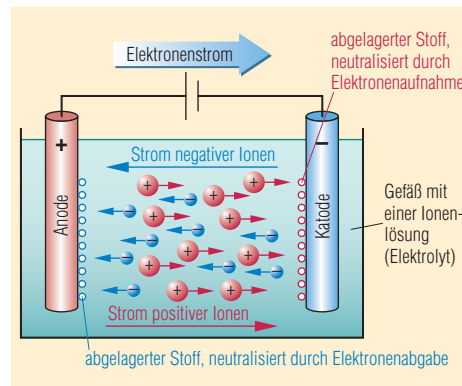


Bild 3.27 Ionenwanderung in einem Elektrolyten.

Arbeitsaufträge

1. Begründen Sie, warum „weiches Eisen“ und nicht „harter Stahl“ zur Magnetfeldverstärkung einer Spule genommen wird.
2. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Werkstoffzusammensetzung und seiner Magnetisierbarkeit?
3. Erklären Sie den Aufbau und die Funktion einer Gasentladungslampe.
4. Beschreiben Sie den Vorgang der Stromleitung in Flüssigkeiten.

3.4 Elektrische Spannungserzeugung

inducere (lat.): bewegen, einführen

Generator → S. 505

3.4.1 Induktion

Eine Induktionsspannung wird mit einem elektrischen Leiter (Spule) und einem Magneten erzeugt. Dazu muss der elektrische Leiter fortlaufend von den magnetischen Kraftlinien, in denen er sich bewegt, geschnitten werden (**Generatorprinzip**, Bild 3.28), oder es muss sich die Stärke des Magnetfeldes, welches den Leiter durchdringt, immerzu ändern (**Transformatorprinzip**, Bild 3.29).

In beiden Fällen werden die freien Elektronen des Leiters durch die Wirkung des magnetischen Feldes in eine gerichtete Bewegung versetzt. Die elektrische Spannung wird nur solange erzeugt, wie der elektrische Leiter durch das Magnetfeld bewegt wird, bzw. sich die Magnetfeldstärke ändert. Die Höhe der erzeugten Spannung ist abhängig von

- der Stärke des Magnetfeldes,
- der Windungszahl der Spule und
- der zeitlichen Veränderung der Magnetfeldstärke.

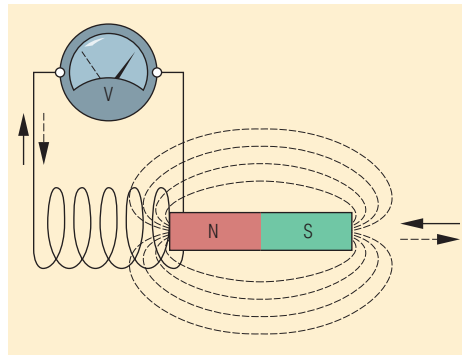


Bild 3.28 Generatorprinzip, Erzeugung einer Wechselspannung.

elektrochemische Korrosion → S. 38

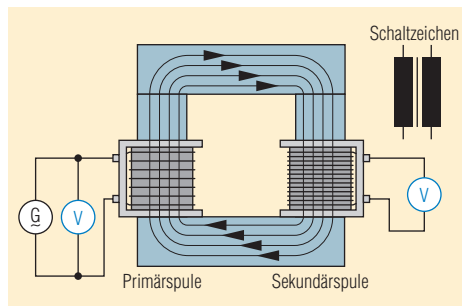


Bild 3.29 Transformatorprinzip, Erzeugung einer Wechselspannung.

3.4.2 Chemische Reaktion

In einer elektrochemischen Spannungsquelle (galvanisches Element) findet die Umwandlung von chemischer in elektrische Energie statt. Dazu werden zwei unterschiedliche Metalle oder ein Metall und Kohle in eine elektrisch leitende Flüssigkeit (Elektrolyt) getaucht (Bild 3.30). Zwischen den beiden Metallen bzw. zwischen dem Metall und der Kohle stellt sich eine elektrische Gleichspannung ein, deren Höhe von der Wahl der Werkstoffe abhängig ist. Sie lässt sich mithilfe der elektrochemischen Spannungsreihe rechnerisch bestimmen (Tabelle 3.4).

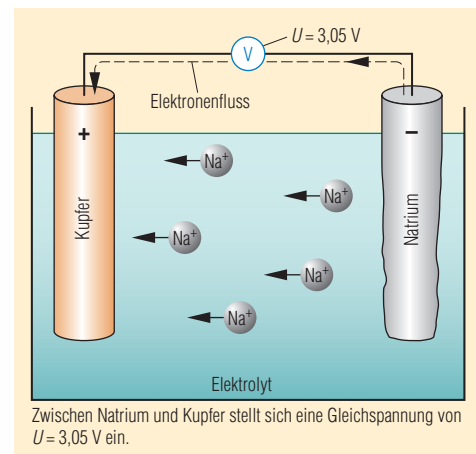


Bild 3.30 Galvanisches Element.

Elektrochemische Spannungsreihe. In Versuchsmessungen sind für verschiedene Metalle und für Kohlenstoff die jeweiligen Spannungen zu einer Wasserstoffelektrode (Bezugselektrode) ermittelt worden. Das Ergebnis ist in einer Tabelle aufgelistet. Die Spannungshöhe des galvanischen Elements wird durch die Spannungsdifferenz zwischen beiden Elektrodenwerkstoffen bestimmt. Der in der Tabelle weiter links stehende Werkstoff stellt das unedlere Material dar. Es zersetzt sich im Laufe der Zeit und bildet den Minuspol des galvanischen Elementes.

Elektrodenmaterial	Kalium	Natrium	Magnesium	Aluminium	Zink	Eisen	Nickel	Zinn	Blei	Wasserstoff	Kupfer	Kohlenstoff	Silber	Gold
Normalpotenzial in Volt	-2,92	-2,71	-2,37	-1,66	-0,76	-0,44	-0,25	-0,14	-0,13	0,00	+0,34	+0,74	+0,80	+1,42

Tabelle 3.4 Elektrochemische Spannungsreihe.

Beispiel: Zink-Kohle-Element

Zink: $-0,76 \text{ V}$; Kohle: $+0,74 \text{ V} \rightarrow$

$$U_{\text{ges}} = +0,74 \text{ V} - (-0,76 \text{ V})$$

$$U_{\text{ges}} = 1,5 \text{ V.}$$

Die Zinkelektrode bildet also den Minuspol. Ist der Elektrolyt verbraucht oder das unedlere Material aufgelöst, wird keine Spannung mehr erzeugt. Nach der Beschaffenheit des Elektrolyten wird zwischen Trocken- und Nasselementen unterschieden.

Trockenelement. Der Elektrolyt ist pastenförmig eingedickt, z. B. in der „Taschenlampenbatterie“. Zink-Kohle-Batterien (Bild 3.31) können nicht wieder aufgeladen werden. In Akkumulatoren können die elektrochemischen Vorgänge durch Stromzufuhr rückgängig gemacht werden. Sie bestehen meist aus einem Nickel-Cadmium-Element.

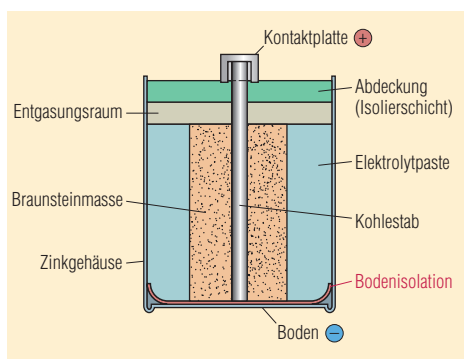


Bild 3.31 Aufbau eines Trockenelementes.

Nasselement. Der Elektrolyt liegt in flüssiger Form vor. Man unterscheidet Primär- und Sekundär-Nasselemente.

- **Primär-Nasselement:** Beim Eintauchen der Elektroden in den Elektrolyten wird sofort eine Spannung erzeugt, z. B. Kupfer-Zink in verdünnter Schwefelsäure.
- **Sekundär-Nasselement:** Vor der ersten Spannungsabgabe muss zunächst ein Ladungsvorgang erfolgen, z. B. bei Blei-Säure-Batterien, die als Kfz-Starterbatterien eingesetzt werden.

Entsorgung. Leere Batterien und zerstörte Akkumulatoren müssen als Sondermüll entsorgt werden. Sie dürfen nicht dem Hausmüll zugeführt werden. Für neue Kfz-Starterbatterien wird ein Pfand erhoben. Die Verrechnung erfolgt mit Rückgabe der alten Batterie.



3.4.3 Wärme

Werden zwei metallische Drähte aus unterschiedlichen Werkstoffen verbunden und die Verbindungsstelle erwärmt, stellt sich zwischen den freien Drahtenden eine Gleichspannung im Millivoltbereich ein. Die Höhe der Spannung ist von der Temperatur und der Werkstoffkombination abhängig. Elektrische Bauteile, die diese Art der Spannungserzeugung ausnutzen, werden als Thermoelemente bezeichnet (Bild 3.32). Sie können als Messwertgeber oder zur Temperaturfernmessung im Kraftfahrzeug eingesetzt werden:

- **Messwertgeber** zur Regelung von elektronischen Klimaanlage oder zur Steuerung elektrischer Kühlerlüfter,
- **Temperaturfernmessung** zur Kontrolle der Brennraumtemperatur.

Akkumulator
(lat.): Anhäuer,
Sammler

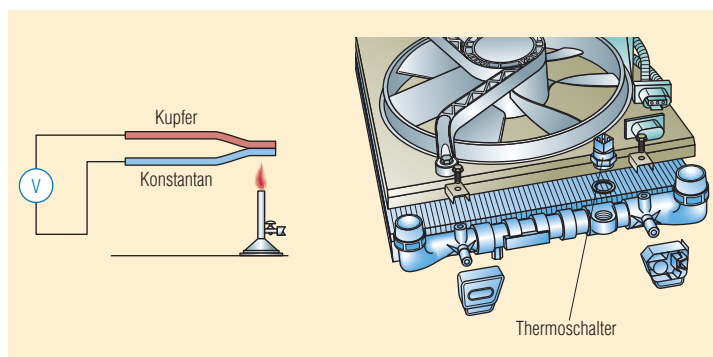


Bild 3.32 Thermoelement.

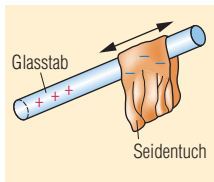


Bild 3.33
Entstehung der
Reibungselektrizität.

piedein (griech.):
drücken

3.4.4 Reibung

Reibt man mit einem Seidentuch über einen Glasstab, nimmt die Seide einzelne Außenelektronen aus der Glasoberfläche auf (Bild 3.33). Die Seide wird negativ und der Stab positiv geladen. Eine solche durch Aneinanderreiben zweier Isolatoren entstehende Elektrizität bezeichnet man als Reibungselektrizität.

Wird ein Kraftfahrzeug schnell auf trockener Fahrbahn bewegt, kann sich auch hier Reibungselektrizität in Form von statischer Aufladung bemerkbar machen. Diese kann beim Aussteigen durch einen leichten Stromschlag wahrgenommen werden.

Ebenso können sich statische Aufladungen durch Störungen im Radio bemerkbar machen. An Tankfahrzeugen können solche Aufladungen gefährlich sein, da ein Entladungsfunkel eventuell ausfließenden Kraftstoff entzünden kann.

3.4.5 Licht

Durch Lichteinwirkung wird ein Fotoelement zur Gleichspannungsquelle. Fotoelemente werden als Messwertgeber in elektronischen Steuerungen verwendet.

3.4.6 Kristallpressung

Die Kristallpressung wird auch als piezoelektrischer Effekt bezeichnet. In gewissen Kristallen, z. B. Siliciumoxid oder Blei-Zirkonat-Titan kommt es unter äußerer Krafteinwirkung zu Ladungsverschiebungen im Kristallgitter, die als geringe Oberflächenladung erfasst werden können. Schichtet man mehrere Kristallplättchen aufeinander, kann man durch die Ladungsaddition eine Sensorspannung erzeugen (Bild 3.34). Piezoelemente werden u. a. als Klopfensensoren und elektronische Tastschalter benutzt.

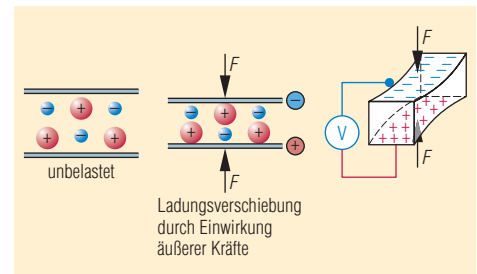


Bild 3.34 Piezoeffekt bei Kristallen.

3.5 Elektrische Bauelemente

3.5.1 Transformator

Der Transformator (Umwandler) verändert die eingehende Spannung in eine niedrigere oder höhere Ausgangsspannung.

Zwei Spulen mit unterschiedlichen Windungszahlen sind auf einem gemeinsamen weichmagnetischen Eisenkern angeordnet. Zwischen beiden Spulen besteht keine elektrisch leitende Verbindung (Bild 3.35).

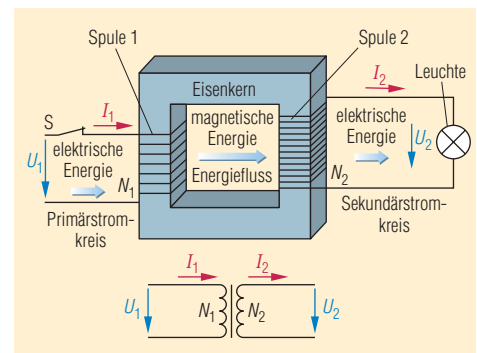


Bild 3.35 Prinzip des Transformators.

Arbeitsaufträge

1. Bei der induktiven Spannungserzeugung unterscheidet man das Generator- und Transformatorprinzip. Erklären Sie den Unterschied.
2. Warum entsteht bei der Spannungserzeugung durch Induktion stets eine Wechselspannung?
3. Kupfer und Zink bilden mit verdünnter Schwefelsäure ein galvanisches Element. Ermitteln Sie die Höhe der Spannung. Weisen Sie Plus- und Minuspol den entsprechenden Metallen zu. Welche Elektrode wird sich bei Betrieb zersetzen?
4. Wodurch kann man statische Aufladungen am Kfz verhindern?

Der Wicklung 1 (Eingangs- oder Primärwicklung) wird elektrische Energie zugeführt, der Wicklung 2 (Ausgangs- oder Sekundärwicklung) wird Energie entnommen. Die zugehörigen Spannungen und Ströme werden ebenfalls mit dem Zusatz „primär“ und „sekundär“ gekennzeichnet.

Durchfließt ein Wechselstrom die Primärwicklung, erzeugt er im Eisenkern ein in Stärke und Richtung ständig wechselndes Magnetfeld. Über den gemeinsamen Eisenkern durchsetzt das Magnetfeld auch die Sekundärwicklung. Dort wird eine Wechselspannung gleicher Frequenz erzeugt. Die Höhe der Sekundärspannung ist vom Verhältnis der Windungszahlen von Primär- zur Sekundärspule abhängig. Für den „idealen“ Transformator gelten bei angenommener verlustfreier Übertragung zwischen Primär- und Sekundärspule folgende Gesetzmäßigkeiten:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \ddot{U}$$

3.5.2 Kondensator

Ein Kondensator im Gleichstromkreis speichert elektrische Energie. Im Kraftfahrzeug wird er z. B. als Zündkondensator, als Entstörkondensator oder als Energiespeicher für die verzögerte Ausschaltung der Innenraumbeleuchtung benutzt.

Der Kondensator besteht aus 2 Metallplatten oder Metallfolien, die durch eine Isolierschicht voneinander getrennt sind (Bild 3.36). Diese Schicht nennt man Dielektrikum. Die Isolierschicht kann theoretisch durch einen Luftraum gebildet werden, aber in der Praxis werden besser isolierende Stoffe benutzt, z. B. Hartpapier, Keramik oder Quarzglas.

Ein Wickelkondensator benötigt wenig Raum und besitzt hohe Kapazitätswerte (Bild 3.37).

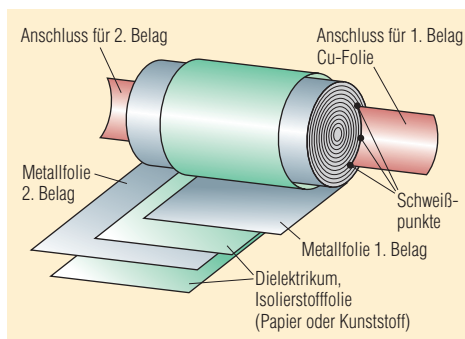


Bild 3.37 Schematischer Aufbau eines Wickelkondensators.

Ladevorgang (Bild 3.38). Wird der Kondensator an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen, fließt kurzzeitig ein Ladestrom. Dabei zieht der Pluspol die Elektronen aus der oberen Platte ab, der Minuspol drückt zusätzlich Elektronen auf die untere Platte. Der Kondensator ist geladen, er hat elektrische Energie gespeichert.

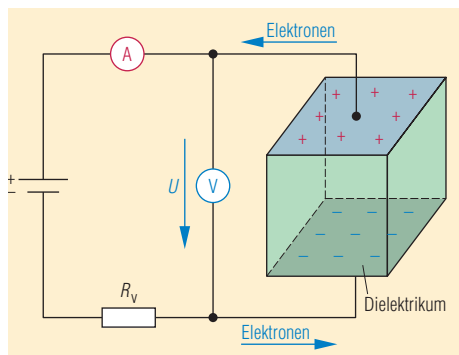


Bild 3.38 Aufladevorgang eines Kondensators.

Nach Abklemmen des Kondensators von der Spannungsquelle lässt sich an ihm mit einem Spannungsmessgerät eine Spannung nachweisen (Bild 3.39).

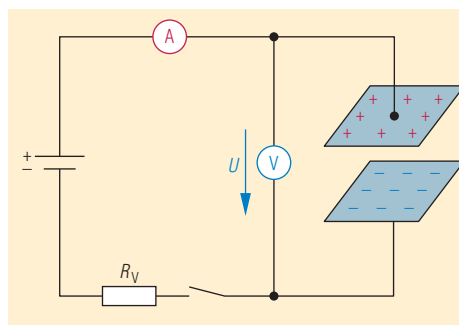


Bild 3.39 Aufgeladener Kondensator.

U_1 = Primärspannung in V,
 U_2 = Sekundärspannung in V,
 N_1 = Primärwindungszahl,
 N_2 = Sekundärwindungszahl,
 I_1 = Primärstromstärke in A,
 I_2 = Sekundärstromstärke in A,
 \ddot{U} = Übersetzungsverhältnis

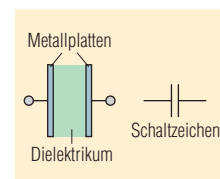


Bild 3.36 Aufbau eines Plattenkondensators.

Das Speichervermögen des Kondensators bezeichnet man als Kapazität.

Die Einheit der elektrischen Kapazität C ist das Farad [F].

Für die aufgenommene Ladungsmenge gilt:

$$Q = C \cdot U$$

Kondensatoren mit hohen Kapazitätswerten sollten stets über einen Vorwiderstand aufgeladen werden, da sonst zu Beginn des Ladungsvorganges ein zu großer Strom fließen kann, der den Kondensator möglicherweise beschädigt.

Q = Ladung in As,
 C = Kapazität in F,
 U = Spannung in V

Hinweis zur Unfallverhütung:
Geladene Kondensatoren sind für den Menschen gefährlich. Vor dem Arbeiten an elektrischen Netzen sind sie zu entladen.



- Die Kapazität des Kondensators ist umso höher
- je größer die dem Dielektrikum zugewandte Oberfläche der Metallplatte bzw. Folie ist,
 - je kleiner der Abstand der beiden Plattenladungen voneinander ist,
 - je größer die Isolierwirkung des verwendeten Isolierstoffes ist.

Entladevorgang (Bild 3.40). Der geladene Kondensator hat die Eigenschaft einer Spannungsquelle. Er arbeitet nahezu verschleißfrei und kann die gespeicherte elektrische Energie als elektrische Arbeit wieder abgeben, wenn ein Verbraucher angeschlossen wird. Im Wechselstromkreis werden Kondensatoren als Widerstände eingesetzt.

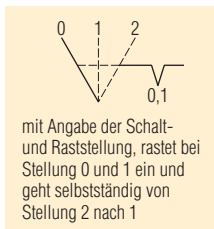


Bild 3.41
Rastschalter mit Taster.

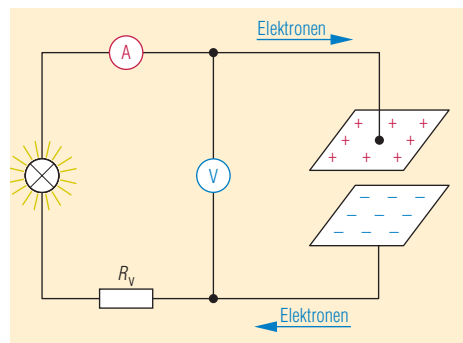


Bild 3.40 Entladevorgang eines Kondensators.

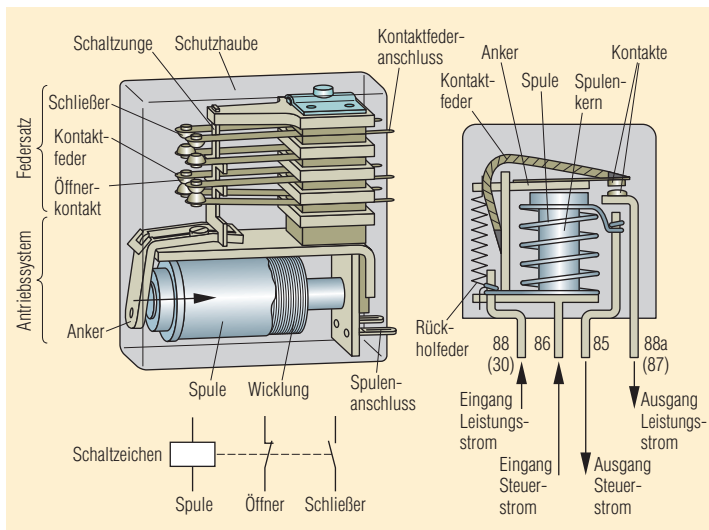


Bild 3.42 Aufbau eines Relais mit Darstellung des Schaltzeichens.

3.5.3 Schalter, Relais

Elektrische Schalter schließen und öffnen elektrische Stromkreise. Schalter sind nach DIN 40 900 genormt. Die Schalterstellung wird stets im unbetätigten Zustand dargestellt. Taster (Tastschalter) gehen nach Betätigung wieder selbstständig in ihre Ausgangslage zurück. Rastschalter (Stellschalter) verbleiben in der zuletzt geschalteten Stellung. Eine Kombination aus Rastschalter und Taster ist z. B. der Zündschalter (Bild 3.41).

In Stellung 0 und 1 verbleibt der Schalter (Rastfunktion), von der Stellung 2 geht er selbstständig in die Position 1 zurück (Tastfunktion). Außerdem können Schalter nach ihrer Betätigungsart und Aufgabe unterschieden werden.

- Betätigungsart: mechanisch, pneumatisch, hydraulisch, thermisch.
- Aufgabe: Öffner (öffnet einen Stromkreis), Schließer (schließt einen Stromkreis), Wechsler (öffnet einen Stromkreis und schließt gleichzeitig einen anderen), Mehrstellenschalter (öffnet oder schließt mehrere Stromkreise).

Schalter dürfen nur die für sie bestimmten Höchstströme schalten. Diese werden meist auf den Schaltern angegeben.

Relais sind elektromagnetische Schalter (Bild 3.42). Ein Steuerstromkreis baut in einer Spule ein elektromagnetisches Feld auf. Bei Erregung zieht die Spule einen Anker an, der die Kontakte des Arbeitsstromkreises schließt. Mit kleinen Steuerströmen (bis 0,3 A) können große Arbeitsströme (bis 100 A) geschaltet werden.

Relais werden möglichst nahe bei den zu schaltenden elektrischen Geräten eingebaut, damit die Arbeitsstromleitung kurz gehalten werden kann (Bild 3.43). So werden zu starke Erwärmung und Spannungsverluste verhindert. Aufgrund seiner Funktion bezeichnet man das Relais auch als fernbetätigten Schalter. Die Klemmenbezeichnungen am Relais sind genormt. Ein Relais besitzt mindestens 4 Anschlüsse, 2 für den Steuerstromkreis und mindestens 2 für den Arbeitsstromkreis.

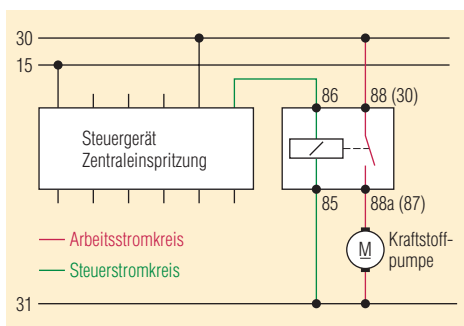


Bild 3.43 Relaischaltung der Kraftstoffpumpe über das Steuergerät der Zentraleinspritzung, stark vereinfachte Darstellung.

3.5.4 Leitung, Sicherung

Das **Bordnetz** eines Kraftfahrzeugs ist meist als Einleitersystem ausgeführt.

Der Elektronenfluss im Leitungssystem führt zu einer Temperaturerhöhung des Leiters durch Reibungswärme. Die Höhe der Erwärmung hängt vom Verhältnis der Stromstärke zum Leiterquerschnitt ab. Man bezeichnet diesen Quotienten als Stromdichte J .

Die Einheit der Stromdichte J ist A/mm^2 .

Nachdem Leiterwerkstoff und Stromstärke feststehen, wird der Leiterquerschnitt anhand der höchstzulässigen Stromdichte bestimmt. Die maximale Dauerstrombelastung darf nicht überschritten werden. Die Abhängigkeit von Stromdichte, Dauerstrombelastung und Leiterquerschnitt zeigt Tabelle 3.5.

Nach der Normung gilt für Kupferleitungen:

Leiterquerschnitt in mm^2	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95
max. Dauerstrombelastung in A	10	20	25	35	50	65	85	120	160	200	250	300
zulässige Stromdichte in $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$	10			6			4					

Tabelle 3.5

Zulässige Stromdichte und maximale Dauerstrombelastung bei entsprechenden Leiterquerschnitten in Kupfer.

Lichtleitung	Scheinwerferleitung	Ladeleitung	Steuerleitung	Starterleitung
$< 15 \text{ W} = 0,1 \text{ V}$ $> 15 \text{ W} = 0,5 \text{ V}$	0,3 V	0,4 V	0,5 V (vom Schalter bis Relais)	0,5 V

Tabelle 3.6

Zulässiger Spannungsabfall U_v bei 12 V Betriebsspannung (Auszug).

Für die mathematische Bestimmung des Leiterquerschnittes empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

1. Überschlägige Berechnung des Leitungsquerschnittes mithilfe der Formel:

$$A = \frac{I \cdot \rho \cdot l}{U_v}$$

2. Vergleich der Querschnittsfläche mit der maximalen Dauerstrombelastung.
3. Überprüfung der zulässigen Stromdichte nach

$$J = \frac{I}{A}$$

4. Falls die Punkte 2 oder 3 außerhalb der zulässigen Werte sind, größeren Querschnitt wählen und erneut überprüfen.

Durch den Leiterwiderstand geht auch ein Teil der elektrischen Energie für den Verbraucher verloren. Die Differenz zwischen der Netzspannung (Batteriespannung) und der am Verbraucher anliegenden Spannung ergibt den Spannungsverlust U_v . Bei zu hohem Spannungsverlust ist die Funktion der nachgeschalteten Verbraucher nicht gewährleistet. Bei der Dimensionierung des Leiterquerschnittes muss der maximal zulässige Spannungsabfall für die jeweilige Verbraucherleitung berücksichtigt werden (Tabelle 3.6).

Einleitersystem:

Die Verbraucher werden über eine stromführende Leitung versorgt, die Rückleitung dagegen erfolgt über die Fahrzeugkarosserie (Masse).

Das so genannte Multiplex-System reduziert den Kabelnetzumfang. Gleichartige Verbraucher werden mit einer gemeinsamen Stromleitung versehen. Zudem sind die entsprechenden Schalter und Verbraucher über eine serielle Datenleitung miteinander verbunden. Bei Betätigung des Schalters wird ein digitales Signal in die Datenleitung gespeist, das von einer Elektronik am Verbraucher erkannt wird und diesen an die Stromleitung schaltet.

Sicherung. Die im Kraftfahrzeug benutzten Sicherungen schützen das Leitungsnetz vor unzulässig hoher Erwärmung und somit vor einem möglichen Kabelbrand (Leitungssicherung). Vereinzelt werden auch elektronische Geräte und Bauteile durch Sicherungen geschützt (Gerätesicherung).

Es werden immer Schmelzsicherungen verwendet (Bild 3.44). Sie bestehen aus einem Draht, der durch die Erwärmung bei zu großen Strömen schmilzt. Die gebräuchlichste Leitungsschutzsicherung ist die Flachstecksicherung. Der Schmelzdraht ist in einem Kunststoffkopf einge-

lassen. Durch die großflächigen Steckfüße bleibt auch bei Erschütterungen der Übergangswiderstand zwischen Sicherung und Leitungsnetz gering. Bei Keramiksicherungen kann gelegentlich ein hoher Übergangswiderstand auftreten, wenn die Sicherungskappen im Laufe der Zeit den Kontakt verlieren und die Kontaktstelle verschmort. Bei den Gerätesicherungen ist der Schmelzdraht in ein Glasröhrchen eingelassen.

Die Nennströme, für die die jeweiligen Sicherungen ausgelegt sind, werden auf den Sicherungen genannt oder durch eine Farbcodierung angegeben.

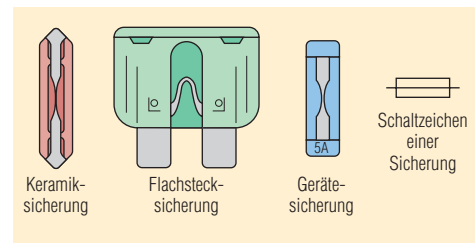
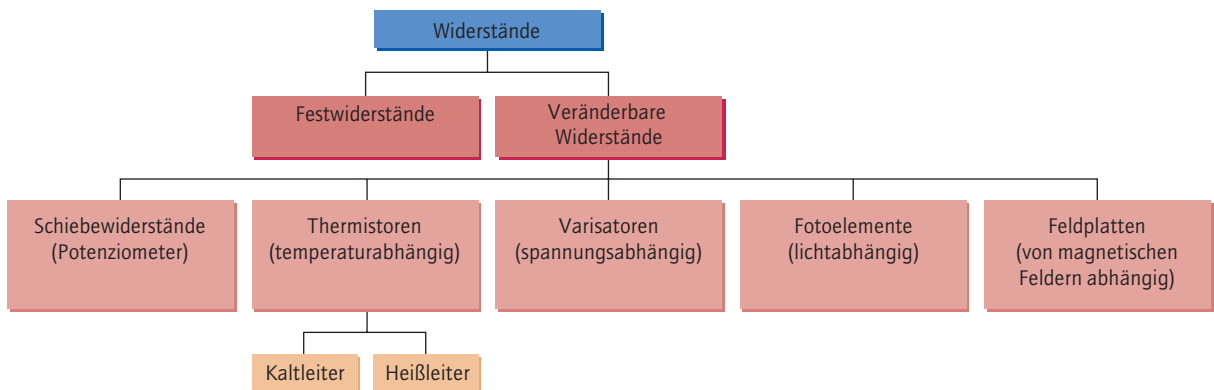


Bild 3.44 Schmelzsicherungen im Kfz.

3.5.5 Widerstand



Widerstände haben die Aufgabe, die Stromstärke bzw. Spannung in einem Stromkreis zu verändern. Grundsätzlich unterscheidet man

- Festwiderstände, sie besitzen einen durch ihre Herstellung bedingten festen Widerstandswert, und
- veränderbare Widerstände, bei denen durch verschiedene Einflussfaktoren der Widerstandswert verändert werden kann.

Veränderbare Widerstände unterscheidet man je nach verändernder Größe.

Schiebewiderstände, Drehwiderstände (Potenziometer). Mit ihnen lassen sich stufenlos Widerstandswerte zwischen null und dem Gesamtwiderstand einstellen. Über einen beweglichen Schleifer wird die Abgriffsstelle des Stromes an einem Widerstandsdraht verändert (Bild 3.45). Potenziometer werden z. B. zur Helligkeitsveränderung der Armaturenbeleuchtung eingebaut.

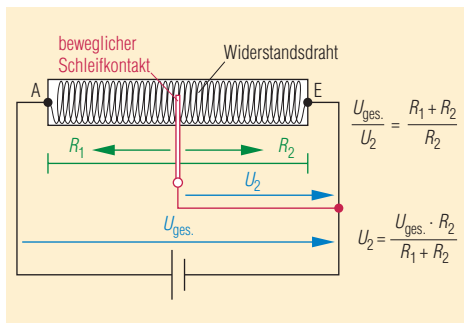


Bild 3.45 Aufbau und Funktion eines Potenziometers.

Mithilfe von Potenziometern kann man den Drehwinkel an mechanischen Bauteilen erfassen. Der Schleifkontakt entspricht dem Drehwinkelgeber, er ist über eine Welle mit dem drehbaren Bauteil gekoppelt. Zwischen Anfang und Ende des Widerstandsdrahtes liegt die maximale Spannung an. Von der Abgriffsstelle des Schleifkontaktes bis zum Endanschluss des Widerstandsdrahtes stellt sich eine Teilspannung ein. Ihre Höhe ist von der Stellung des Schleifers abhängig. Sie kann Werte zwischen null und der Betriebsspannung annehmen. Die anliegende Teilspannung wird von einem Steuergerät erfasst und ausgewertet. So wird z. B. beim elektronisch beeinflussten Vergaser die Drosselklappenstellung mithilfe des Drosselklappenpotenziometers ermittelt (Bild 3.46).

Thermistoren verändern ihren Widerstandswert in Abhängigkeit von der Temperatur und werden u. a. zur Messung von Luft-, Öl- und Wassertemperaturen benutzt (Bild 3.47). Bezüglich ihres Widerstandsverhaltens unterscheidet man

- **Kaltleiter:** Im kalten Zustand leiten Sie den Strom besser als im heißen, mit zunehmender Erwärmung wird ihr Widerstandswert größer. Sie werden als PTC-Widerstände bezeichnet. Die meisten Metalle sind Kaltleiter.
- **Heißeiter:** Im heißen Zustand leiten sie den Strom besser als im kalten, mit zunehmender Erwärmung nimmt ihr Widerstandswert ab. Sie werden als NTC-Widerstände bezeichnet. Die meisten Halbleiterwerkstoffe sind Heißeiter.

Varistoren (spannungsabhängige Widerstände). Bei Erhöhung der anliegenden Spannung nimmt der Widerstandswert von Varistoren (auch als VDR bezeichnet) plötzlich ab. Die Stromstärke am Varistor steigt entsprechend stark an. Varistoren werden dort verwendet, wo hohe Spannungsspitzen auftreten und abgeleitet werden sollen, z. B. bei Abschaltungen in

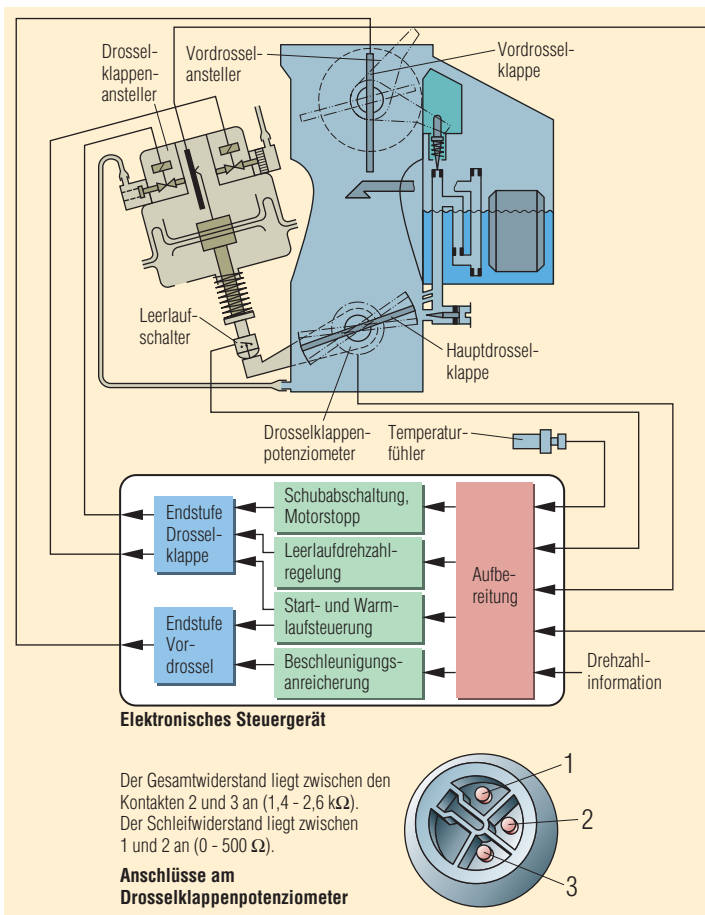


Bild 3.46 Elektronisch beeinflusster Vergaser.

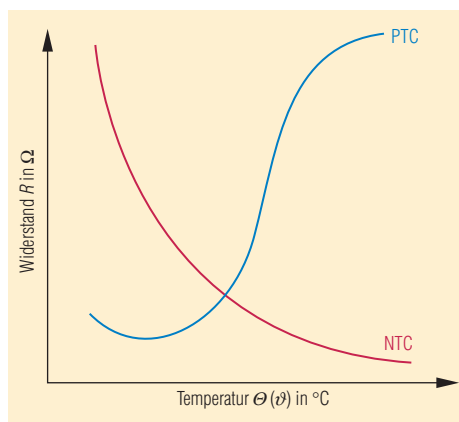


Bild 3.47 Temperaturabhängigkeit der Widerstandswerte von PTC- und NTC-Widerständen.

PTC: Positiver
Temperatur
Coeffizient

NTC: Negativer
Temperatur
Coeffizient

Stromkreisen mit großen Induktivitäten (Spulenkreise). Der Varistor muss parallel zu der Spannungsquelle geschaltet werden, die die Spannungsspitze erzeugt. Auch zur Spannungsstabilisierung können Varistoren eingesetzt werden.

VDR = Voltage
Dependent **R**esistor
(engl.): spannungsabhängiger Widerstand

LDR = Light De-
pendent Resistor
(engl.): lichtabhän-
giger Widerstand

MDR = Magne-
tical Dependent
Resistor (engl.):
vom Magnetismus
abhängiger Wider-
stand

Fotoelemente (lichtabhängige Widerstände).
Lichtstrahlen führen dem Halbleiter Energie zu und setzen damit eine größere Anzahl von Ladungsträgern frei. Der Widerstand nimmt mit zunehmender Beleuchtungsstärke ab. Fotoelemente werden auch als LDR bezeichnet.

Feldplatten. Unter dem Einfluss magnetischer Felder erhöht sich der Widerstand ungefähr um den Faktor 10. Feldplatten werden auch als MDR bezeichnet und werden z. B. als berührungslose Näherungsschalter für Steuerungszwecke eingesetzt.

Über die wichtigsten Schaltzeichen von Widerständen informiert Bild 3.48.

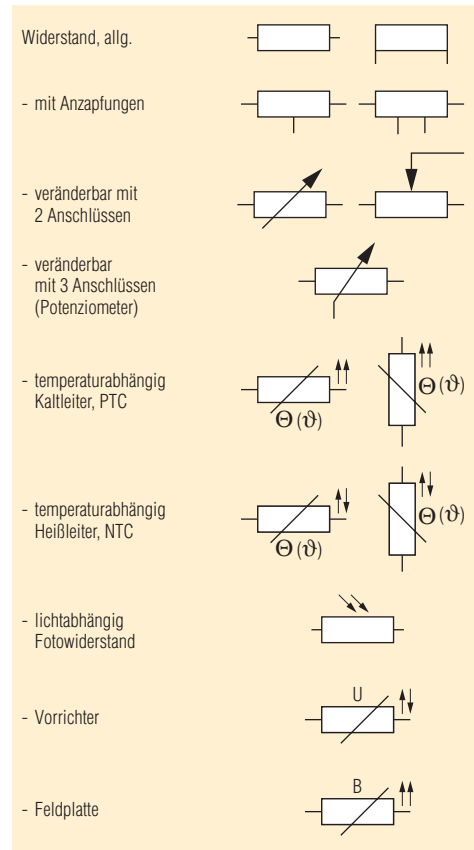


Bild 3.48 Schaltzeichen von Widerständen.

Arbeitsaufträge

1. Die Primärspule eines Trafos ist an einen Gleichstromkreis angeschlossen. Unter welchen Voraussetzungen wird in der Sekundärspule eine Spannung erzeugt?
2. Die Sekundärspannung eines Trafos soll dreimal so hoch sein wie die Primärspannung. Welche Aussage trifft auf N_1 und N_2 zu? Wie ist das Übersetzungsverhältnis?
3. Beschreiben Sie den Auflade- und Entladevorgang eines Kondensators.
4. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Entladezeit eines Kondensators und seiner Kapazität?
5. Warum werden Relais auch als fernbetätigte Schalter bezeichnet?
6. Eine Leitung aus Kupfer ist 1,7 m lang. Mit ihr sollen zwei Abblendlichtbirnen von je 55 W geschaltet werden. Berechnen Sie den benötigten Leiterquerschnitt in mm^2 .

3.6 Schutzmaßnahmen

Das Arbeiten an elektrischen Anlagen und der Umgang mit elektrischem Strom erfordern größte Sorgfalt und großes Verantwortungsbewusstsein. Bei Berührung des elektrischen Stromes erhält man einen „elektrischen Schlag“, da der Strom von der Spannungsquelle durch den Körper des Menschen fließt. Mögliche Fol-

gen können Verbrennungen, Verkrampfungen, Herz- und Atemstillstand sein. Diese Auswirkungen werden unter dem Begriff „physiologische Wirkung“ des elektrischen Stromes zusammengefasst. Länger einwirkende Stromstärken von 10 mA bis 25 mA können für den Menschen bereits schädlich sein.



3.6.1 Schutzmaßnahmen gegen die Gefahren des elektrischen Stromes

- Vor Instandsetzungsarbeiten an der elektrischen Anlage des Kraftfahrzeugs muss immer der Minuspol der Batterie abgeklemmt werden. Dies schützt den Monteur und die elektronischen Bauteile vor Kurzschlüssen.
- Beim Ausbau der Batterie erst den Minuspol, dann den Pluspol abklemmen. Der Einbau erfolgt in umgekehrter Reihenfolge. (Würde zunächst der Pluspol abgeklemmt, könnte das Werkzeug bei der Lösbewegung die Karosserie berühren, es käme zu einem Kurzschluss.)
- Durchgebrannte Sicherungen niemals mithilfe metallischer Leiter überbrücken. Es besteht Brandgefahr.
- Durchgebrannte Sicherungen stets durch neue gleicher Ampèrezahl ersetzen.
- Auf Beschädigung von Leitungen, Steckern und Steckverbindungen achten. Erkannte Mängel sind vorschriftsgemäß zu beheben.
- Grundsätzlich soll nicht bei laufendem Motor an der Zündanlage gearbeitet werden. Bei kontaktgesteuerten Anlagen sind nur die Ströme des Sekundärkreises für den Menschen gefährlich. Bei elektronischen Zündsystemen ist auch der Primärstromkreis lebensgefährlich. In ihm werden Spannungen bis 400 V aufgebaut. Die Ströme des Primärstromkreises liegen auch am Diagnosestecker, am Drehzahlmesseranschluss und an den zugehörigen Steckverbindungen an.
- Werden elektrische Geräte für Reparaturen am Kraftfahrzeug benutzt (Bohrmaschine, Winkelschleifer, Schweißgerät, ...), dürfen diese keine elektrischen Mängel aufweisen. Die Zuleitung, der Stecker, die benutzte Steckdose und das isolierende Gehäuse dürfen nicht beschädigt sein.
- Werden zur Verlängerung der Zuleitung Kabeltrommeln benutzt, so muss das Kabel immer komplett abgewickelt werden. Sonst besteht Brandgefahr in der Trommel.
- Defekte Geräte sofort spannungsfrei machen und dafür sorgen, dass diese umgehend repariert werden und nicht mehr von anderen Mitarbeitern benutzt werden können.

3.6.2 Stromdurchgang durch den menschlichen Körper

Beim Berühren des elektrischen Stromes bildet der menschliche Körper einen Teilwiderstand des elektrischen Stromkreises (Bild 3.49). In den meisten Fällen fließt der Strom von der Hand (Berührungsstelle) durch den Körper über die Füße ab. Aber auch andere Stromwege sind möglich, z. B. von Hand zu Hand. Eine lebensgefährliche Gefährdung liegt immer dann vor, wenn der Stromweg über das Herz führt.

Die Größe des Körperwiderstandes (bis ca. 20 k Ω) ist von vielen Faktoren abhängig (Körperbau, Konstitution, körperlicher und seelischer Zustand, ...). Er lässt sich daher nur näherungsweise bestimmen.

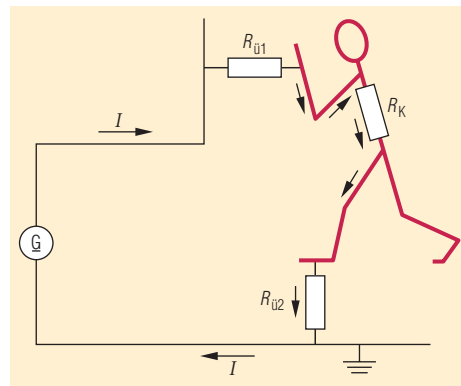
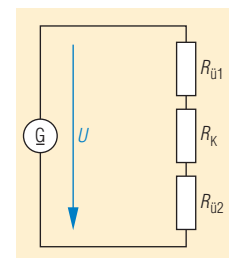


Bild 3.49 Der Stromdurchgang durch den menschlichen Körper.



Reihenschaltung von Körperwiderstand und Übergangswiderständen.

Arbeitsaufträge

1. Vielleicht haben Sie schon die physiologische Wirkung des elektrischen Stromes am eigenen Körper erfahren müssen. Berichten Sie darüber.
2. Besprechen Sie in der Klasse die Schutzmaßnahmen gegen die Gefahren des elektrischen Stromes. Sicher können Sie den Maßnahmenkatalog durch eigene Erfahrungen aus Ihrem beruflichen Umfeld ergänzen.
3. Warum stellt eine nicht abgewinkelte Kabeltrommel bei Stromfluss eine Brandgefahr dar?
4. Berechnen Sie die Höhe der Grenzspannung, bei der der Stromdurchgang gefährlich werden kann. Dabei wird den Gesamtwiderstand des menschlichen Körpers mit $6.000\ \Omega$ angenommen.
5. Warum ist das Arbeiten am elektrischen Strom mit nassen Händen oder auf feuchtem Untergrund gefährlicher als bei trockener Umgebung?

Sehr unterschiedlich können auch die Höhen der beiden Übergangswiderstände an der Stromein- und Stromaustrittsstelle sein. Sie werden beeinflusst durch:

- Feuchtigkeit, z. B. Handschweiß,
- Dicke der Haut,
- Schuhe,
- Feuchtigkeit des Bodens.

Lebensgefahr besteht bei Körperströmen über 50 mA. Diese können bei Berührung mit Wechselspannungen über 50 V und Gleichspannungen über 120 V erreicht werden. Für Kinder und ältere Menschen gelten niedrigere Grenzwerte.

3.6.3 Maßnahmen zur ersten Hilfe

- Stromkreis sofort abschalten,
- verunglückte Person sofort aus dem Gefahrenbereich bergen,
- Atmung und Herzschlag kontrollieren,
- wenn erforderlich einen Notarzt/ Arzt verständigen oder die verunglückte Person zum Arzt begleiten,
- Erstversorgung durch „Erste-Hilfe-Maßnahmen“, Wundversorgung, stabile Seitenlage.

3.7 Einführung in die Halbleitertechnik

Die elektrische Leitfähigkeit der Halbleiterwerkstoffe nimmt eine Zwischenstellung zwischen denen der Leiter und Isolatoren ein. Gemeinsam

ist allen Halbleiterwerkstoffen, dass ihre Elemente vier Außenelektronen (Valenzelektronen) besitzen. Für eine Sättigung ihrer Außenschale benötigen sie noch vier weitere Außenelektronen (Beispiel Silicium, Bild 3.50). Bei einem gleichmäßigen Kristallaufbau erhalten sie diese scheinbar von den vier angrenzenden Nachbaratomen, mit denen sie sich ihre Außenelektronen teilen.

Alle Außenelektronen sind am Kristallaufbau beteiligt. Für eine Stromleitung stehen keine freien Elektronen zur Verfügung, der Halbleiterwerkstoff ist ein reiner Nichtleiter. Dies gilt allerdings nur für Temperaturen im Bereich des absoluten Nullpunktes ($-273\ ^\circ\text{C}$).

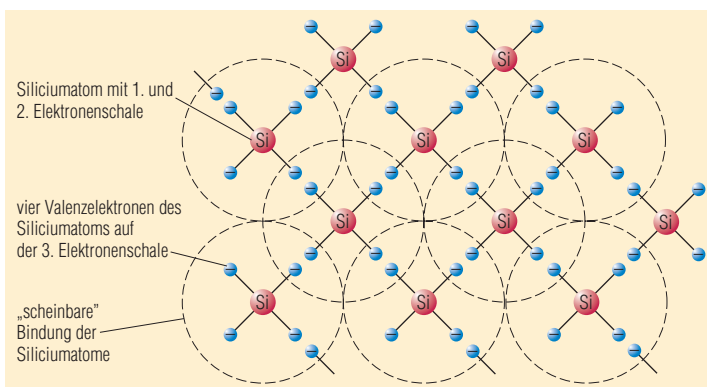


Bild 3.50 Kristalliner Aufbau von reinem Silicium.

Bei Raumtemperatur ist die Wärmeenergie bereits so groß, dass einzelne Elektronen aus der Bindung herausgelöst werden und ihren Atomverband verlassen. Dort bleiben „Löcher“ zurück, in deren Bereich die positive Ladung des Atomkerns überwiegt. In diesem Zusammenhang spricht man auch von „positiven Löchern“.

Bei angelegter Spannung werden die freien Elektronen zu einer gerichteten Bewegung durch den Leiter veranlasst, ein Strom fließt. Der Halbleiterwerkstoff ist zu einem elektrischen Leiter geworden (Bild 3.51).

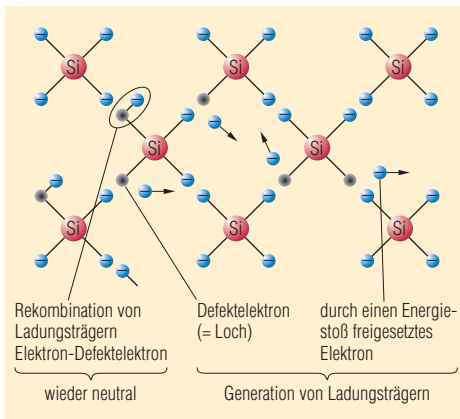


Bild 3.51 Entstehung von positiven Löchern und freien Elektronen in einem Siliciumkristall bei Raumtemperatur.

Reine Halbleiterwerkstoffe sind nur begrenzt in einem elektrischen Stromkreis einsetzbar, sie besitzen folgende Nachteile:

- Die elektrische Leitfähigkeit ist stark temperaturabhängig.
- Die Anzahl freier Elektronen schwankt sehr stark, da diese bei ihrer Bewegung durch den Leiter von den „positiven Löchern“ angezogen werden. Dabei füllen sie vereinzelt die Löcher wieder auf und stehen nicht mehr für die Stromleitung zur Verfügung.

Für den elektrischen Gebrauch werden reine Halbleiterwerkstoffe mit anderen Werkstoffen „verunreinigt“ (dotiert). Zur Dotierung werden entweder Elemente mit drei Außenelektronen (Gallium und Indium) oder mit fünf Außenelektronen (Arsen und Phosphor) benutzt.

Vorgang des Dotierens. Der Halbleiterwerkstoff wird auf Rotglut erwärmt und mit dem gasförmig vorliegenden Dotierungsmaterial zusammengebracht. Dabei dringen (diffundieren) die Atome des Gases in die Oberfläche des Grundwerkstoffes ein und werden dort in das Kristallgitter eingebaut. Die so verunreinigte Schicht misst eine Dicke von ungefähr 20 μm . In diesem Bereich entstehen gewollte Störstellen im kristallinen Aufbau. Durch die Dotierung erhalten die Halbleiterwerkstoffe neue elektrische Eigenschaften.

p-Leiter. In das Grundgitter des Halbleitermaterials werden Fremdatome mit nur drei Valenzelektronen eingefügt, z. B. Indium (Bild 3.52). An diesen Stellen fehlen also Elektronen im Gitteraufbau. Die Fehlstellen hinterlassen „Löcher“, die vierte Bindungsstelle kann nicht geschlossen werden. Da im Umkreis dieser Löcher die positive Ladung der Protonen im Atomkern überwiegt, spricht man von „positiven Löchern“, was zu der Bezeichnung p-Leiter führt.

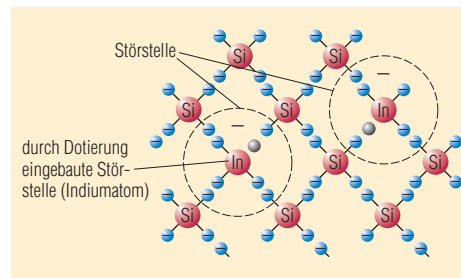


Bild 3.52 Mit Indium dotiertes Silicium.

n-Leiter. In das Grundgitter des Halbleitermaterials werden Fremdatome mit 5 Valenzelektronen eingefügt, z. B. Arsen (Bild 3.53). Es werden also mehr Elektronen eingebracht, als benötigt würden. Diese stehen als freie Elektronen für eine Stromleitung zur Verfügung. Da an den Bindungsstellen die negative Ladung überwiegt, spricht man von einem n-Leiter.

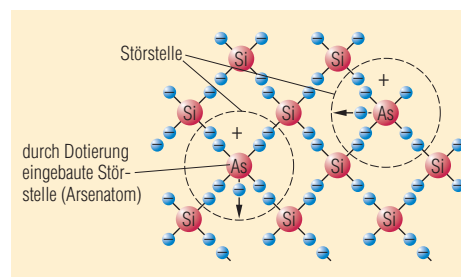


Bild 3.53 Mit Arsen dotiertes Silicium.

Bei Halbleiterbauelementen werden p-Schichten und n-Schichten auf unterschiedliche Arten kombiniert. Die Grenzfläche, die sich zwischen einer p- und n-Schicht ergibt, bezeichnet man als PN-Übergang.

PN-Übergang. An der Grenzfläche eines p- und n-Leiters wandern die überschüssigen Elektronen des n-Leiters in die grenznahen positiven Löcher des p-Leiters. Im Grenzbereich entsteht eine ladungsträgerfreie Schicht, die von weiteren Elektronen nicht überwunden werden kann. Diese Schicht bezeichnet man als Sperrschicht. Somit bleiben in den Bereichen außerhalb der Sperrschicht Löcher und Elektronen weiterhin getrennt (Bild 3.54).

Die zwangsweise Trennung von Ladung bedeutet aber auch, dass hierdurch eine elektrische Spannung aufgebaut wird. Sie wird als Diffusions- oder Schleusenspannung bezeichnet. Ihre Höhe ist von dem benutzten Halbleitergrundwerkstoff abhängig, bei Silicium beträgt sie ungefähr 0,7 V.

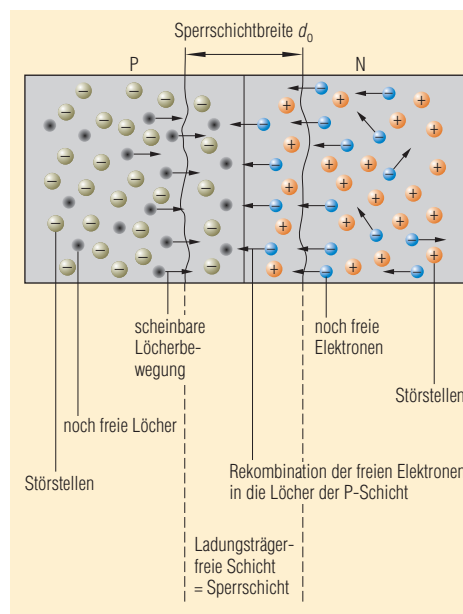


Bild 3.54 Darstellung des PN-Übergangs.

Wird von außen an einen PN-Übergang eine elektrische Gleichspannung angelegt, so wirkt sich diese auf die Breite der Sperrschicht aus. Dabei spielt die gewählte Polarität der Spannungsquelle eine große Rolle.

Pluspol an p-Schicht, Minuspol an n-Schicht.

Vom Minuspol ausgehend werden Elektronen auf die Sperrschicht zugetrieben. Der Pluspol zieht Elektronen aus der p-Schicht ab. Mit stetiger Erhöhung der äußeren Spannung wird der „Druck“ der Elektronen auf die Sperrschicht immer größer. Hat die von außen angelegte Spannung die Höhe der inneren Diffusionsspannung überschritten, wird die Sperrschicht leitend. Die angelegte Spannung ist in Durchlassrichtung geschaltet (Bild 3.55).

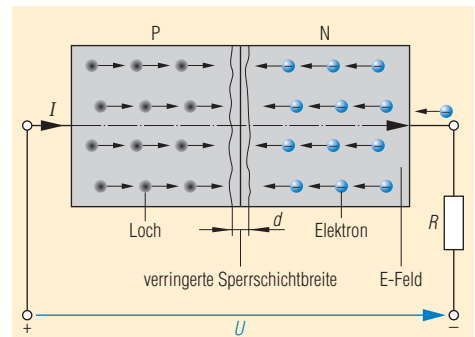


Bild 3.55 PN-Übergang in Durchlassrichtung.

Pluspol an n-Schicht, Minuspol an p-Schicht.

Vom Minuspol treten Elektronen in den Leiter ein und füllen die Löcher zunächst im Bereich der Sperrschicht aus. Vom Pluspol ausgehend werden Elektronen aus der n-Schicht abgezogen. Der Bereich der Sperrschicht vergrößert sich. Bei langsamer Erhöhung der äußeren Spannung nimmt die Breite der Sperrschicht immer mehr zu. Die angelegte Spannung sperrt den Übergang, ein Stromfluss ist nicht möglich (Bild 3.56).

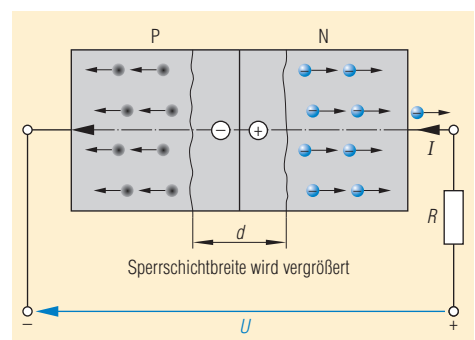


Bild 3.56 PN-Übergang in Sperrrichtung.

Erst bei noch weiterer Erhöhung der Spannung werden die Kräfte auf die Valenzelektronen so groß, dass Bindungen in der Sperrschicht aufreißen. Dadurch werden schlagartig Leitungselektronen freigesetzt. Die äußere Spannung, die das schlagartige Fließen eines messbaren Stromes in Sperrrichtung bewirkt, nennt man Durchbruchspannung. Sie kann zur Zerstörung des Bauteils führen.

Die Sperrspannung gibt an, mit welcher Spannung ein Halbleiterelement in Sperrrichtung betrieben werden kann, ohne dass die Durchbruchspannung erreicht wird. Die Höhe der Sperrspannung wird maßgeblich durch das verwendete Grundmaterial bestimmt, bei einer Silicium-Diode beträgt sie ca. 350 V.

Elektronische Bauteile kombinieren PN-Übergänge auf verschiedene Arten und nutzen somit sperrende und durchlassende Wirkung des dotierten Halbleiterwerkstoffes aus.

Arbeitsaufträge

1. Unterscheiden Sie den Kristallaufbau reiner Halbleiterwerkstoffe bei Raumtemperatur und bei $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Begründen Sie, warum reine Halbleiter sowohl Isolatoren als auch elektrische Leiter sein können.
3. Erklären Sie den Vorgang des Dotierens.
4. Wodurch unterscheiden sich p- und n-Leiter?
5. Skizzieren Sie den PN-Übergang
 - a) ohne angelegte äußere Spannung,
 - b) in Durchlassrichtung geschaltet,
 - c) in Sperrrichtung geschaltet.
6. Erklären Sie den Unterschied zwischen Durchbruch- und Sperrspannung.

3.8 Elektronische Bauelemente

3.8.1 Diode

Dioden sind Halbleiter-Bauteile mit einem PN-Übergang (einer Grenzschicht). Ihr Grundwerkstoff ist meist Silicium. Dargestellt wird die Diode durch eine Pfeilspitze, die die Durchlassrichtung für den Stromfluss angibt (technische Stromrichtung). Daraus ergibt sich die Zuordnung der Anode und Kathode für den Vorwärtsstrom (Bild 3.57).

Die Funktion einer Diode verdeutlicht der in Tabelle 3.7 (Seite 116) beschriebene Versuch.

Gleichrichterdiode. Die einfachste Gleichrichterschaltung ist die Einpulserschaltung (Bild 3.58). Die Diode wird zwischen dem Ausgang einer Wechselspannung (hier: Trafo) und einem Lastwiderstand geschaltet. Am Ausgang des Trafos liegt eine sinusförmige Wechselspannung U_2 an. Während der positiven Halbwelle der Wechselspannung liegt ihr Pluspol an der Anodenseite der Diode und ihr Minuspol an der Kathode an. Die Diode ist in Durchlassrichtung geschaltet, ein Strom fließt.

Während der negativen Halbwelle tauscht die Polarität an der Anode bzw. Kathode. Die Diode ist in Sperrrichtung geschaltet, es fließt kein Strom.

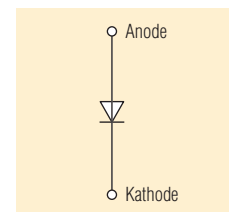


Bild 3.57
Schaltzeichen einer Gleichrichterdiode.

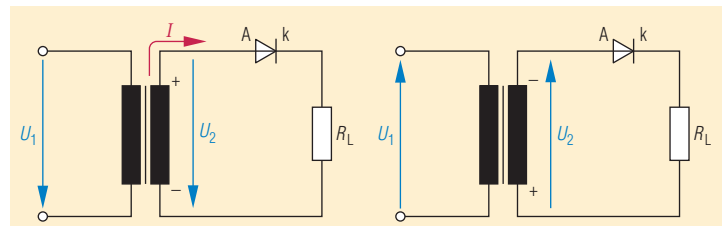


Bild 3.58 Wechselschaltung mit Gleichrichterdiode (Einpulserschaltung).

Versuchsaufbau		
Versuchsdurchführung	An einer einstellbaren Spannungsquelle wird die Spannung von 0 V langsam bis auf 12 V erhöht. Die Diode wird in Sperrrichtung betrieben.	An einer einstellbaren Spannungsquelle wird die Spannung von 0 V langsam bis auf 12 V erhöht. Die Diode wird in Durchlassrichtung betrieben.
V Versuchsergebnis	Die Lampe leuchtet nicht. Es fließt praktisch kein Strom. Die angelegte Spannung liegt weit unter der Durchbruchspannung.	Ab einer Spannung von ca. 0,7 V fließt ein Strom. Die Lampe leuchtet, die Schleusenspannung der Diode ist überschritten.
Rückschluss für den Einsatz der Diode	Die Halbleiterdiode lässt den Strom nur in einer Richtung passieren. Diese "Ventilwirkung" erklärt ihren Einsatz als Gleichrichterdiode von Wechsel- und Drehströmen.	
Tabelle 3.7	Versuchsbeschreibung zur Funktion einer Diode.	

Die Wechselspannung des Transformators ist gleichgerichtet worden. Es entsteht eine pulsierende Gleichspannung (Bild 3.59), da nur eine Halbwelle der Wechselspannung ausgenutzt werden kann.

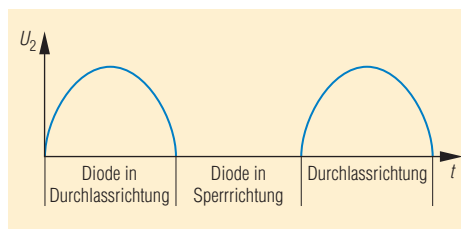


Bild 3.59 Pulsierender Spannungsverlauf bei einer Einpulschaltung mit Gleichrichterdiode.

Zur Ausnutzung beider Halbwellen der Wechselspannung wird eine Zweipulschaltung benötigt. Der Strom weist gegenüber der Einpulschaltung eine höhere Leistung und eine geringere Welligkeit der Gleichspannung auf (Bild 3.60 und Tabelle 3.8).

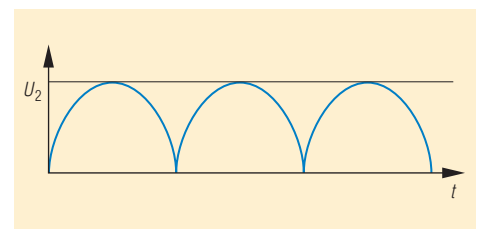


Bild 3.60 Spannungsverlauf bei einer Zweipulschaltung mit 4 Gleichrichterioden.

Aufbau einer Zweipulsschaltung	Abwechselnd sind zwei Dioden in Durchlassrichtung und zwei in Sperrrichtung geschaltet.	
Versuchsaufbau	Die positive Halbwelle liegt an der Klemme 1 des Trafos an, die negative Halbwelle am Punkt 2.	Bei der negativen Halbwelle liegt an Klemme 2 Plus und an Punkt 1 Minus an.
bildliche Darstellung		
Stromfluss	Der Strom fließt über die Diode 2, den Lastwiderstand R_L und die Diode 3 zur Klemme 2. Die Dioden 1 und 4 sperren den Strom.	Der Strom fließt über die Diode 4, den Lastwiderstand R_L und die Diode 1 zur Klemme 1. Die Dioden 2 und 3 werden in Sperrrichtung betrieben.
V Versuchsergebnis	Unabhängig von der Stromrichtung am Trafo ist die Stromrichtung im Lastwiderstand R_L in beiden Fällen gleich.	
Tabelle 3.8	Aufbau und Funktion einer Zweipulsschaltung.	

Siebschaltung. Für einen einwandfreien Betrieb elektronischer Geräte müssen pulsierende Spannungen und Ströme geglättet werden. Dies kann man durch eine Siebschaltung erreichen (Bild 3.61). Dazu wird ein Kondensator parallel zum Lastwiderstand geschaltet. Ist die Diode leitend (positive Halbwelle), wird der Kondensator aufgeladen und über den Lastwiderstand fließt ein Strom. Sperrt die Diode (negative Halbwelle), liefert der Kondensator Strom und Spannung für den Lastwiderstand, indem er sich entlädt.

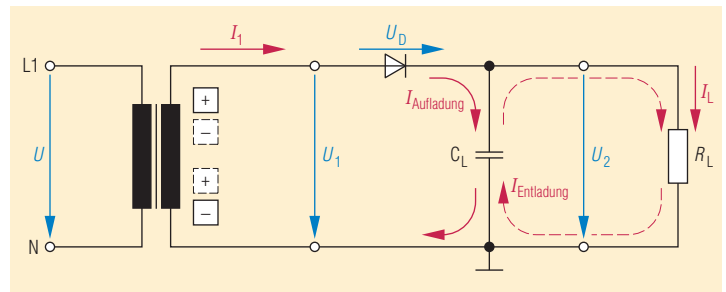


Bild 3.61 Siebschaltung.

Freilaufdiode. Durch Induktionsvorgänge entstehen beim Abschalten des Steuerstromkreises an einem Relais hohe Spannungsspitzen. Diese können die Betriebsspannung weit übersteigen und elektronische Bauteile zerstören. Um dies zu verhindern wird eine Freilaufdiode parallel zur Spule geschaltet (Bild 3.62), sodass beim Öffnen des Steuerstromkreises auftretende Induktionsspannungen direkt am Relais kurzgeschlossen werden. Überspannungen werden in Wärme umgewandelt.

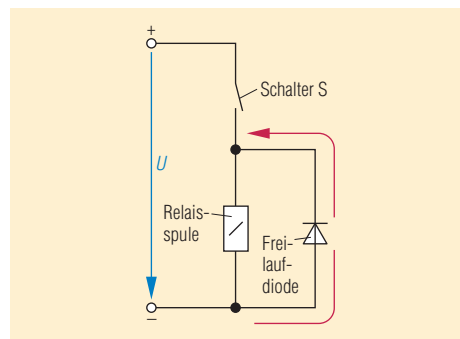
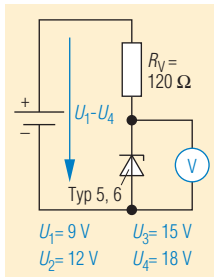


Bild 3.62 Relais mit Freilaufdiode.



Z-Diode. Sie ist eine spezielle Siliciumdiode, die zur Kennzeichnung den Anfangsbuchstaben ihres Entdeckers G. M. Zener trägt. Z-Dioden verhalten sich in Durchlassrichtung wie Gleichrichterioden, d. h. nach Überschreiten der Diffusionsspannung von 0,7 V leiten sie den Strom.

Beim Betrieb in Sperrrichtung fließt zunächst bei geringer Spannung auch nur ein vernachlässigbar kleiner Strom. Die Diode arbeitet im Sperrbereich. Wird jedoch eine bestimmte Spannung (Zenerspannung oder Durchbruchspannung) überschritten, wird die Diode schlagartig leitend. Somit steigt der Sperrstrom sehr schnell auf große Werte an.

Im Gegensatz zu Gleichrichterioden sind Z-Dioden für den Dauerbetrieb im Durchbruchbereich ausgelegt und werden fast immer in Sperrrichtung betrieben. Es gibt Z-Dioden mit unterschied-

lich hohen Durchbruchspannungen, die in einem sehr engen Streubereich (sehr genau) arbeiten. Durch Z-Dioden darf nur ein geringer Strom fließen, andernfalls würden sie thermisch überlastet und zerstört werden. Daher benötigt jede Z-Diode zur Strombegrenzung einen Vorwiderstand. Das nebenstehende Bild zeigt das Spannungsverhalten einer Z-Diode im Stromkreis.

Beispiel: In den Stromkreis ist eine Z-Diode vom Typ 5,6 eingebaut, d. h. die Zenerspannung der Diode beträgt $U_Z = 5,6$ V. Die Spannung U der Spannungsquelle wird von 9 V in vier Schritten auf 18 V erhöht. Dabei wird die Spannung U_Z an der Diode gemessen. Die Spannung U_V am Vorwiderstand und die Stromstärke I der Schaltung werden berechnet. Der Vorwiderstand hat eine Größe von 120 Ω.

Ergebnis:

Spannung U in V	Spannung U_Z in V	Spannung U_V in V	Stromstärke I in mA
9	5,6	3,4	28,3
12	5,6	6,4	53,3
15	5,6	9,4	78,3
18	5,6	12,4	103,3

Unabhängig von der Betriebsspannung liegt die Z-Spannung stets bei 5,6 V. Im Kraftfahrzeug werden Z-Dioden zur

- Spannungsstabilisierung,
- Spannungsbegrenzung oder
- als Sollwertgeber eingesetzt.

Die Bordnetzspannung eines Kraftfahrzeugs unterliegt gewissen Schwankungen, die zu Betriebsstörungen der elektrischen und elektronischen Geräte führen können. Mithilfe einer Z-Diode kann eine Spannungsstabilisierung am Verbraucher (Lastwiderstand) erreicht werden, wenn diese zu ihm parallel geschaltet wird (Bild 3.63). Der Gesamtstrom I teilt sich hinter dem Vorwiderstand in die Teilströme I_Z und I_L auf. Verändert sich die Belastung, dann verändert sich auch die Verteilung der Ströme. Steigt z. B. I_L an, dann sinkt I_Z und umgekehrt. Die Z-Diode wirkt wie ein regelbarer Widerstand.

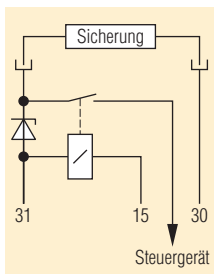


Bild 3.64
Spannungsbegrenzung durch das Zusammenwirken von einem Relais mit einer Z-Diode.

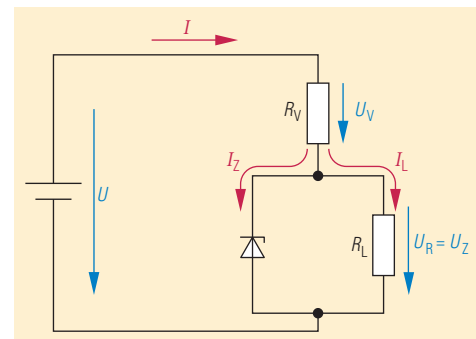


Bild 3.63 Spannungs-Stabilisierungsschaltung mit einer Z-Diode.

Bei der Spannungsbegrenzung arbeitet eine Z-Diode in Verbindung mit einem Relais (Bild 3.64). Ist die vorhandene Spannung höher als die Durchbruchspannung der Z-Diode, wird diese leitend. Es fließt ein Kurzschlussstrom, der die vorgeschaltete Sicherung zerstört.

Beim Sollwertgeber entspricht der anzuzeigende Sollwert des Gebers der Zenerspannung der Diode. Ist der Sollwert erreicht, fließt über die Diode ein Strom, der durch entsprechende Bauteile erfasst und ausgewertet wird.

Fotodiode. Sie wird in Sperrichtung in den Stromkreis eingebaut. Bei Lichteinfall wird der Sperrschichtwiderstand der Diode geringer und der Strom in rückwärtiger Richtung steigt stark an. Fotodioden werden als lichtabhängige Widerstände eingesetzt, z. B. als „Niederschlagsmessgerät“ in einem Regensensor (Bild 3.65).

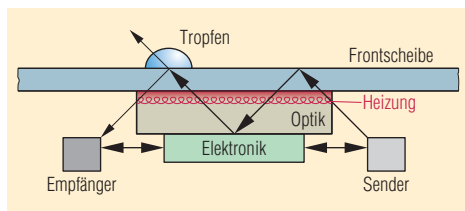


Bild 3.65 Funktionsprinzip eines Regensensors.

Der Regensensor nutzt die Gesetzmäßigkeiten der optischen Lichtbrechung aus. Eine Reihe kleiner Leuchtdioden senden Infrarotstrahlen von innen auf die Windschutzscheibe. Bei trockener und sauberer Scheibe wird die ausgestrahlte Lichtmenge von der Scheibe vollkommen reflektiert und auf einen Empfänger (Fotodiode) geleitet. Wassertropfen und Schmutzpartikel auf der Außenscheibe dagegen absorbieren und zerstreuen einen Teil der Lichtstrahlen. Je höher der Verschmutzungsgrad und die Wassermenge auf der Scheibe sind, desto weniger Licht gelangt zum Empfänger. Außerdem registriert die Sensor-Optik die Helligkeit der Umgebung. Alle Sensordaten werden durch ein Steuergerät ausgewertet, welches die Wischfrequenz regelt. Bei gleicher Benetzung der Scheibe läuft der Wischer bei Dunkelheit eher an als am Tage.

Der Fahrer hat die Möglichkeit die Empfindlichkeit des optischen Sensors seinen Bedürfnissen anzupassen. Ein Heizelement im Bereich der optischen Lichtmessung verhindert im Winter eine Vereisung der Scheibe.

Leuchtdiode (Lumineszenzdiode). Sie wird auch als Licht aussendende Diode oder kurz als „LED“ bezeichnet.

Leuchtdioden (Bild 3.66) werden in Durchlassrichtung betrieben und wandeln elektrische Energie in Lichtenergie um. Sie sind stets mit einem Vorwiderstand in Reihe geschaltet. In der hier dargestellten Ausführung ist der Vorwiderstand Bestandteil der Leuchtdiode. Ihre Lichtleistung ist gering, sodass sie meist nur als Anzeileuchte eingesetzt werden. Ihre Leuchtfarbe ist abhängig vom eingesetzten Halbleiterwerkstoff und reicht von gelb über orange, rot und grün bis blau.

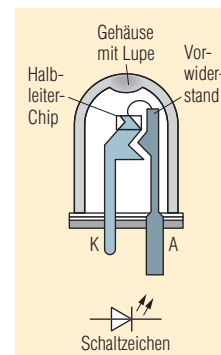


Bild 3.66 Aufbau einer Leuchtdiode mit Schaltzeichen.

Fotoelement (Bild 3.67). Durch Lichteinwirkung wird ein Fotoelement zur Gleichspannungsquelle. Sein prinzipieller Aufbau entspricht dem einer Diode. Bei Lichteinfall treten Elektronen aus einer Halbleiterschicht, meist Selen, in eine Kontaktschicht aus Platin ein. Zwischen der Platin- und der Selschicht wird eine Gleichspannung messbar. Fotoelemente werden als Messwertgeber in elektronischen Steuerungen verwendet.

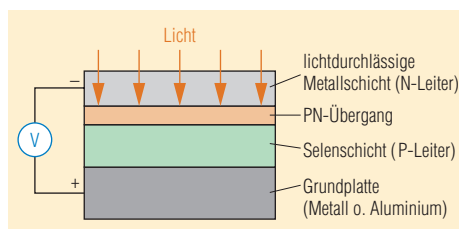


Bild 3.67 Schematische Darstellung eines Selen-Fotoelementes.

Fotoelemente mit größeren lichtempfindlichen Flächen werden als Solarzellen bezeichnet.

3.8.2 Transistor

Transistoren können mit kleinen Steuerströmen große Arbeitsströme schalten. Sie werden daher als Schalter oder Leistungsverstärker eingesetzt. Transistoren haben drei oder mehr Anschlüsse. Eine Übersicht bietet das Struktogramm auf Seite 120.

Bipolare Transistoren. Zur Funktion werden Ladungsträger beider Polaritäten (Löcher und Elektronen) benötigt.

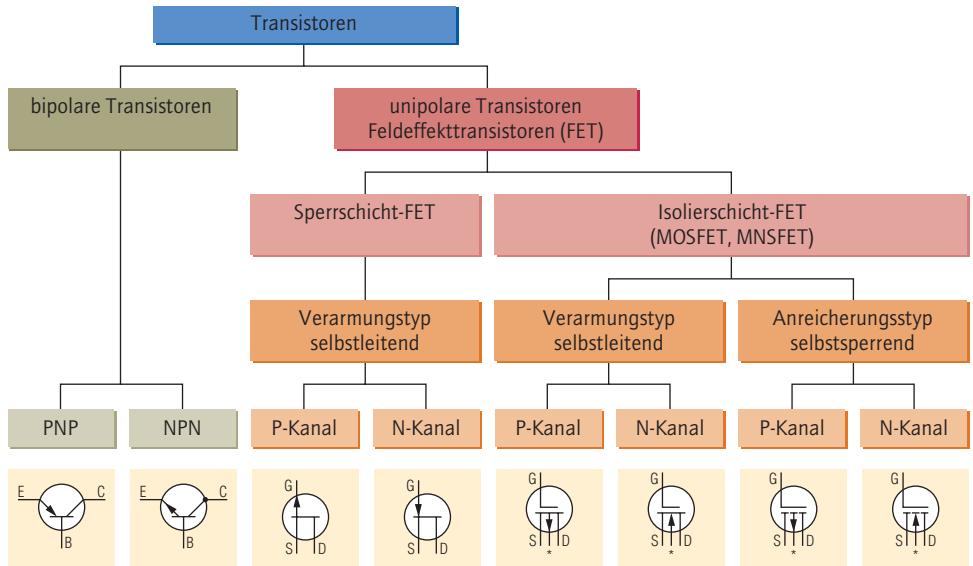
Dieser Transistor hat drei Anschlüsse:

- Emittor „E“. Dieser sendet Elektronen aus.
- Basis „B“. Sie bildet die mittlere Schicht des Transistors. Sie steuert die Aussendung der Elektronen.
- Kollektor „C“. Dieser sammelt die Elektronen ein.

emittieren:
aussenden

LED: light-emitting-diode

B = Basis
 E = Emitter
 C = Kollektor
 S = Source
 D = Drain
 G = Gate



* Bulk-Anschluss (keine Anschlussbezeichnung üblich)

Je nach Schichtfolge unterscheidet man PNP-Transistoren oder NPN-Transistoren (Bild 3.68).

Bauart	Schichtfolgen	Reihenschaltung von Einzeldioden	Schaltzeichen
PNP-Transistor			
NPN-Transistor			

Bild 3.68 Schichtfolge, Diodendarstellung und Schaltzeichen von Transistoren.

Wird an die Emitter-Kollektor-Strecke eine Spannung angelegt, kann zunächst kein Strom fließen, da immer eine „Diode“ in Sperrrichtung arbeitet. Erst wenn an die Basis-Emitter-Strecke eine weitere Spannung angelegt wird, wird der Transistor leitend. Daher müssen bei einem Transistor zwei Stromkreise unterschieden werden (Bild 3.69):

- der Steuerstromkreis, die Basis-Emitter-Strecke,
- der Last- oder Schaltstromkreis, die Emitter-Kollektor-Strecke.

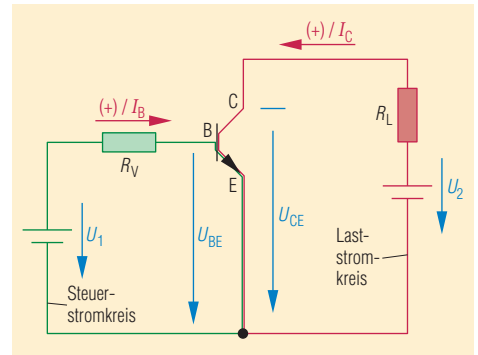


Bild 3.69 Ströme, Spannungen und Stromkreise eines Transistors.

Damit der Transistor seine Funktion im Stromkreis erfüllen kann, muss die richtige Polarität der Anschlüsse beachtet werden. Im Transistor-Schaltzeichen gibt die Pfeilrichtung der Basis-Emitter-Strecke die technische Stromrichtung an. Die Spannungsangaben U_{BE} und U_{CE} beziehen sich auf den Emitter-Anschluss als Bezugselektrode, was durch das tiefer gestellte E verdeutlicht wird. Alle in den Transistor hineinfließenden Ströme erhalten ein positives Vorzeichen, die herausgehenden Ströme ein negatives. Die Basis-Emitter-Strecke muss in Durchlassrichtung, die Basis-Kollektor-Strecke in Sperrrichtung gepolt sein. Dies bedeutet, dass ein NPN-Transistor leitend wird, wenn die Basis positiver ist als der Emitter, bei einem PNP-Transistor muss die Basis negativer sein. Transistoren können als elektronische Schalter und Verstärker verwendet werden.

Transistor als Schalter (Bild 3.70). Ist der Schalter S geschlossen, fließt ein Strom über den Vorwiderstand an den Basisanschluss des Transistors. Der Widerstand R_V begrenzt die Höhe des Basisstromes (Steuerstrom). Der Transistor wird leitend und ein Arbeitsstrom fließt über den Kollektor zum Emitter. Der Stromkreis für die Leuchtdiode ist geschlossen. Beim Betätigen des Schalters wird der Steuerstromkreis unterbrochen. Im Transistor bewirkt dies die Sperrung des Arbeitsstromes vom Kollektor zum Emitter. Die Diode leuchtet nicht mehr.

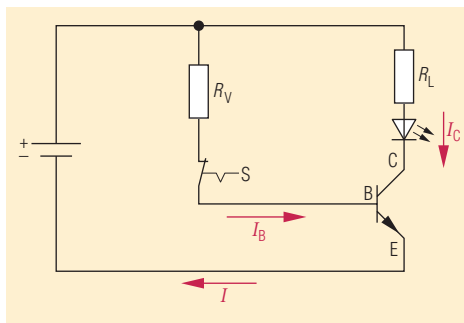


Bild 3.70 NPN-Transistor als Schalter.

Bild 3.71 stellt dieselbe Grundsaltung mit einem PNP-Transistor dar. Die Vorgänge sind mit denen eines NPN-Transistors vergleichbar.

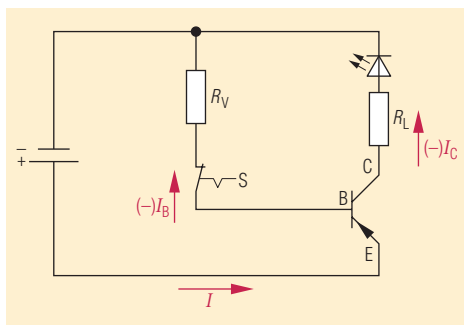


Bild 3.71 PNP-Transistor als Schalter.

Die Verwendung des Transistors als Schalter hat folgende Vorteile:

- hohe Schaltfrequenz,
- verschleißfrei,
- keine Funkenstrecke,
- kleiner Steuerstrom, hoher Arbeitsstrom (vgl. Relaischaltung),
- geräuschlos.

Transistor als Verstärker. Die Verstärkerwirkung eines Transistors wird durch den Versuchsaufbau in Bild 3.72 verdeutlicht. Er liefert folgende Messergebnisse:

U_{BE} in V	U_{CE} in V	I_B in mA	I_C in A	U_L in V
0,83	22,5	50	2,75	27,5
1,00	10,0	100	4,00	40,0

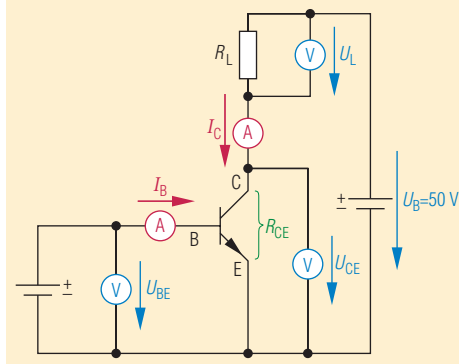


Bild 3.72 Versuchsaufbau zur Ermittlung der Verstärkerwirkung eines Transistors.

Spannungsverstärkung: Eine kleine Veränderung der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} von 0,17 V bewirkt eine große Erhöhung der Spannung U_L am Lastwiderstand von 12,5 V. In dem Maße, wie sich die Spannung U_L erhöht, nimmt die Spannung U_{CE} ab. Der Lastwiderstand R_L und der Kollektor-Emitter-Widerstand des Transistors R_{CE} bilden einen Spannungsteiler. Die Spannungsaufteilung wird durch die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} gesteuert. Ein Transistor lässt sich daher auch als variabler Widerstand einsetzen.

Stromverstärkung: Die Erhöhung des Basisstromes I_B um 50 mA bewirkt eine Erhöhung des Kollektorstromes I_C um 1,25 A.

Leistungsverstärkung: Vergleicht man die Änderung der Steuerleistung $\Delta U_{BE} \cdot \Delta I_B$ mit der Änderung der Ausgangsleistung $\Delta U_{CE} \cdot \Delta I_C$, so ergibt sich eine Leistungsverstärkung um das 1,838fache.

Reicht die Verstärkungswirkung eines Transistors nicht aus, so können zwei (Darlington-Schaltung, Bild 3.73, Seite 122) oder mehr Transistoren hintereinander geschaltet werden. Die Gesamtverstärkung berechnet sich aus der Multiplikation der Verstärkungen der Einzeltransistoren.

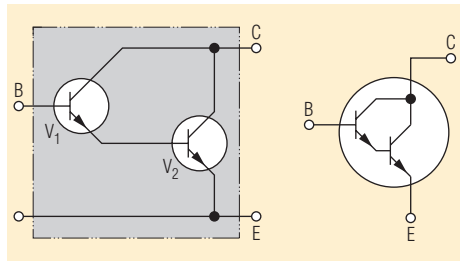


Bild 3.73 Darlington-Schaltung mit zwei NPN-Transistoren.

Unipolare Transistoren (Feldeffekt-Transistoren). Hierbei handelt es sich um Halbleiterbauelemente, bei denen die elektrische Leitfähigkeit eines Kanals durch ein elektrisches Feld gesteuert werden kann. Allen unipolaren Transistoren ist gemeinsam, dass sie nur mit Ladungsträgern einer Sorte (Löcher oder Elektronen) arbeiten. Es gibt zwei Arten:

- Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren und
- Isolierschicht-Feldeffekt-Transistoren.

Sperrschicht-Feldeffekt-Transistor. Die prinzipielle Funktion dieser Bauart wird am Beispiel des P-Kanal-Typs verdeutlicht (Bild 3.74).

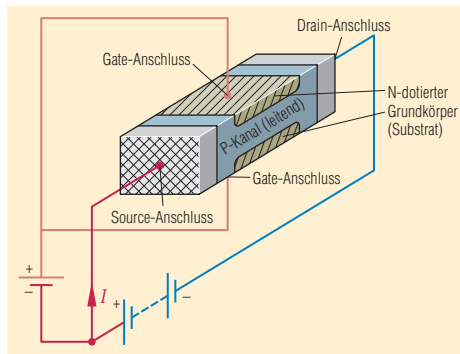


Bild 3.74 Aufbau eines Feldeffekt-Transistors, P-Kanal-Typ.

Bei der Anschlusskennzeichnung haben sich die amerikanischen Bezeichnungen durchgesetzt:
Source = Quelle, Zufluss; **Drain** = Senke, Abfluss;
Gate = Tor, Steuerelektrode

Ein P-Kanal-Sperrschicht-Feldeffekt-Transistor besteht aus einem N-dotierten Grundkörper (Substrat), in dem eine dünne, P-leitende Schicht (Kanal) eingelagert ist. Die Enden werden mit einer Gleichspannungsquelle verbunden. Der Strom tritt am Source-Anschluss in den leitenden Kanal des Kristalls ein und am Drain-Anschluss wieder aus. Der Stromfluss wird durch ein elektrisches Feld gesteuert. Dieses Feld entsteht durch den Potenzialunterschied einer über die Steuerelektrode angelegten positiven Spannung an den beiden Gate-Anschlüssen und dem Kanal bzw. dem Substrat.

Der Strom wirkt auf die beiden seitlich eingebrachten N-Zonen. Der Kanal zwischen Source und Drain besteht durch die Dotierung dauerhaft (selbstleitend), erst eine Erhöhung der Spannung an der Steuerelektrode führt dazu, dass die beidseitigen elektrischen Felder die Ladungsträgerbahn im Inneren des Kristalls einschnüren und damit den Stromfluss verringern (Verarmungstyp). Die Spannung an der Steuerelektrode steuert somit den Strom zwischen Source und Drain. Bei diesem Typ muss die Steuerelektrode gegenüber dem Source-Anschluss ein positives Potenzial aufweisen. Da nur ein geringer Sperrstrom zwischen Gate und Kanal vorliegt, haben diese Transistoren einen sehr großen Einganswiderstand (10 M Ω bis 100 M Ω), die Steuerung verläuft fast leistungslos.

Isolierschicht-Feldeffekt-Transistor. Bei diesen Transistoren werden wesentlich höhere Einganswiderstände (10¹⁵ Ω) als bei den Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren erzielt. Die Ursache liegt darin, dass die Steuerelektrode durch eine dünne Quarzschicht vom Kanal isoliert ist und nicht durch einen P-N-Übergang.

Die Isolierschicht kann aus Siliciumoxid (MOS = metal oxide semiconductor) wie im Bild 3.75 dargestellt oder aus Siliciumnitrid (MNS = metal nitride semiconductor) hergestellt sein. Hieraus ergeben sich die Bezeichnungen MOSFET bzw. MNSFET. Das Substrat ist meist bereits im Inneren des Transistors mit dem Sourceanschluss verbunden, bei einigen Typen ist es als vierter Anschluss (Bulk) herausgeführt. Isolierschicht-Transistoren gibt es sowohl als selbstleitenden Verarmungstyp wie auch als selbstsperrenden Anreicherungstyp. Im zweiten Fall ist der Kanal zwischen Source und Drain nicht dotiert, ohne angelegte Gate-Spannung fließt kein Drainstrom. Diese Ausführung wird vorwiegend als trägheitsloser Schalter in Digitalschaltungen verwendet; er hat in den meisten Anwendungen den bipolaren Transistor verdrängt. Der Verarmungstyp wird meist zur linearen Verstärkung genutzt.

Die prinzipielle Funktion der Isolierschicht-Transistoren wird nun am Beispiel eines selbstsperrenden P-Kanal-MOS-Transistors beschrieben (Bild 3.75).

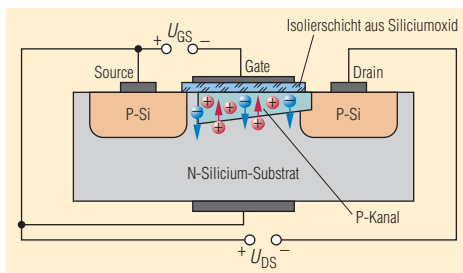


Bild 3.75 Aufbau eines selbstsperrenden P-Kanal-MOS-Transistors.

Die P-N-Übergänge sperren, solange keine Spannung an der Gate-Elektrode anliegt. Zwischen Source und Drain fließt kein Strom. Wird der negative Pol einer Spannungsquelle am Gate angeschlossen, werden im N-Gebiet unter der Elektrode die Elektronen in das Kristallinnere verdrängt. An der Oberfläche entstehen Löcher. Es entsteht eine schmale P-leitende Schicht unter der Oberfläche (P-Kanal). Zwischen Source und Drain kann jetzt ein Strom fließen. Die Gatespannung wirkt nur über eine isolierende Oxidschicht, es fließt kein Strom im Steuerkreis.

Durch Vertauschen der Dotierung gibt es neben dem PMOS-Transistor auch den NMOS-Transistor. Werden beide Transistorausführungen paarweise im selben Silicium-Chip eingesetzt, bezeichnet man diese als CMOS-Transistoren (Complementary MOS Transistors, Bild 3.76). Die Vorteile von CMOS-Transistoren (niedrige Verlustleistung, hohe Störsicherheit, niedrige Versorgungsspannung) haben dazu geführt, dass heute mehr als 80 % aller IC in CMOS-Technik gefertigt werden.

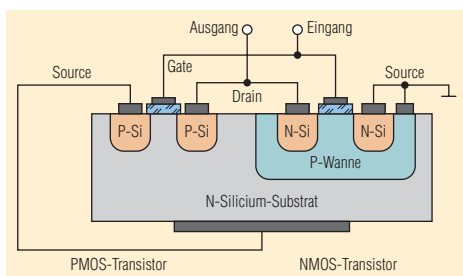


Bild 3.76 CMOS-Transistor.

5.8.3 Thyristor

Der Thyristor ist ein steuerbares Halbleiterbauelement. Er wird in der Leistungselektronik zum Umformen, Steuern und Regeln eingesetzt. In der Kraftfahrzeugtechnik arbeitet er z.B. als elektronischer Schalter in der Hochspannungskondensatorzündung. Mit einem Thyristor lassen sich Ströme von mehr als 1000 A und Spannungen von weit über 5000 V schalten.

Hochspannungskondensatorzündung → S. 278

Ein Thyristor (Bild 3.77) besteht aus vier Halbleiterschichten, die in der Reihenfolge PNPN miteinander kombiniert sind. Somit ergeben sich innerhalb des Thyristors drei PN- bzw. NP-Übergänge. An den beiden außenliegenden Halbleiterschichten sind Anode und Kathode angeschlossen. Wird daran eine Spannung angelegt, sperrt mindestens ein Übergang. Dies ist von der gewählten Polarität unabhängig.

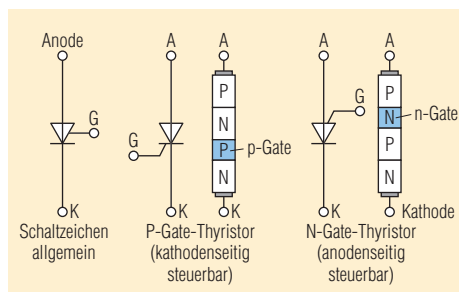


Bild 3.77 Thyristor: Schaltzeichen und Bauarten.

Ein Thyristor besitzt noch einen weiteren Anschluss, den Steueranschluss (Gate). Das Gate ist je nach Ausführung entweder mit der inneren N-Schicht oder P-Schicht verbunden. Abhängig davon unterscheidet man kathodenseitig und anodenseitig steuerbare Thyristoren.

Damit ein Thyristor elektrisch leitend wird, benötigt er über das Gate einen kurzen Stromstoß durch einen anliegenden Steuerstrom. An einem P-Gate muss der Spannungsimpuls positiv sein, an einem N-Gate entsprechend negativ (Bild 3.78, Seite 124).

Ist die Leitfähigkeit eines Thyristors erreicht, bleibt sie auch nach Wegfall des Steuerstroms bestehen. Der Thyristor bleibt so lange leitend, wie ein Mindestarbeitsstrom (Haltestrom) über die vier Halbleiterschichten fließt. Der Arbeitsstrom am Thyristor ist im Gegensatz zum Transistor nicht veränderbar. Zur Abschaltung eines Thyristors muss der Arbeitsstrom kurzzeitig unterbrochen oder eine Umpolung der Anodenspannung durchgeführt werden.

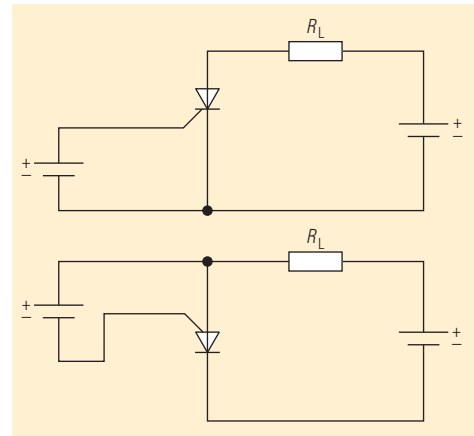


Bild 3.78 Einbau eines Thyristors in den Stromkreis mit angelegter Steuerspannung.

3.9 Integrierte Schaltungen (IC)

Bei integrierten Schaltungen werden viele elektrische und elektronische Bauelemente (Dioden, Transistoren, Kondensatoren, Widerstände und Thyristoren) auf kleinstem Raum untrennbar elektrisch miteinander verbunden. Die einzelnen Bauelemente besitzen keine äußeren Anschlüsse. Da sie einzeln nicht benutzt werden können, werden sie als Schalt- oder Funktionselement bezeichnet.

Vorteile integrierter Schaltungen:

- kleine Abmessungen,
- hohe Leistungsfähigkeit,
- große Zuverlässigkeit,
- geringere Herstellungskosten.

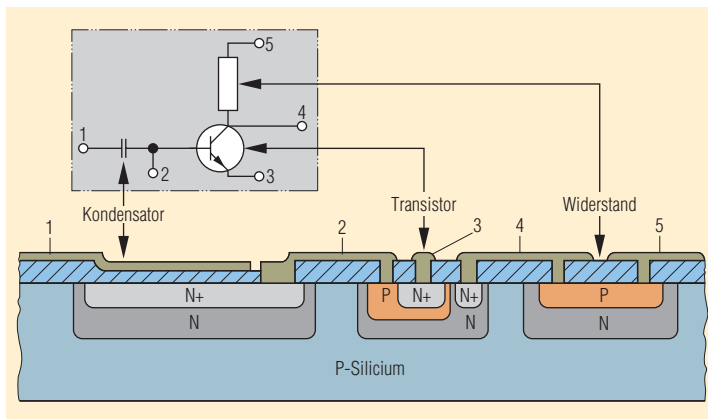


Bild 3.79 Einfach monolithisch integrierte Schaltung.

Schichtschaltung. Wesentliche Teile der Schaltung werden schichtweise auf einen Träger aufgetragen. Nach dem Herstellungsverfahren werden Dünnschicht- und Dickschichtschaltungen unterschieden. Bei der Dünnschichttechnik werden die Bauelemente und ihre Verbindungen als dünne Metall- und Oxidschichten auf die Keramik-Trägerplatte aufgedampft oder aufgestäubt. Bei der Dickschichttechnik werden sie als pastenförmige Mischungen im Siebdruckverfahren aufgedruckt und eingebrannt.

Hybrid-Schaltung. Sie ist eine Kombination aus integrierter Schaltung mit zusätzlich eingelöteten Einzelbauelementen (Dioden, Transistoren, Kondensatoren usw.). Die Einzelelemente werden meist aus Platz- und Kostengründen ohne Gehäuse auf die Trägerplatte aufgebracht. Es werden bis zu 20 Millionen Befehle pro Sekunde verarbeitet.

Monolithisch integrierte Schaltung (Bild 3.79). Alle Komponenten einer Schaltung einschließlich ihrer leitenden Verbindungen werden in einem gemeinsamen Fertigungsverfahren (Planartechnik) auf einer hauchdünnen Halbleiterscheibe aufgebracht. Das Material dieser Einkristallscheibe besteht aus vordotiertem Silicium. In einem mehrstufigen Dotierungsprozess werden hieraus verschiedene P- und N-Schichten hergestellt, die jeweils voneinander isoliert sind. In den Schichten enthalten sind alle Bauelemente, Ver-

bindungsleitungen und Anschlüsse. Ein solches Plättchen wird als Chip bezeichnet. Darauf können mehr als 100 000 Funktionselemente (z. B. Widerstände, Dioden, Transistoren) enthalten sein. Jeder Chip wird auf einen Metallträger gelötet und durch ein Gehäuse vor Feuchtigkeit und mechanischen Einflüssen geschützt. Ein Chip ist trotz seiner sehr hohen Bauteildichte nur wenig störanfällig.

Arbeitsaufträge

1. Beschreiben Sie die Eigenschaften einer Diode. Erklären Sie in diesem Zusammenhang den Begriff der „Schleusenspannung“.
2. Skizzieren Sie den Schaltungsaufbau einer Einpuls- und einer Zweipulsgleichrichter-Schaltung.
3. Sie sollen die Funktion einer Diode überprüfen. Dazu stehen Ihnen alle Kenndaten der Diode zur Verfügung. Beschreiben Sie, wie Sie die Überprüfung durchführen. Welche Kenndaten benötigen Sie dazu?
4. Skizzieren Sie den Aufbau und beschreiben Sie die Funktion einer Siebschaltung.
5. Erklären Sie den Unterschied zwischen einer Gleichrichterdiode und einer Z-Diode.
6. Eine elektrische Schaltung arbeitet mit einer veränderlichen Betriebsspannung im Bereich von 3 V bis 10 V. Wenn eine Spannung von mehr als 5,6 V anliegt, soll dies durch eine Kontrollleuchte angezeigt werden. Die Kontrollleuchte selbst benötigt eine Spannung von 24 V für ihren Betrieb. Entwickeln Sie eine Schaltung, in der eine Z-Diode als Sollwertgeber eingesetzt wird. Die Z-Diode soll die Basis eines bipolaren PNP-Transistors ansteuern.
7. Erklären Sie die Spannungs-, Strom- und Leistungsverstärkung an einem bipolaren Transistor.
8. Bei den Isolierschicht-Feldeffekt-Transistoren unterscheidet man zwischen einem Verarmungs- und einem Anreicherungstyp. Erläutern Sie die unterschiedlichen Funktionsweisen.
9. Skizzieren Sie Aufbau und elektrischen Anschluss eines Sperrschicht-Feldeffekt-Transistors, N-Kanal-Typ, entsprechend der Abbildung 3.74.
10. Erläutern Sie die Funktion eines selbstleitenden P-Kanal-MOSFETS. Skizzieren Sie dazu den Aufbau des Transistors.
11. Beschreiben Sie Aufbau, Funktion und Einsatzgebiet eines Thyristors.
12. Nennen Sie Einsatzgebiete von integrierten Schaltungen im Pkw.

3.10 Kippstufen

Amplitude → S. 91

Kippstufen bereiten die von Gebersystemen (induktive Geber, Hallgeber u. a.) erzeugten Signale auf. Diese werden in Rechteckimpulse mit hoher Amplitude (Ausschlag) und großer Flankensteilheit umgewandelt, weil nur solche Signale von den nachfolgenden Systemen eindeutig ausgewertet und verarbeitet werden können.

Weiterhin werden in Kraftfahrzeugen Schaltungen eingesetzt, die selbstständig Rechteckimpulse erzeugen, wie z. B. der elektronische Blinkgeber oder der Wischerintervallschalter. Gemeinsam ist allen Schaltungen, dass diese nur zwei Betriebszustände unterscheiden und von einem Zustand in den anderen „kippen“. Daher werden diese Schaltungen als Kippschaltungen bezeichnet. Der Kippvorgang kann selbstständig aus der Schaltung heraus erfolgen oder von außen gesteuert werden. Alle Schaltungen sind in der Grundausführung aus einer unterschiedlichen Anzahl von Widerständen und Transistoren aufgebaut. Man unterscheidet:

- astabile Kippstufen,
- monostabile Kippstufen,
- bistabile Kippstufen,
- Schmitt-Trigger.

3.10.1 Astabile Kippstufen

Die astabile Kippstufe wird auch als astabiler Multivibrator bezeichnet.

Die astabile Kippstufe wird zur Erzeugung von periodischen Rechteckimpulsen eingesetzt, die z. B. als Taktgeber genutzt werden können.

Bild 3.80 zeigt eine astabile Kippschaltung als Blinkschaltung. Zwei Leuchtdioden leuchten abwechselnd in einem bestimmten Rhythmus, sobald die Versorgungsspannung anliegt. Als Schalter arbeiten zwei Transistoren, deren Basis über zwei Widerstände angesteuert und im Kollektorstromkreis über zwei Kondensatoren belas-

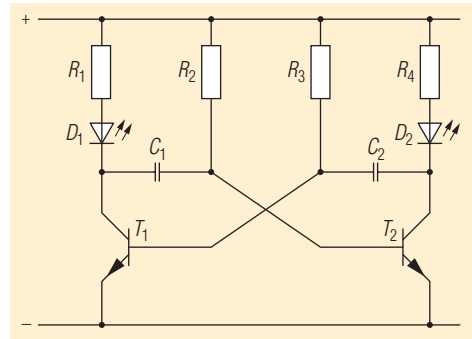


Bild 3.80 Astabile Kippschaltung.

tet werden. Ist der Transistor T_1 leitend, leuchtet LED D_1 . Zur selben Zeit ist der Transistor T_2 gesperrt, LED D_2 bleibt dunkel. Das Spannungspotenzial am Kollektoranschluss von T_1 ist sehr niedrig, es wird über den Kondensator C_1 an die Basis von T_2 übertragen. Deshalb bleibt T_2 zunächst gesperrt. Über den Widerstand R_2 lädt sich der Kondensator C_1 auf, wodurch sich die Basisspannung an T_2 erhöht. Nach Überschreiten der Schwellenspannung wird der Transistor T_2 leitend, LED D_2 leuchtet. In der Zeit, in der T_1 leitend ist, hat sich der Kondensator C_2 über R_4 und D_2 aufgeladen. Da nun T_2 leitet, sinkt seine Kollektorspannung fast auf den Wert „null“ ab, hierbei entlädt sich C_2 . Dies bewirkt, dass das Spannungspotenzial an der Basis von T_1 unter die Schwellenspannung sinkt. Der Transistor sperrt, die Lampe wird dunkel. Nun beginnt sich der Kondensator C_2 wieder aufzuladen, um bei Erreichen der Schwellenspannung den Transistor T_1 erneut einzuschalten, LED D_1 leuchtet und LED D_2 erlischt.

Die beiden Zeitkonstanten $R_2 \cdot C_1$ und $R_3 \cdot C_2$ bestimmen das Verhältnis von Ein- und Ausschaltdauer. Sind beide Produkte gleich groß, arbeitet die Schaltung symmetrisch.

3.10.2 Monostabile Kippstufen (Mono-Flop)

Die Kippstufe besitzt in der Grundstellung eine stabile Lage und schaltet nur nach einem Steuerimpuls für eine bestimmte Zeit in den zweiten Schaltzustand. Sie kehrt danach wieder in die Ausgangslage zurück (stabiler Zustand). Der

nächste Schaltvorgang wird erst nach erneuter Ansteuerung ausgeführt. Diese Kippstufe liefert rechteckförmige Ausgangssignale und wird z. B. bei Wischintervallschaltern eingesetzt.

3.10.3 Bistabile Kippstufen (Flip-Flop)

Die bistabile Kippstufe hat zwei stabile Zustände, zwischen denen sie nur nach äußerer Ansteuerung wechselt. Dabei müssen positive und negative Impulse wechseln, da der jeweils letzte Steuerimpuls gespeichert bleibt. Sie geben ein rechteckförmiges Ausgangssignal ab.

3.10.4 Schmitt-Trigger

Die Arbeitsweise einer Schmitt-Trigger-Schaltung ist mit der einer bistabilen Kippstufe vergleichbar. Die Schaltung formt aus verzerrten Signalen Rechteckimpulse; sie wird deshalb auch als Impulsformer bezeichnet. Der Schmitt-Trigger hat zwei stabile Schaltzustände. Die jeweilige Lage wird durch die Größe der Eingangsspannung bestimmt. Überschreitet die Eingangsspannung einen bestimmten Wert (Schwellwertspannung), entsteht ein Rechteckimpuls, der dann abfällt, wenn die Eingangsspannung unter die Rückstellspannung fällt. Ein- und Ausschaltspannung unterscheiden sich dabei (Bild 3.81).

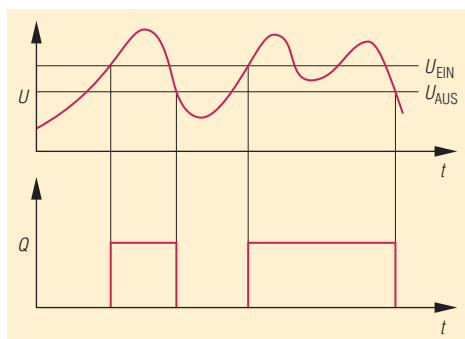


Bild 3.81 Schaltverhalten eines Schmitt-Triggers.

3.11 Messgeräte

Im Rahmen der Fehlersuche oder routinemäßiger Überprüfung auf ordnungsgemäße Funktion (z. B. Inspektion) sind elektrische Messungen am Fahrzeug durchzuführen.

Bei der Durchführung von Messungen muss dem Bediener das Messergebnis angezeigt werden. Die eingesetzten Messgeräte können die Messergebnisse auf unterschiedliche Weise ermitteln und darstellen. Man unterscheidet:

- Vielfachmessgeräte (analog/digital/digital-analog),
- Strommesszangen,
- Oszilloskope.

3.11.1 Vielfachmessgeräte (Multimeter)

Mit Vielfachmessgeräten können mehrere elektrische Größen gemessen werden, z. B. Spannung, Stromstärke und Widerstand. Sie unterscheiden sich u. a. durch die Art der Messwertanzeige, die Anzahl der messbaren Größen, die Messbereiche und die Messgenauigkeit.

Analog anzeigende Messgeräte (Zeigermessgeräte) besitzen unterschiedliche Skalen zum Ablesen des Messbereiches und der durchzuführenden Messung. Das Messergebnis wird auf der Skala mithilfe eines Zeigers dargestellt (Bild 3.82).

to trigger (engl.)
= ansteuern, auslösen

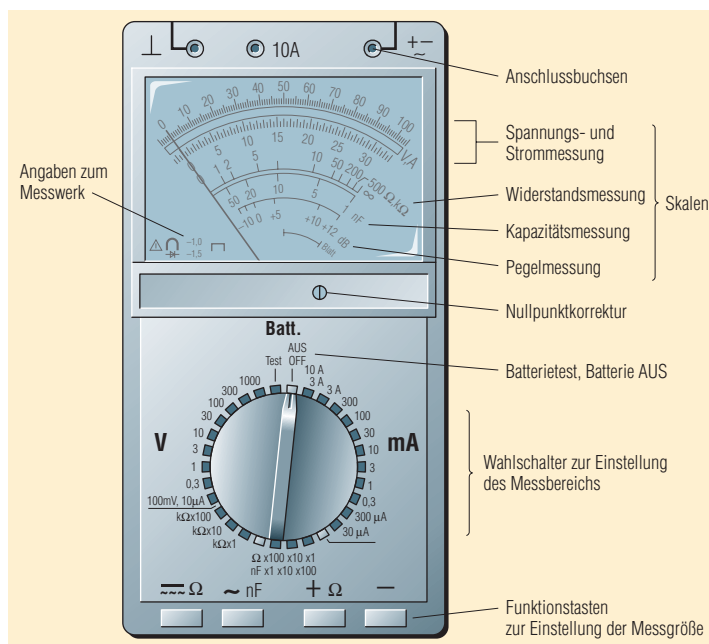


Bild 3.82 Vielfachmessgerät mit analoger Anzeige.

An geeigneter Stelle (meist neben der Skale) werden durch Sinnbilder (Symbole und Zahlen) Angaben zum Messwerk gemacht. Verdeutlicht werden hierüber u. a. die Genauigkeitsklasse, die Gebrauchslage, die Art des Messwerkes. Diese Hinweise sind bei der Durchführung von Messungen zu beachten. Bild 3.83 auf Seite 128 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Bildzeichen.

Messen: Vergleich einer unbekannten Größe mit einer bekannten

Symbole für Analogmessgeräte, Auswahl	
Stromart	Messwerke
— Gleichstrom	Drehspulmesswerk, allgemein
~ Wechselstrom	Drehspulmesswerk, mit Gleichrichter
~ Gleich- und Wechselstrom	mit Thermoumformer
~ Drehstrom	Dreheisenmesswerk
~ Drehstrom, mit einem Messwerk	Elektrodynamisches Messwerk, eisenlos
Nennlage	Bimetallmesswerk
⊥ senkrechte Nennlage	Elektrostatisches Messwerk
⊥ waagrechte Nennlage	Vibrationsmesswerk
60° schräge Nennlage, mit Angabe des Winkels	Messwerk mit magn. Abschirmung, Sinnbild für den Schirm
Prüfspannung	Messgerät mit elektronischer Anordnung (z.B. Verstärker)
☆ Prüfspannung 500 V	
☆ Prüfspannung 2 kV	
Allgemeines	
⚠ Gebrauchsanweisung beachten!	
↻ Zeigernullstellvorrichtung	

Bild 3.83 Bildzeichen für analog anzeigende Messgeräte.

Genauigkeitsklasse. Im Bereich der Feinmessgeräte gibt es die Genauigkeitsklassen 0,1; 0,2; und 0,5, bei den Betriebsmessgeräten 1; 1,5; 2,5 und 5. Die Klasse nennt den zulässigen Anzeigenfehler in Prozent, bezogen auf den Messbereichsendwert (absoluter Messfehler). Beispielsweise darf in der Klasse 2,5 der Messfehler $\pm 2,5\%$ des Messbereichsendwertes (Skalenendwert) betragen. Im vorliegenden Fall liegt der Messbereichsendwert der Strommessung bei 33 A (Bild 3.82),

deshalb liegt der zulässige Anzeigenfehler bei $\pm 0,825\text{ A}$ ($= 32,175\text{ A}$ bis $33,825\text{ A}$). Der zulässige absolute Messfehler ist über den gesamten Messbereich konstant. Läge der abgelesene Messwert bei 5 A, so wäre an dieser Stelle eine Streuung zwischen 4,175 A und 5,825 A zulässig. Man bezeichnet dies als relativen Messfehler (hier $\pm 16,5\%$), er ist vom Messwert abhängig. Am Skalenanfang ist er am größten, zum Ende hin wird er kleiner. Daher ist der Messbereich so zu wählen, dass die Messwertanzeige im letzten Drittel der Skale liegt.

Weitere Messfehler können durch falsche Gebrauchslage, deutliche Abweichung von der Nenntemperatur (20°C), schräge Blickrichtung beim Ablesen (Parallaxefehler) oder durch den Einfluss eines äußeren Magnetfeldes entstehen. Beim Ermitteln von Messwerten, deren ungefähre Höhe vorher nicht bekannt ist, muss zunächst immer der größte Messbereich ausgewählt und eingestellt werden. Danach kann der Messbereich über den Wahlschalter schrittweise verkleinert werden, bis die Anzeige im oberen Drittel der Skale liegt. Vor dem Betrieb des Gerätes muss die Zeigerstellung kontrolliert werden, ob diese mit dem Nullwert fluchtet. Bei Abweichungen muss über den Drehknopf eine Nullpunktkorrektur durchgeführt werden.

Digital anzeigende Vielfachmessgeräte. Sie zeigen den Messwert als Ziffernfolge in einem Display an. Dieses kann mit Leuchtdioden (LED) oder Flüssigkristallen (LCD) bestückt sein (Bild 3.84).

Der mögliche Anzeigebereich eines Displays ist von der Zahl der Stellen abhängig. Im Bild dargestellt ist eine vollwertige 4-stellige Anzeige. Oft kann die erste Stelle nur die Werte 0 und 1 darstellen, sie wird dann als halbe Stelle bezeichnet. Man spricht von einer $3\frac{1}{2}$ -stelligen Anzeige. Bei Überschreiten des maximalen Anzeigewertes wird der Messbereich oft automatisch angepasst. Die Umwandlung der analogen Messgröße in eine digitale Darstellung wird innerhalb des Gerätes durch einen Analog-Digital-Wandler vorgenommen. Auch digital anzeigende Geräte arbeiten stets mit einer Messabweichung. Diese entsteht durch Fertigungstoleranzen der Bauteile des Analog-Digital-Wandlers. Diese Abweichung, sie wird als Grundfehler bezeichnet, beträgt meist

LED → S. 119

LCD → S. 56

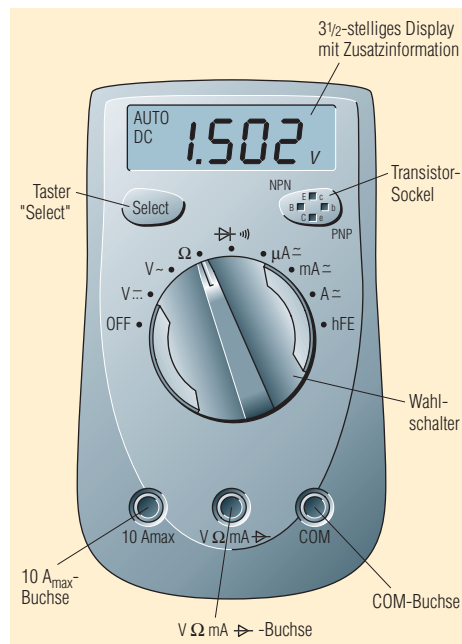


Bild 3.84 Vielfachmessgerät mit digitaler Anzeige.

zwischen 0,5 % und 1 % und bezieht sich auf den angezeigten Messwert. Neben dem Grundfehler besitzen digitale Messgeräte noch einen Quantisierungsfehler.

Dieser entsteht durch die mehr oder weniger große Auflösung des Wandlers und beträgt in der Regel 1 bis 5 Digits. Beispielsweise könnte eine mögliche Herstellerangabe zum Messfehler des Gerätes lauten: $F_{\max} = \pm (1 \% + 2 \text{ Digit})$.

Weiterhin werden digitale Messgeräte bei längerem Gebrauch ungenau und müssen deshalb in regelmäßigen Abständen kalibriert werden.



Eindeutiger Vorteil der digitalen Messgeräte ist die einfache und genaue Ablesbarkeit. Meist übernehmen elektronische Sicherungen den Überlastungsschutz des Gerätes, eine Fehlbedienung ist nahezu ausgeschlossen. Vielfach besteht die Möglichkeit Messwerte im Gerät zu speichern oder über eine Schnittstelle auf einen Computer zu überspielen. Digital anzeigende Messgeräte führen meist zwei Messungen in der Sekunde aus

und zeigen den Mittelwert aus diesen Messungen an. Dabei kann es sich als nachteilig erweisen, dass eine schnelle Änderung der Messgröße und die mögliche Schwankungsbreite der Messwerte durch die Mittelwertbildung unterdrückt werden. Digitale Messgeräte sind meist durch englische Kürzel beschriftet, jedoch ist die Bezeichnung nicht genormt. Tabelle 3.9 zeigt eine Übersicht und Übersetzung der gebräuchlichsten Kürzel.

Digital-analoge Vielfachmessgeräte vereinen die Vorteile der vorher beschriebenen Ausführungen. Ist die Erfassung der Schwankungsbreite für eine Messung relevant, benutzt man ein digitales Messgerät mit zusätzlicher analoger Anzeige, die meist als Balkendiagramm ausgeführt ist. Die Länge des Balkens verdeutlicht die Schwankungsbreite sehr viel genauer, weil zur Darstellung des Balkens meist mehr als 25 Messungen pro Sekunde ausgewertet werden.

Quantisierungsfehler entstehen durch das Auflösungsvermögen des Analog-Digital-Wandlers.

Digit = Ziffer.
Im Beispiel: Die letzte angezeigte Ziffer kann um den Zahlenwert 1 bis 2 abweichen.

Bezeichnung	Erklärung
RMS	Root Mean Square, gemessen wird der Effektivwert des Wechselanteils
TRMS	True Root Mean Square, gemessen wird der Effektivwert der gesamten Mischgröße
RANGE	Messbereich; kann meist mit der Taste AUT/MAN von Automatikbetrieb auf Handbetrieb umgeschaltet werden
HOLD, MEM	Messwert wird in Digitalanzeige gespeichert
PEAK-HOLD	Speicherung des Spitzenwertes
EXTR	Minimal- und Maximalwert werden gespeichert
TIME	Messwertspeicherung in vorgegebenen Zeitintervallen
STO	Speicherung mehrerer gleicher oder verschiedener Messwerte mit Einheit und Polarität
ZOOM, EXPAND	Lupenfunktion bei Analog-Digital-Multimetern; die Analogskale kann in mehreren Stufen gedehnt werden
REL	Ein vorgegebener Wert dient als Referenzwert, die Abweichung vom Referenzwert wird angezeigt
LIM	Grenzwertvorgabe, alle Grenzwertüberschreitungen werden akustisch und optisch gemeldet
dB	Pegelmessung
BEEP	Ein- und Ausschaltung des Summers
	Durchgangsprüfung, Summer
	Halbleitermessung, Diodenmessung
Tabelle 3.9	Abkürzungen und Erklärungen für Digitalmessgeräte.

3.11.2 Strommesszangen

Strommesszangen vereinfachen die Messungen von Stromstärken, weil die zu messende Leitung nicht aufgetrennt werden muss. Die Strommesszange wird über die Leitung geführt und geschlossen (Bild 3.85).

Oscillare (lat.):
schwingen;
skopein (griech.):
sehen

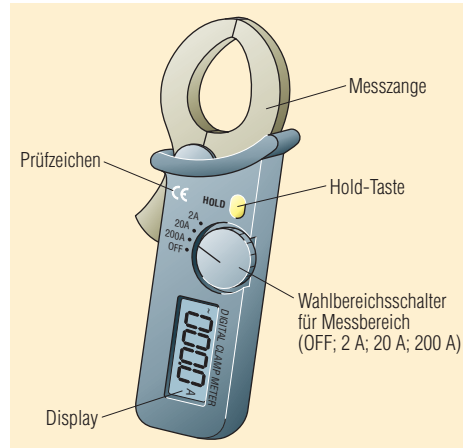


Bild 3.85 Digitale Strommesszange.

Strommesszangen werden in technischer Stromrichtung betrieben, die Richtung ist durch einen Pfeil auf der Zange vermerkt. Bei einem Verwechseln der Stromrichtung wird der Messwert mit negativem Vorzeichen angezeigt. Die Messung erfolgt induktiv oder durch einen Hallgeber. Der Messwert kann unmittelbar in digitaler Anzeige auf dem Display oder analog durch Zeigeraus-
schlag abgelesen werden. Viele Messzangen

bieten die Möglichkeit der gleichzeitigen Spannungs- und Widerstandsmessung. Auch sind separate Stromzangenadapter erhältlich, die an vorhandene Multimeter angeschlossen werden können.

3.11.3 Oszilloskope

Oszilloskope sind Messgeräte mit analoger Anzeige, welche grundsätzlich nur Spannungen messen können. Der Name bedeutet wörtlich übersetzt „Schwingungsseher“.

Oszilloskope messen schnell verlaufende, periodisch wiederkehrende elektrische Vorgänge, z. B. Sensorsignale, Zündspannungsverläufe oder Generatorspannungen. Die Messergebnisse werden grafisch als Strahlen auf dem Monitor des Gerätes dargestellt.

Man unterscheidet Ein- oder Mehrkanal-Oszilloskope mit und ohne Speicherfunktion. Mehrkanalgeräte enthalten eine normale Elektronenstrahlröhre mit nur einem Strahlsystem, aber für jedes der Eingangssignale einen separaten Verstärker. Um zwei Signale zeitgleich sichtbar zu machen, wird der Elektronenstrahl abwechselnd vom einen und dann vom anderen Signal ausgelenkt. Überwiegend werden 2-Kanal-Geräte benutzt, für besonders aufwändige Messungen gibt es auch 3-Kanal-Geräte (Bild 3.86). Mit der Speicherfunktion können Messvorgänge gespeichert und später als Standbild aufgerufen werden.

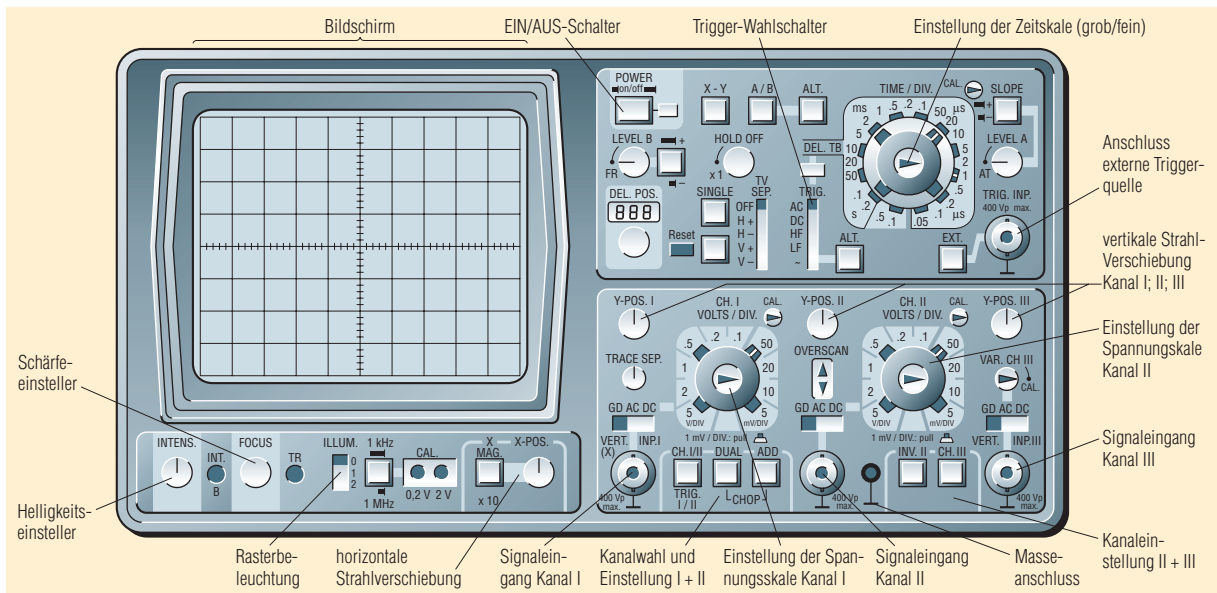


Bild 3.86 Dreikanal-Oszilloskop.

Sollen zwei periodische Vorgänge gleichzeitig dargestellt werden, müssen Zweistrahl-Bildröhren benutzt werden. Diese besitzen in einem Glaskolben zwei voneinander unabhängige Strahl- und Ablenssysteme. Die hier beschriebene Anzahl der gleichzeitig darstellbaren Strahlen ist ein weiteres Unterscheidungskriterium der Oszilloskope. „Echte“ Zweistrahl-Oszilloskope sind sehr leistungsfähig, aber teuer. Deshalb werden häufig 2-Kanal-Oszilloskope („unechte“ Zweistrahl-Oszilloskope) eingesetzt.

Auf der Horizontalen des Bildschirms ist die Zeitablenkung (Zeitmaßstab) dargestellt. Ein ruhig erscheinendes stehendes Bild erhält man nur, wenn die Zeitablenkung mit der Messspannung synchronisiert ist, d. h. die Zeitablenkung muss immer beim gleichen Wert der Messspannung beginnen. Dies geschieht durch das gezielte Auslösen (Triggern) der Zeitablenkungsspannung.

Die Beschriftung der Bedienelemente erfolgt weitgehend standardisiert in englischer Sprache.

Zur Messung wird ein Pol der Spannungsquelle auf einen Vertikaleingang, z. B. VERT. INP. I gelegt, der andere Pol mit der Massebuchse verbunden. Zeitbasis und Vertikalablenkung müssen so eingestellt werden, dass je nach Anforderung eine oder mehrere Perioden der Messspannung auf dem Bildschirm zu sehen sind.

3.12 Messverfahren

Spannungsmessung mit dem digitalen Vielfachmessgerät. Das Messgerät muss mithilfe des Wahlschalters auf Volt (V) in Verbindung mit dem Symbol „Gleichspannung“ eingestellt werden.

Bei einigen Messgeräten wird am Drehschalter nur die Spannungsmessung ausgewählt und an einer anderen Taste zwischen Gleichspannungsmessung (DC) oder Wechselspannungsmessung (AC) unterschieden.

Der Spannungsmesser muss am Plus- und Minuspol des Verbrauchers bzw. der Spannungsquelle angeschlossen werden (Parallelschaltung). Am elektrischen Stromkreis müssen keine Veränderungen vorgenommen werden. Das rote Messkabel wird mit dem Pluspol der Spannungsquelle

und der Buchse (V/Ω/mA) verbunden, das schwarze Kabel mit dem Minuspol und dem Masseanschluss COM (Bild 3.87). Bei der Spannungsmessung darf über das Messgerät nur ein kleiner Messstrom fließen. Um diesen zu begrenzen, haben digitale Spannungsmessgeräte einen hohen Innenwiderstand.

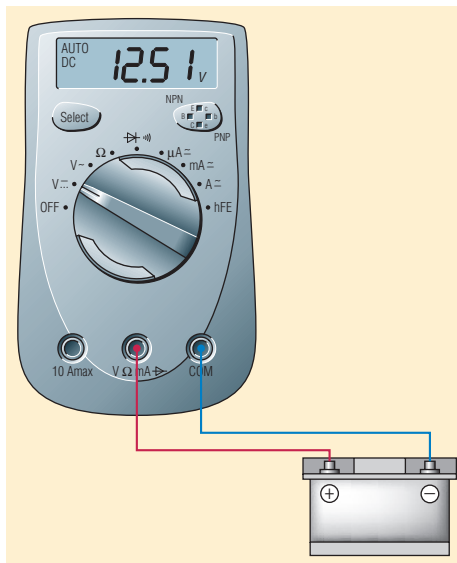


Bild 3.87 Spannungsmessung an einer unbelasteten Batterie.

- Spannungsmessung an einer unbelasteten (abgeklemmten) Batterie (Bild 3.87). An der Batterie fließt kein Strom, es wird die tatsächliche Batteriespannung angezeigt.
- Spannungsmessung an einer belasteten Batterie (Bild 3.88, Seite 132). Alle Verbraucher sind ausgeschaltet. Nur über den nachlaufenden Lüftungsmotor fließt ein Strom. Die Leistungsaufnahme des Lüfters beträgt 120 W, daraus errechnet sich eine Stromstärke von 10 A. Die angezeigte Batteriespannung verringert sich. Ursache dafür ist der Innenwiderstand der Batterie (angenommen mit 25 mΩ) in Verbindung mit dem Stromfluss.

Bei allen Messungen im geschlossenen Stromkreis wirken sich Spannungsabfälle an Leitungen, Schaltern, Widerständen und der belasteten Batterie auf die Messung aus.

$$\begin{aligned} U &= R \cdot I; \\ U &= 25 \text{ m}\Omega \cdot 10 \text{ A}; \\ U &= 0,25 \text{ V} \end{aligned}$$

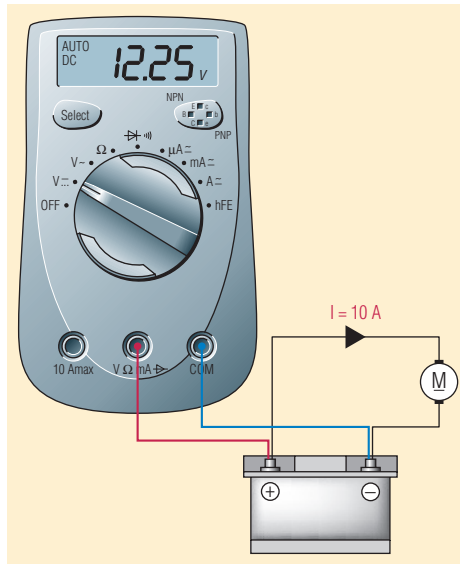


Bild 3.88 Spannungsmessung an einer belasteten Batterie.

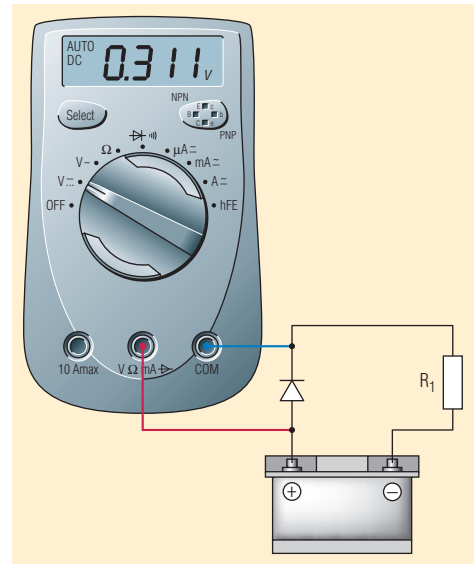


Bild 3.89 Spannungsmessung an einer durchgeschalteten Diode.

- Spannungsmessung an einer Diode (Bild 3.89). Die Diode wird im durchgeschalteten Zustand betrieben und der Spannungsabfall an ihr gemessen. Das Spannungsmessgerät zeigt 0,3 V an. Dieser Wert entspricht der Schleusenspannung. Wird die Diode in Sperrrichtung betrieben fließt kein Strom. Das Spannungsmessgerät zeigt die Batteriespannung an.

- Spannungsmessung an einem Transistor (Bild 3.90). Zur Spannungsmessung des Transistors ist dieser geschaltet, die Diode leuchtet. Die Messung des Spannungsabfalls zwischen Kollektor und Emittor erbringt einen Messwert von ungefähr 0,2 V, an der Basis-Emittor-Spannung ca. 0,7 V. Ist der Transistor gesperrt weil der Basisstrom fehlt, entspricht der Spannungsabfall zwischen Kollektor und Emittor der Batteriespannung.

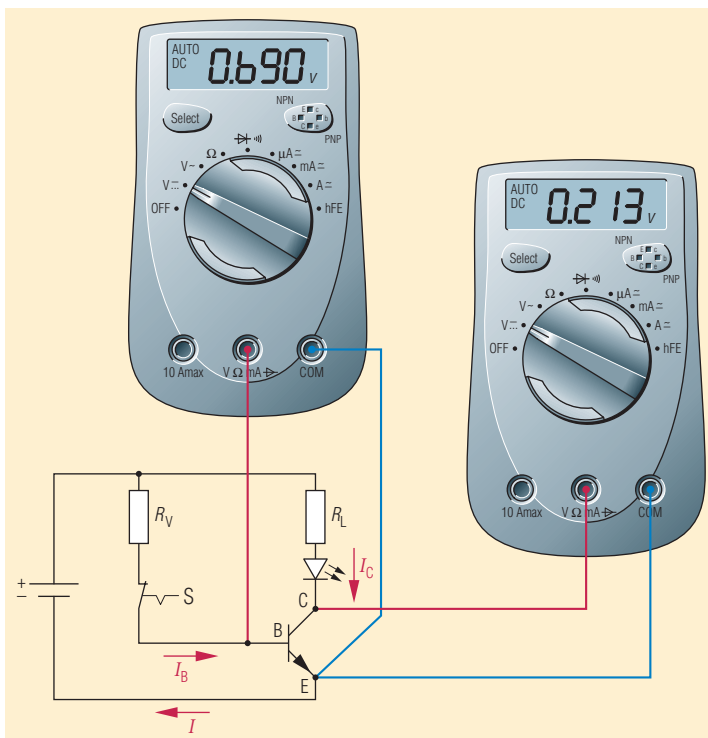


Bild 3.90 Spannungsmessung an einem durchgeschalteten Transistor.

Strommessung mit dem digitalen Vielmessgerät (Bild 3.91). Der Messbereich muss über den Wahlschalter auf den höchsten Amperebereich (A) eingestellt werden und kann bei Bedarf während der Messung verkleinert werden (mA; μ A). Durch Drücken der Taste „Select“ erfolgt die Umstellung zwischen Gleich- und Wechselstrom. Das rote Messkabel muss mit der mittleren Buchse verbunden werden, wenn Ströme bis max. 400 mA gemessen werden sollen. Für höhere Ströme bis maximal 10 A ist die linke Buchse zu belegen. Die schwarze Leitung mit dem COM-Anschluss verbinden. Es dürfen in keinem Fall Ströme über 10 Ampere gemessen werden. Für die Messung muss der Stromkreis getrennt werden, der Strommesser ist in Reihe zu schalten. Bei irrtümlichem parallelem Anschluss entsteht ein Kurzschlussstrom. Wegen des geringen Innenwiderstandes des Messwerkes bei der Strommessung können dann das Messgerät und die zu messenden elektronischen Bauteile zerstört werden.

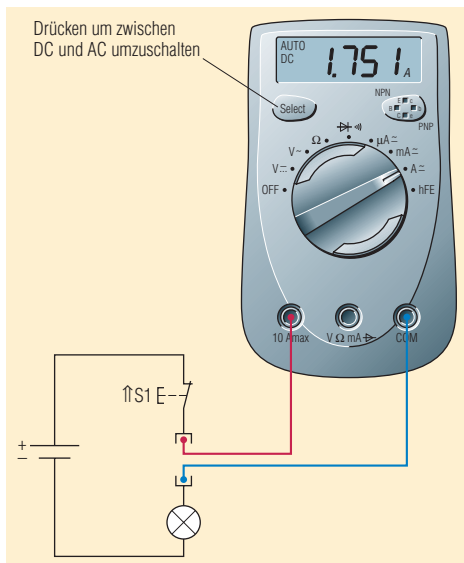


Bild 3.91 Strommessung mit dem digitalen Vielfachmessgerät.

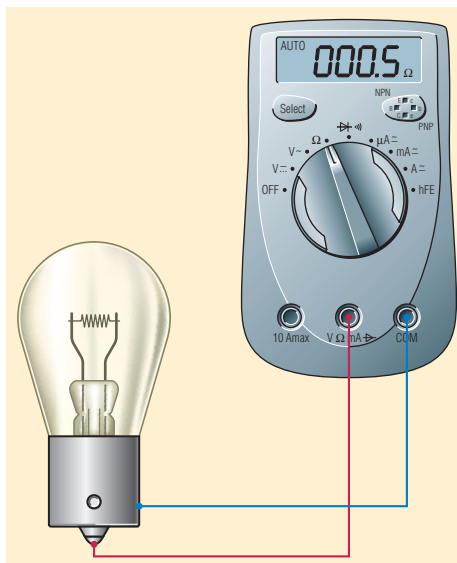


Bild 3.92 Widerstandsmessung an einer Lampe.

Widerstandsmessung mit dem digitalen Vielfachmessgerät. Mit dem Wahlbereichsschalter wird die Widerstandsmessung gewählt (Ω). Das rote Messkabel wird mit der Buchse (V, Ω , ...) verbunden, das schwarze mit dem COM-Anschluss. Die Widerstandsmessung erfolgt über einen vom Messgerät ermittelten Spannungsabfall. Deshalb benötigt jede Widerstandsmessung eine Spannung, die von der Batterie im Vielfachmessgerät geliefert wird. Das Messgerät wird parallel zum abgeklebten Widerstand geschaltet.

Die direkte **Widerstandsmessung** mit dem digitalen Multimeter zeigt Bild 3.92. Exemplarisch wird der Widerstand an einer Lampe gemessen.

unterschiedlich, die Diode ist in Ordnung. Sie hat einen Kurzschluss bei annähernd gleichen Messergebnissen.

Akustische Durchgangsprüfung. Spannungslose Leitungen, Sicherungen, Schaltungen usw. können akustisch auf Durchgang überprüft werden. Die Messkabel sind wie bei der Diodenprüfung anzuschließen. Der Wahlbereichsschalter ist senkrecht auf die Symbole Diodenprüfung / „akustischer Test“ = $\rightarrow \rightarrow$ einzustellen. Durch Drücken des „Select-Tasters“ erfolgt die Umschaltung zwischen der Diodenprüfung und der akus-

O.L. = Overload
(engl.): Überladung → der Messbereich ist überschritten

Widerstandsmessung → S. 93

Diodentest mit dem Vielfachmessgerät (Bild 3.93). Der Wahlschalter muss senkrecht auf das Dioden-Symbol gestellt werden und die Messkabel entsprechend der Widerstandsmessung angeschlossen werden. Bei der Diodenprüfung bezieht sich der angezeigte Messwert auf die Durchlass- und Sperrspannung am PN-Übergang. Dazu wird die Diode nacheinander in Durchlassrichtung und Sperrrichtung gemessen. Um die Diodenstrecke in Durchlassrichtung zu prüfen, muss das rote Messkabel mit der Anode, das schwarze Kabel mit der Kathode verbunden werden. Die ermittelte Spannung muss einen Wert zwischen ca. 0,5 Volt bis 1,5 Volt aufweisen. Zur nächsten Messung müssen die Prüfspitzen vertauscht werden. In Sperrrichtung muss O.L. auf dem Display angezeigt werden. Die ermittelten Messwerte sind in beiden Richtungen stark

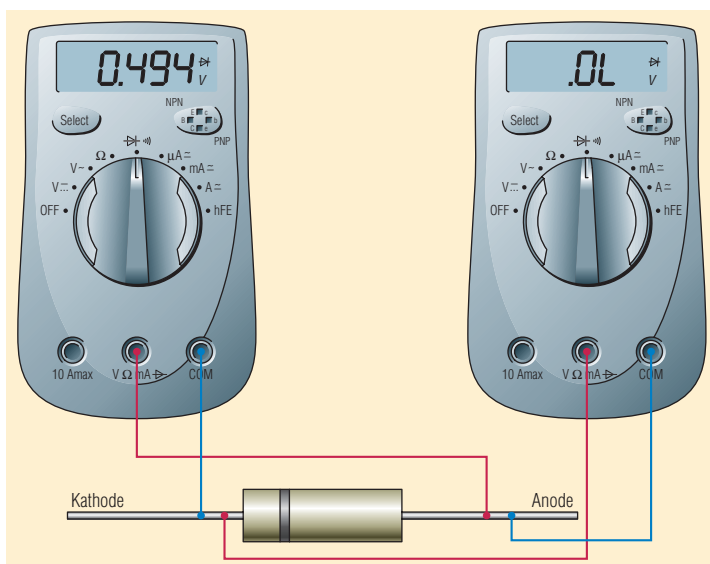


Bild 3.93 Funktionsprüfung einer Diode durch Widerstandsmessung.

tischen Messung. Beträgt der gemessene Durchgangswiderstand weniger als 100 Ohm, ertönt ein akustisches Signal.

Transistortest (Bild 3.94). Stellung des Drehschalters auf die Position „hFE“.

Die drei Anschlussfüße des Transistors in den Messsockel stecken. Dabei muss auf die richtige Anschlusskennzeichnung des Transistortyps (NPN oder PNP) geachtet werden. Das Testgerät erzeugt eine Kollektor-Emitter-Spannung von bis zu 1,5 V bei einem Basisstrom bis zu 10 μA . Der bei der Messung fließende Kollektorstrom wird erfasst und daraus der hFE-Wert errechnet. Durch die Messung kann nur festgestellt werden, ob der Transistor arbeitet oder nicht, da seine tatsächliche Verstärkung vom anliegenden Arbeitsstrom abhängt.

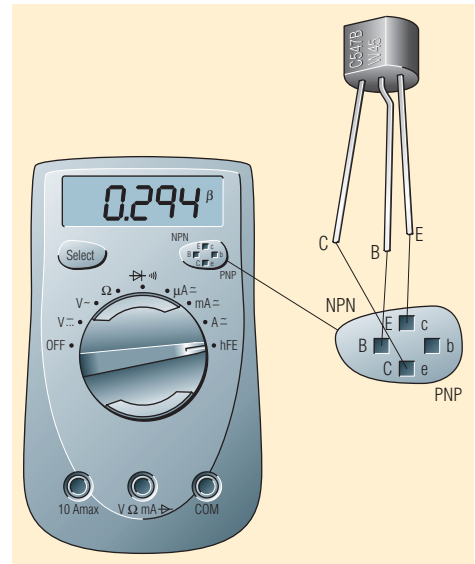


Bild 3.94 Transistortest.

Diodenprüfung des Drehstromgenerators mit dem Oszilloskop. Die Messung muss bei laufendem Motor (ca. 2500 min^{-1}) und unter Last erfolgen. Z.B. müssen heizbare Heckscheibe, Sitzheizung oder Gebläse eingeschaltet sein (ca. 15 Ampere). Zur Überprüfung des Gleichrichters wird der Kanalanschluss des Oszilloskops mit dem Anschluss D+ des Generators und der Masseanschluss mit dem Anschluss D- verbunden. Arbeitet die Diodengruppe des Generators fehlerfrei, zeigt das Oszilloskop einen schwach pulsierenden Gleichstrom an (Bild 3.95). Oszillogramme von defekten Dioden sind im Bild 3.96 dargestellt.

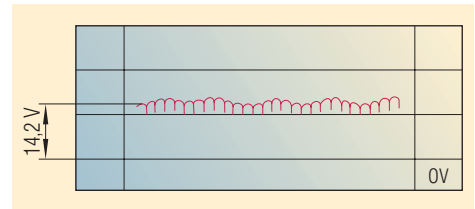


Bild 3.95 Normaloszillogramm.

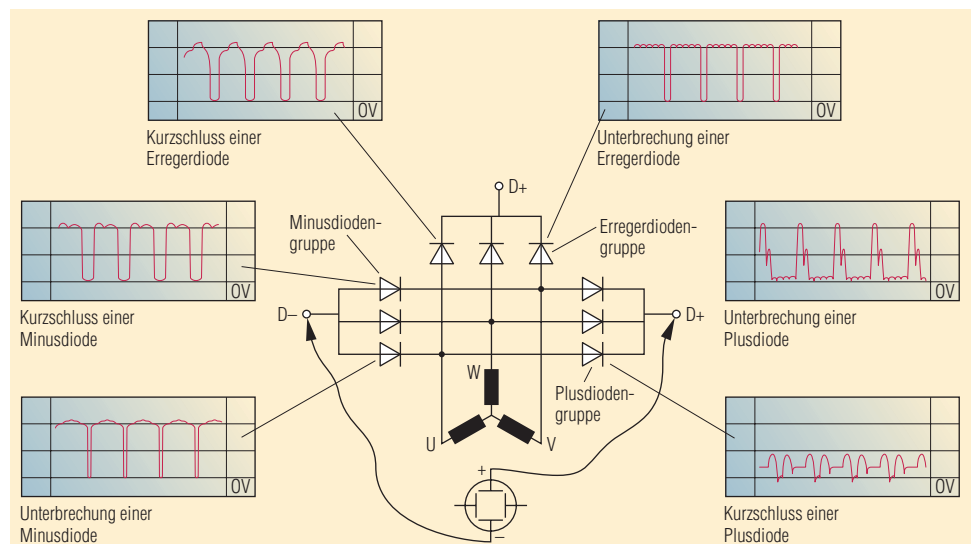


Bild 3.96 Oszillogramme bei Diodenfehler des Generators.

hFE: Angabe für den Verstärkungsfaktor eines Transistors

3.13 Schaltpläne

In den Schaltplänen der Kraftfahrzeugelektrik werden elektrische Geräte zeichnerisch durch Schaltzeichen, Abbildungen oder vereinfachte Konstruktionszeichnungen dargestellt. Der Plan verdeutlicht die elektrische Beziehung und Verbindung der Geräte untereinander und kann durch Tabellen, verbale Beschreibungen oder Diagramme ergänzt werden. Damit die verschiedenen Schaltpläne eindeutig lesbar sind, müssen sie normgerecht erstellt sein.

Generell gilt, dass der Signalfluss in den Stromwegen von links nach rechts und/oder von oben nach unten verlaufen muss. Innerhalb der Schaltpläne unterscheidet man zwischen

- Übersichtsplan (liefert einen schnellen Überblick über die Funktion einer Anlage oder eines Gerätes),
- Anschlussplan (dient vorzugsweise der Erläuterung der Verbindung und hilft dem Fachmann beim Austausch oder Nachrüsten von Geräten),
- Stromlaufplan (liefert eine ausführliche Darstellung einer Schaltung und erläutert ihre Funktion und Verbindung. Er wird meist mit Innenschaltung dargestellt und hilft bei der Ausführung von Reparaturen).

3.13.1 Übersichtsschaltplan (Blockdiagramm, Blockschaltplan)

Es werden nur die wesentlichen Teile einer Schaltung berücksichtigt und alle Leitungen sind meist einpolig gezeichnet. Dadurch gewinnt der Betrachter einen schnellen Überblick über Aufgabe, Aufbau, Gliederung und Funktion einer

elektrischen Anlage oder einer Teilanlage (Bild 3.97). Der Übersichtsschaltplan hilft oftmals bei der Orientierung in den ausführlichen Darstellungen des entsprechenden Stromlaufplanes.

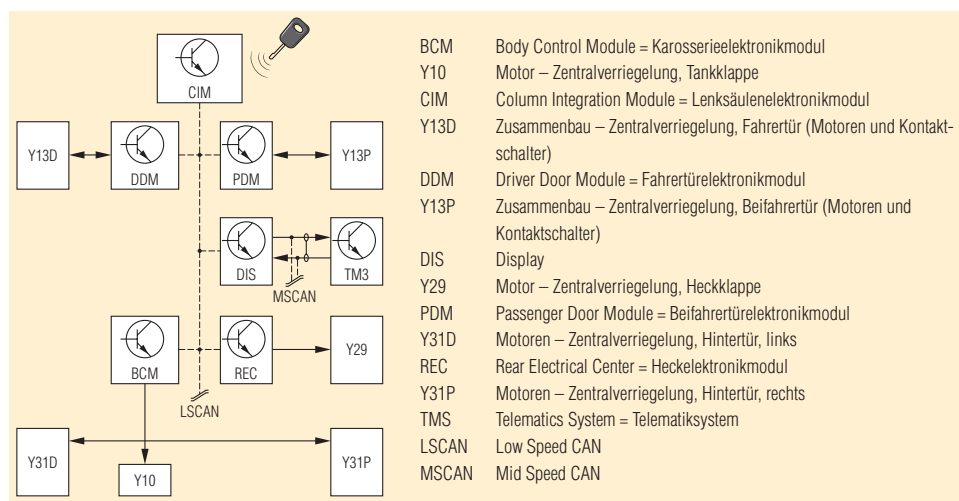


Bild 3.97 Übersichtsschaltplan Zentralverriegelung.

3.13.2 Anschlussplan

Der Anschlussplan verdeutlicht die Anschlusspunkte der elektrischen Geräte. Die einzelnen Geräte werden entweder durch genormte Schaltzeichen oder durch Bildzeichen dargestellt. Man unterscheidet

- Anschlusspläne in zusammenhängender Darstellung,
- Anschlusspläne in aufgelöster Darstellung.

Anschlussplan in zusammenhängender Darstellung. Er verdeutlicht die elektrischen Anschlusspunkte eines Bauteils mit den daran angeschlossenen inneren und äußeren Leitungen. Die Bauteile sind meist lagerichtig angeordnet und werden mit Leitungsführung, allen Anschlusspunkten und Klemmenbezeichnungen versehen (Bild 3.98, Seite 136).

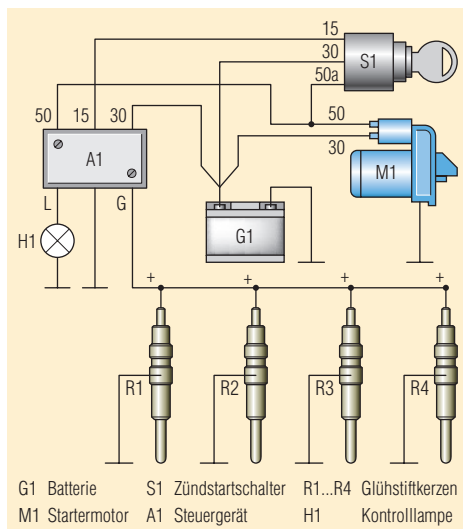


Bild 3.98 Anschlussplan (zusammenhängend) der Glühzeitsteuerung mit bildlicher Gerätedarstellung.

Zur Unterscheidung zeigt das Bild 3.100 die Darstellung des Zündstartschalters und des Startermotors aus der vorangegangenen Abbildung als Schaltzeichen in aufgelöster Darstellung.

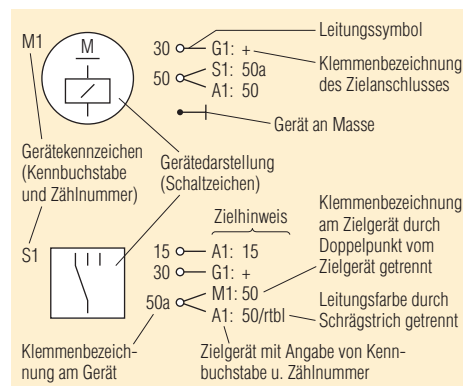


Bild 3.100 Gerätekennzeichnung am Schaltzeichen des Startermotors und Zündstartschalters.

Anschlussplan in aufgelöster Darstellung. Es entfallen die durchgehenden Verbindungslinien der Geräte untereinander. Alle Bauteile sind mit einer Gerätekennzeichnung versehen, die aus Buchstabe, Zählnummer und ggf. einem Vorzeichen besteht. Alle von diesem Gerät abgehenden Leitungen erhalten einen Zielhinweis (Bild 3.99).

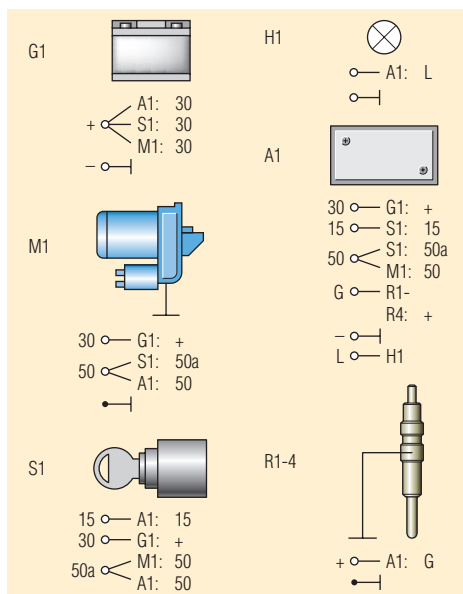


Bild 3.99 Anschlussplan (aufgelöst) der Glühzeitsteuerung mit bildlicher Gerätedarstellung.

Der Zielhinweis besteht aus:

- Klemmenbezeichnung am Gerät,
- Leitungssymbol,
- Angabe zum Zielgerät, zu dem die Leitung führt,
- Klemmenbezeichnung am Zielgerät, zu der die Leitung führt (sie ist durch einen Doppelpunkt von der Gerätekennzeichnung des Zielgerätes getrennt),
- Leitungsfarbe (falls vorgeschrieben).

3.13.3 Stromlaufplan

Der Stromlaufplan zeigt die Wirkungsweise einer elektrischen Schaltung in allen Einzelheiten. Dazu sind die einzelnen Stromwege übersichtlich nebeneinander dargestellt. Die elektrische Schaltung, die Gerätekennzeichnung und die Anschlussbezeichnung müssen angegeben werden. Die Mindestlinienbreite beträgt 0,25 mm, damit der Plan mikroverfilmbar ist. Aufgrund der Schaltzeichenanordnung unterscheidet man

- Stromlaufpläne in zusammenhängender Darstellung und
- Stromlaufpläne in aufgelöster Darstellung.

Stromlaufplan in zusammenhängender Darstellung. Diese Darstellung kann nur für einfache und nicht sehr umfangreiche Schaltungen verwendet werden. Alle enthaltenen Bauteile der Schaltung werden zusammenhängend und eng beieinander gezeichnet.

Stromlaufplan in aufgelöster Darstellung (Bild 3.101). Es wird keine Rücksicht auf die räumliche Zusammengehörigkeit der einzelnen Geräte oder deren Teile genommen. Die Schaltzeichen der elektrischen Teile sind so angeordnet, dass die einzelnen Stromwege einfach zu verfolgen sind. Dazu werden die einzelnen Stromwege möglichst geradlinig und kreuzungsfrei gezeichnet. Die Plusleitung bzw. die Plusleitungen werden am oberen Rand des Stromlaufplanes durch waagerechte Leitungen dargestellt. Parallel dazu verläuft die Minusleitung am unteren Rand des Planes. Die einzelnen Strompfade verlaufen senkrecht zwischen dem Plus- und dem Minuspol. Alle in einer Schaltung dargestellten Massezeichen (\perp) sind über die Geräte- oder Fahrzeugmasse elektrisch miteinander verbunden. Strichpunktierte Umrahmungslinien verdeutlichen die Abgrenzung von Teilen einer Schaltung. Diese stellt eine nicht leitende Umrahmung von Geräten dar und wird nicht als Gerätemasse benutzt.

Damit Verbindungslinien im Stromlaufplan nicht über eine große Strecke verlaufen, können sie unterbrochen werden. Es werden nur Anfang und Ende der Linie dargestellt. Damit die Zusammengehörigkeit dieser Abbruchstellen für den Betrachter offensichtlich ist, müssen sie gekennzeichnet werden. Dies geschieht durch Eintragung der Klemmenbezeichnung oder Abschnittskennzeichnung. Die Abschnittskennzeichnung hilft beim Auffinden von Schaltungsstellen und ist am oberen Rand des Planes angebracht. Es gibt drei Möglichkeiten (Bild 3.102) der Darstellung:

- Fortlaufende Nummerierung in gleichen Abständen von links nach rechts (a),
- Benennung der Schaltungsabschnitte (Zündung, Beleuchtung ...) (b),
- Kombination aus den beiden zuvor genannten Möglichkeiten (c).

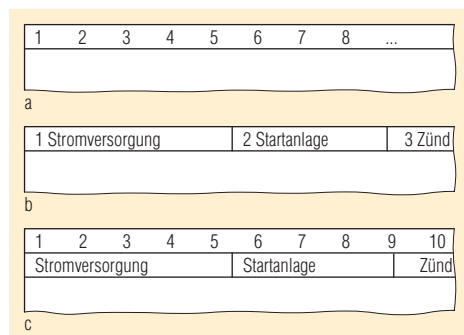


Bild 3.102 Abschnittskennzeichnung.

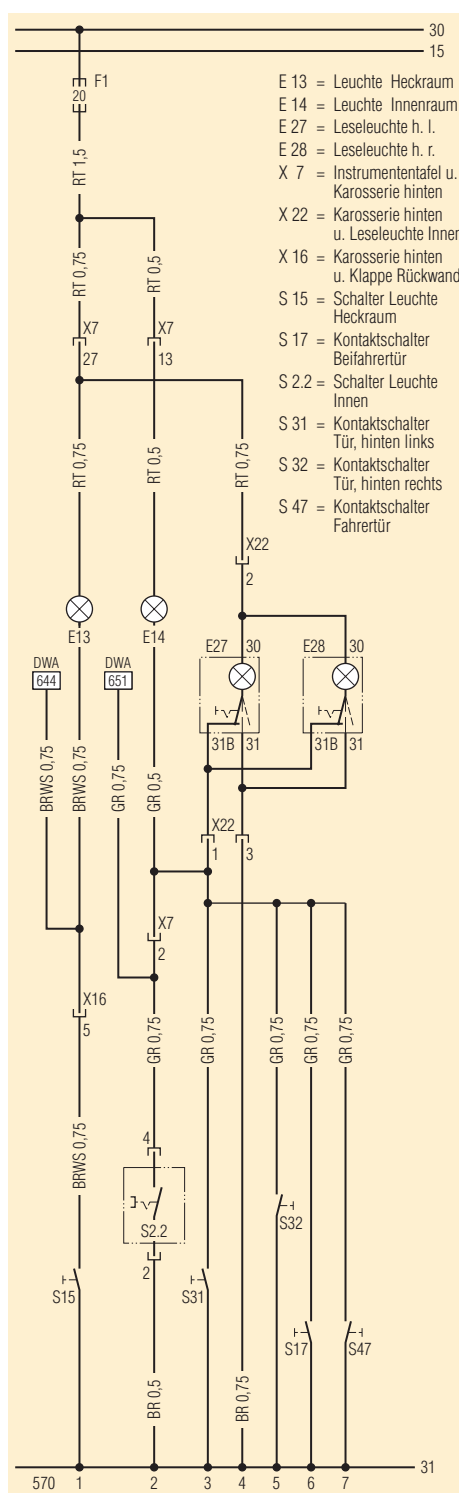


Bild 3.101 Teil-Stromlaufplan in aufgelöster Darstellung, Innenbeleuchtung.

Je nach Fahrzeughersteller können die Stromlaufpläne in ihrem Aussehen leicht variieren und mit weiteren Informationen versehen sein. Bild

3.103 zeigt den Stromlaufplan für ein Anbausteuerggerät mit Hydroaggregat.

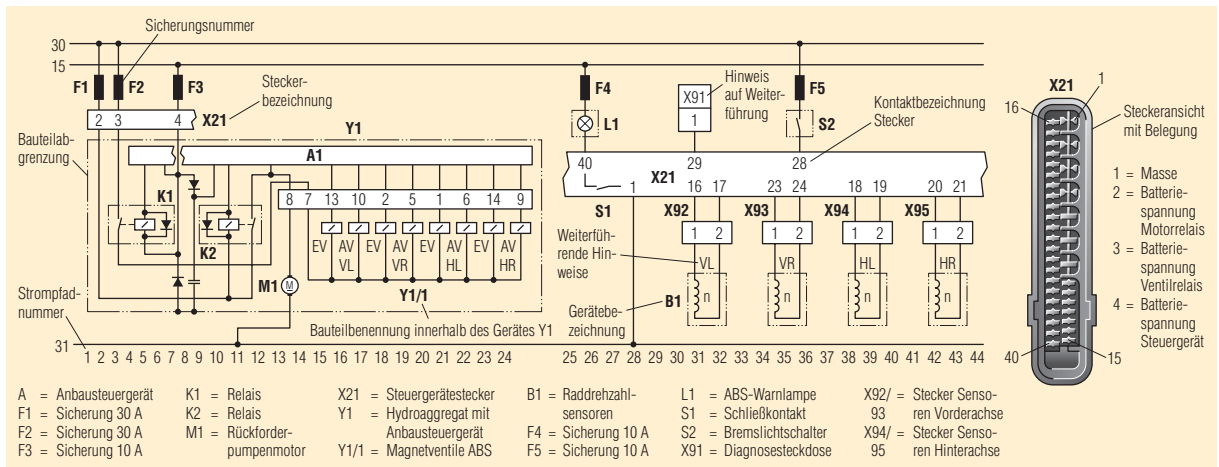


Bild 3.103 Stromlaufplan mit weiterführenden Informationen.

Arbeitsaufträge

- Erklären Sie den Begriff „Kippstufen“ aufgrund der gemeinsamen Funktion der unterschiedlichen Bauteile.
- In der Schaltung (Bild 3.80) sollen die Widerstände R_2 und R_3 identische Widerstandswerte haben, ebenso sollen die Kondensatoren C_1 und C_2 baugleich sein.
 - Was bedeutet diese Bauteilauswahl für die Leuchtzeit der beiden Dioden?
 - Sie tauschen den Widerstand R_3 (4,7 k Ω) gegen einen Widerstand mit 47 k Ω aus. Welche Auswirkung hat dies auf die Leuchtzeit der beiden Dioden?
- Mit einem analogen Vielfachmessgerät wird eine Spannungsmessung durchgeführt und auf der Skale der Wert $U = 8,8$ V abgelesen (Bild 3.104).
 - Erläutern Sie die vier Bildzeichen auf der Vorderseite des Messgerätes.
 - Berechnen Sie den absoluten Messfehler bei der durchgeführten Spannungsmessung.
 - Zwischen welchen Grenzen liegt der wahre Wert der Messgröße?
 - Ermitteln Sie den relativen Fehler in Prozent.
 - Welcher relative Fehler ergibt sich bei einem abgelesenen Messwert von $U = 2$ V und unverändertem Messbereich?
- Ein digitales Vielfachmessgerät zeigt eine Gleichspannung von 12,3 V an. Der benötigte Messbereich stellt sich dabei automatisch ein. Die Herstellerangaben zu den Messtoleranzen bei der Gleichspannungsmessung lauten:

Gleichspannungsmessung

Messbereich	Genauigkeit	Auflösung
400 mV	$\pm (0,8\% + 3 \text{ digits})$	100 μ V
4 V	$\pm (0,8\% + 1 \text{ digit})$	1 mV
40 V	$\pm (0,8\% + 1 \text{ digit})$	10 mV
400 V	$\pm (0,8\% + 1 \text{ digit})$	100 mV
600 V	$\pm (1,0\% + 3 \text{ digits})$	1 V

Zu berechnen sind:

- Der absolute Fehler,
 - die Grenzen, zwischen denen der wahre Wert liegt,
 - der größtmögliche relative Fehler.
5. Erklären Sie den Unterschied zwischen einem Zweistrahl- und einem Zweikanal-Oszilloskop.

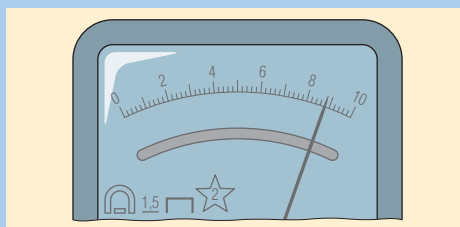


Bild 3.104

4 Steuerungs- und Regelungstechnik

Kraftfahrzeuge verfügen über eine immer größer werdende Anzahl von Steuerungs- und vor allem Regelungssystemen, die für die Funktion vieler Ausstattungsmerkmale notwendig sind (Bild 4.1). Wesentliche Gründe für diese Entwicklung sind:

- erhöhte Ansprüche an den Fahrzeugkomfort (elektronisch geregelte Klimaanlage, Tempomat, Regensensor, ...),
- erhöhte Ansprüche an die Fahrzeugsicherheit (ABS, Antriebs-Schlupf-Regelung, Fahr-Dynamik-Regelung, ...),

- große Fortschritte in der Mikroelektronik, die diese Entwicklung erst ermöglicht haben,
- große Konkurrenz der Fahrzeughersteller, die sich durch Neuerungen und technischen Fortschritt Marktanteile sichern möchten.

Der Autofahrer kennt nur die Vorteile dieser Entwicklung, der Autofachmann aber muss sich genauer mit den Prozessabläufen von Steuerungs- und Regelungssystemen auseinander setzen.

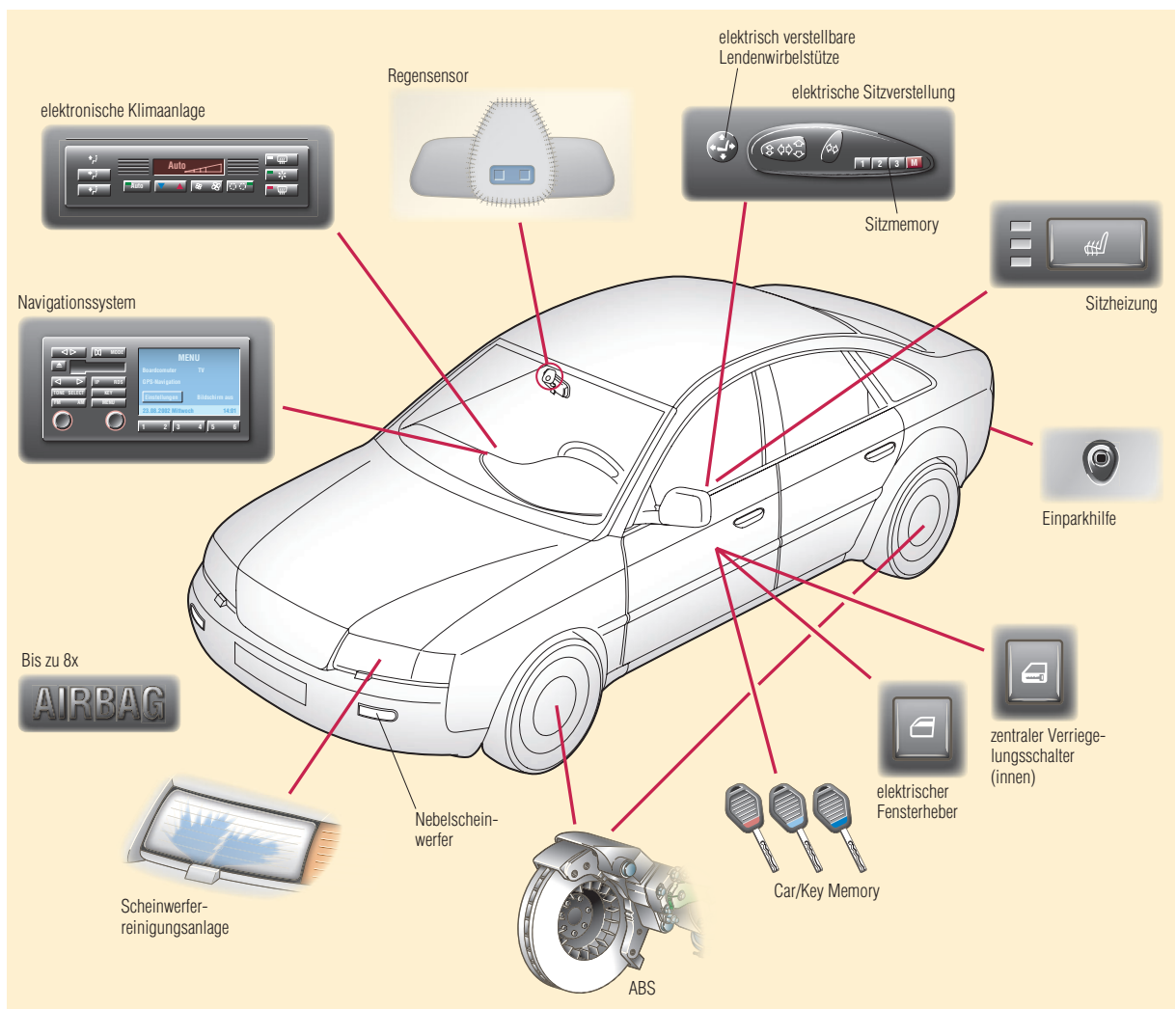


Bild 4.1 Zusammenstellung aktueller Ausstattungsmerkmale von Kraftfahrzeugen.

4.1 Grundlagen

Steuerungs- und Regelungssysteme lassen einen technischen Prozess in vorbestimmter Weise ablaufen. Beide Systeme weisen viele Gemeinsamkeiten auf, unterscheiden sich aber in der Art

des Signalflusses. Dieser ist für den geordneten Ablauf der einzelnen Prozessschritte verantwortlich. Beispiele für Steuerungs- und Regelungssysteme im Kraftfahrzeug zeigt Tabelle 4.1.

Beispiele für eine Steuerung	Beispiele für eine Regelung
• Ventilsteuerung des Motors	• elektronisch geregelte Heizungsanlage
• Gurtstraffersystem	• Antiblockiersystem
• Steuerung der Fahrtrichtung durch das Lenkgetriebe	• Fahrgeschwindigkeitsregelung
• Steuerung der Abgaszusammensetzung im Katalysator (ungeregelter Kat)	• Regelung der Abgaszusammensetzung im Katalysator (geregelter Kat)

Tabelle 4.1 Beispiele für Steuerungs- und Regelungssysteme im Kraftfahrzeug.

Steuerkette:	Anordnung von Bauteilen oder Systemen, die in Reihenstruktur aufeinander einwirken.
Steuerstrecke:	Aufgabengemäß zu beeinflussender Teil des Systems.
Regelkreis:	Alle Glieder des geschlossenen Wirkungsablaufs der Regelung bilden den Regelkreis.
Regelstrecke:	Teil der Anlage, in dem eine Größe aufgabengemäß gegen die Einwirkung von Störgrößen konstant gehalten werden soll.
Stellglied:	Am Eingang der Steuer-/Regelstrecke angeordnete Funktionseinheit, die in den Massestrom und Energiefluss eingreift. Das Stellglied ist Bauteil der Steuer-/Regelstrecke.
Störgröße:	Größe, die in die Steuerung/Regelung von außen unerwünscht eingreift.
Steuerglied:	Verknüpft die einzelnen Eingangssignale zu einem gemeinsamen Ausgangssignal. Dieses wirkt auf das Stellglied.
Vergleichsglied:	Funktionseinheit, die die Regeldifferenz aus Sollwert und Istwert bildet.
Regelglied:	Bildet aus der Regeldifferenz des Vergleichsgliedes die Ausgangsgröße des Reglers.
Regler:	Baueinheit aus Regelglied und Vergleichsglied.
Signalglieder:	Erfassung von verschiedenen physikalischen Größen. Sie formen hieraus Eingangssignale, die an Steuerglieder weitergegeben werden.

Die in diesem Kapitel behandelten Grundlagen, weiterführenden Darstellungen und Begriffe sind Inhalt der DIN 19 226 (Bild 4.2).

An den Systemen „ungeregelter Katalysator“ und „geregelter Katalysator“ werden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen beiden Prozessen gezeigt.

4.1.1 Steuerung

Das Steuern (die Steuerung) ist der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Eingangsgrößen systembedingt die Ausgangsgröße beeinflussen (Bild 4.3).

Merkmal einer Steuerung ist der offene Wirkungsablauf. Abweichungen vom eingestellten Wert durch Störungen werden nicht erfasst, eine eigentlich notwendige Korrektur erfolgt nicht. Da die einzelnen Prozesse nacheinander ablaufen und somit einer Kettenstruktur gleichen, spricht man von einer Steuerkette.

Die Steuerkette wird in eine Steuereinrichtung mit Signal- und Steuerglied (Eingabe und Verarbeitung) und in eine Steuerstrecke (Ausgabe) unterteilt. Die Steuereinrichtung nimmt die Eingangssignale auf, verarbeitet diese und wirkt durch Steuersignale auf die Steuerstrecke. Die Steuerstrecke führt den Arbeitsvorgang aus. In diesem Bereich findet die Energie- und Stoffumsetzung statt (Bild 4.4).

Bild 4.2 Grundbegriffe der Steuerungs- und Regelungstechnik nach DIN 19 226 (Auszug).

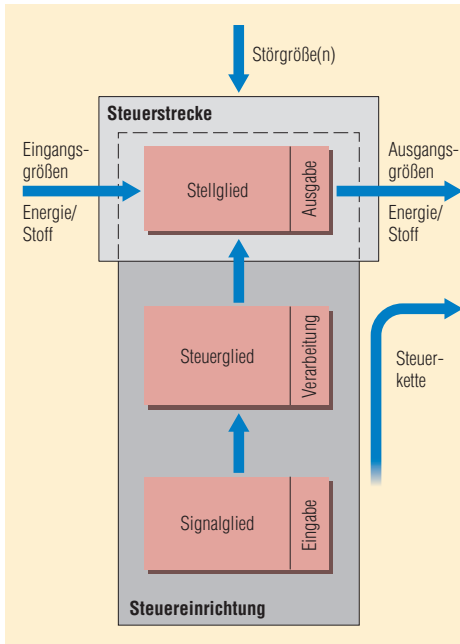


Bild 4.3 Funktionsglieder, Signalfluss und Wirkungsablauf einer Steuerung.

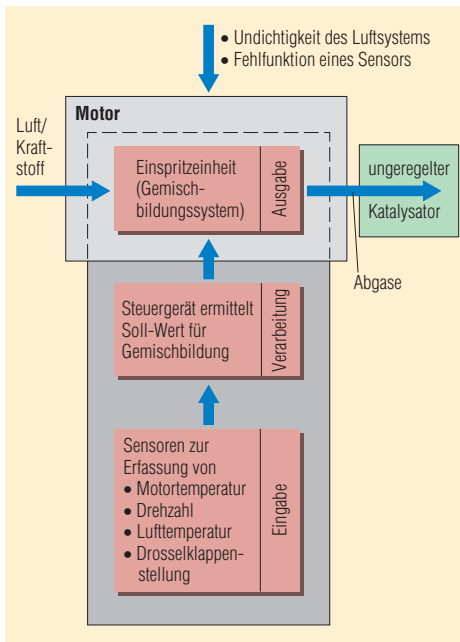


Bild 4.4 Steuerung „Zentraleinspritzung mit ungeregeltem Katalysator“.

4.1.2 Regelung

Das Regeln (die Regelung) ist der Vorgang in einem System, bei dem die zu regelnde Größe als Ist-Wert fortlaufend erfasst und mit dem Soll-Wert verglichen wird. Wird durch das Vergleichsglied eine Abweichung zwischen Soll- und Istwert festgestellt, setzt der Regelvorgang ein. Dazu wird die Ausgangsgröße durch das Stellglied so lange verändert, bis sich Soll- und Istwert angeglichen haben. Durch den ständigen Vergleich von Ist- und Soll-Wert ist der Prozessablauf in sich geschlossen. Die Regelung hat einen geschlossenen Wirkungsablauf. In diesem Zusammenhang spricht man von einem Regelkreis (Bild 4.5).

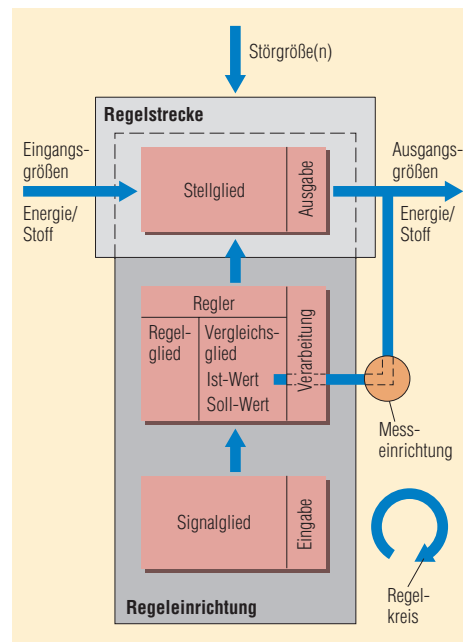


Bild 4.5 Funktionsglieder, Signalfluss und Wirkungsablauf einer Regelung.

Steuerung: Diese Bezeichnung wird sowohl für den Vorgang des Steuerns als auch für das Zusammenwirken der einzelnen Bauteile einer Gesamtanlage benutzt.

Regelung: Diese Bezeichnung wird sowohl für den Vorgang des Regelns als auch für das Zusammenwirken der einzelnen Bauteile einer Gesamtanlage benutzt.

Der Regelkreis wird in eine Regeleinrichtung mit Signalglied und Regler (Eingabe und Verarbeitung) und in eine Regelstrecke (Ausgabe) unterteilt. Die Signalglieder melden ihre Eingangssignale an den Regler, wo diese verarbeitet werden. Das Vergleichsglied bildet die Regeldifferenz aus Soll- und Ist-Wert. Sie wird vom Regelglied aufgenommen, verarbeitet und zu einem Ausgangssignal des Reglers geformt. Das Signal wirkt auf die Regelstrecke, wo der Arbeitsvorgang (Energie- und Stoffumsetzung) ausgeführt wird. Am Ende der Regelstrecke wird der Ist-Wert der Regelung erfasst (Bild 4.6).

Arbeitsaufträge

1. Stellen Sie die Ventilsteuerung eines Motors in Form einer Steuerkette dar (vgl. Bild 4.4).
2. Stellen Sie die Fahrgeschwindigkeitsregelung eines Kraftfahrzeuges in Form eines Regelkreises dar (vgl. Bild 4.6).
3. Nennen Sie weitere Beispiele für Steuerungs- und Regelungseinrichtungen im Kraftfahrzeug.
4. Erklären Sie aus der Steuerungs- und Regelungstechnik den Begriff „Störgröße“.
5. Wie reagieren Steuerungen und Regelungen auf vorhandene Störgrößen?

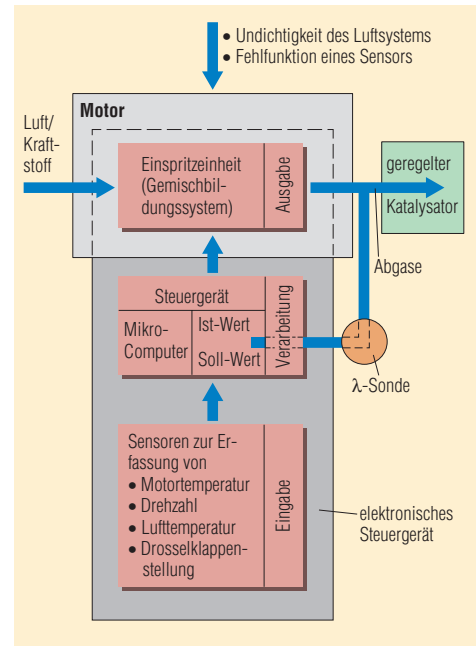


Bild 4.6 Regelung „Zentraleinspritzung mit geregeltem Katalysator“.

4.2 Aufbau von Steuerungen und Regelungen

4.2.1 Arbeitsweise

Der Signalfluss in Steuerungen und Regelungen geschieht nach dem Prinzip der Datenverarbeitung:

EINGABE → VERARBEITUNG → AUSGABE

Die Bezeichnung der Verarbeitungsglieder bei den Systemen unterscheidet sich, da sie unterschiedliche Aufgaben wahrnehmen (Tabelle 4.2). Die Datenverarbeitung in einer Regelung ist umfassender, da für den Regelvorgang noch die Meldung des Ist-Wertes berücksichtigt werden muss. Das Regelglied wird dennoch in vie-

	Eingabe	Verarbeitung	Ausgabe
Steuerung	Signalglied	Steuerglied	Stellglied
Regelung	Signalglied	Regelglied (Regler)	Stellglied
Tabelle 4.2	Bauteile des Signalflusses in einer Steuerung bzw. Regelung.		

len Regelungen als Steuergerät bezeichnet, obwohl dies zu Missverständnissen führen kann. Die genaue Arbeitsweise von Steuerungen und Regelungen kann für beide Systeme gemeinsam dargestellt und erklärt werden, wenn die Erfassung und Verarbeitung des Ist-Wertes nicht weiter betrachtet wird.

4.2.2 Signalarten

In einer Steuerung findet ein Signalfluss statt, durch den die einzelnen Bauglieder angesprochen werden. Die Signale können analog, binär und digital ausgesandt werden (Tabelle 4.3).

Bild 4.7 verdeutlicht grafisch die unterschiedlichen Signalarten. Dabei sind die Signale der Motordrehzahl erfasst und für einen bestimmten Zeitabschnitt aufgezeichnet worden.

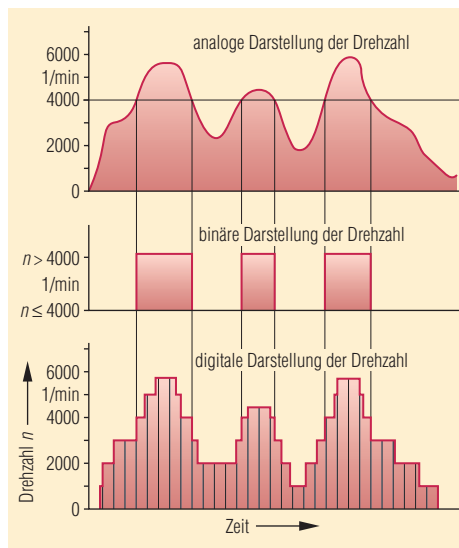


Bild 4.7 Gegenüberstellung der Signalarten.

analog (griech.):
entsprechend,
ähnlich
binär (lat.): aus
zwei Einheiten
bestehend
digital (lat.): mit
Ziffern

Signalart	Erklärung	Beispiel
analog	Ein Signal ist analog, wenn zwischen zwei Zuständen viele Zwischenwerte erfasst und weitergegeben werden können.	Die Drehbewegung der Fensterkurbel kann jede Position zwischen „Scheibe geschlossen“ und „Scheibe geöffnet“ annehmen. Die Scheibe öffnet und schließt analog zur Kurbelbewegung.
binär	Ein Signal ist binär, wenn es nur aus zwei Informationen besteht.	Die Bremslichter leuchten nur, wenn der Fahrer auf die Bremse tritt und hierdurch den Bremslichtschalter schließt. Bleibt die Bremse ungetreten, ist der Schalter geöffnet, die Lichter leuchten nicht auf.
digital	Ein Signal ist digital, wenn Daten in festgelegten Schritten (nicht fortlaufend) übertragen werden.	Eine digitale Wegstreckenanzeige rückt in bestimmten Weglängenabschnitten weiter vor, z. B. alle 100 m oder nach jedem Kilometer. Dazwischen zurückgelegte Wegstrecken werden nicht angezeigt.

Tabelle 4.3

Signalarten.

4.2.3 Signalwandler

Oftmals müssen Signale umgewandelt werden, damit sie verarbeitet werden können. Solche Umwandlungsaufgaben übernehmen Signalwandler.

Analog/Digital-Wandler (A/D-Wandler). Diese wandeln analoge Signale in digitale Signale (oder umgekehrt) um. Im Beispiel (Bild 4.8) erfasst ein von der Temperatur abhängiger Widerstand fortlaufend die Kühlwassertemperatur und verarbeitet diesen Messwert zu einer analogen Signalfolge. Der nachgeschaltete A/D-Wandler formt daraus die entsprechenden digitalen Signale, die von einem Steuergerät verarbeitet werden können.

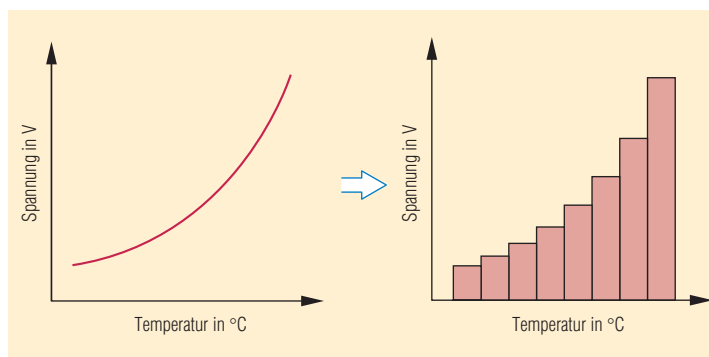


Bild 4.8 Analog-digitale Umwandlung eines Temperatursignals von einem PTC-Geber.

PTC → S. 109

TSZ-h Zündanlagen
und Hallgeber →
S. 270, 273

Analog/Binär-Wandler werden u.a. in der Steuerung von **TSZ-h Zündanlagen** benötigt. Die Wandler-Aufgabe übernimmt hierbei der Hallgeber. Er erfasst die analoge Drehzahl der Verteilerwelle und wandelt sie in einen binären Spannungszustand um, entweder „null“ oder „maximal“. Aufgrund dieser beiden Zustände wird der Primärstrom der Zündung ein- bzw. ausgeschaltet.

4.2.4 Signalglieder (Sensoren)

Signalglieder erfassen die Eingangssignale (physikalische Größen) einer Steuerung bzw. Regelung und leiten diese zur Verarbeitung weiter. Z.B. benötigt das Steuergerät einer elektronischen Zündanlage für einen fehlerfreien Verarbeitungsprozess die Information über Motordrehzahl, Saugrohrdruck, Lastbereich, Kühlmitteltemperatur, Lufttemperatur und Motorklopfen. Die erforderlichen physikalischen Größen wie Drehzahl, Druck, Temperatur usw. werden durch Signalglieder erfasst. Das Signal darf nicht durch mögliche Übergangswiderstände (z.B. durch korrodierte Kontakte) verfälscht werden, da sonst das Eingangssignal nicht dem Betriebszustand entspricht.

4.2.5 Steuerglieder

Steuerglieder nehmen die Signale der Signalglieder auf und verarbeiten diese. Im Anschluss an diesen Prozess leiten die Steuerglieder die entsprechenden Schaltbefehle an die Stell- und Antriebsglieder weiter. Darüber hinaus können Steuerglieder Signale umwandeln, diese verstärken, vergleichen und mehrere Eingangssignale zu einem Ausgangssignal logisch verknüpfen.

4.2.6 Stell- und Antriebsglieder (Aktoren)

Aktoren erhalten ihre Schaltbefehle von den Steuergliedern. Sie stehen am Ende einer Steuereinrichtung und sind hauptsächlich für die Energie- und Stoffumsetzung verantwortlich. Als Stell- und Antriebsglieder werden in der Kfz-Technik z.B. Zündspulen, Relais, Transistoren, Thyristoren, Kontrollleuchten, Zündkerzen und Stellmotoren verwendet.

Bild 4.9 verdeutlicht das Zusammenwirken von Signalgliedern, Steuerglied und Antriebsglied in einer elektronischen Zündanlage.

Arbeitsaufträge

1. Unterscheiden Sie die verschiedenen Signalarten.
2. Erklären Sie einem Freund oder einer Freundin aus dem nichttechnischen Bereich das unterschiedliche Arbeitsprinzip von Steuerungen und Regelungen.
3. Welche unterschiedlichen Aufgaben haben Signalglieder, Steuerglieder und Stellglieder?

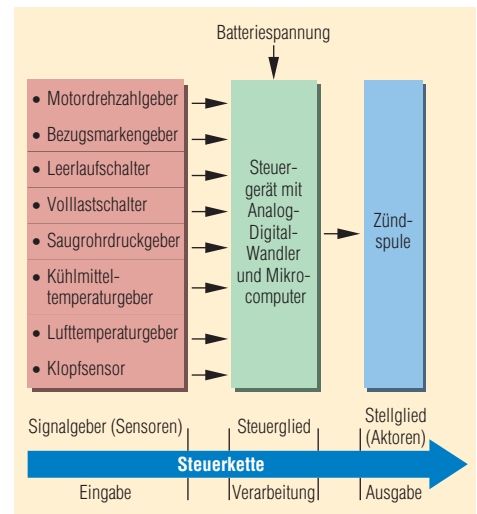
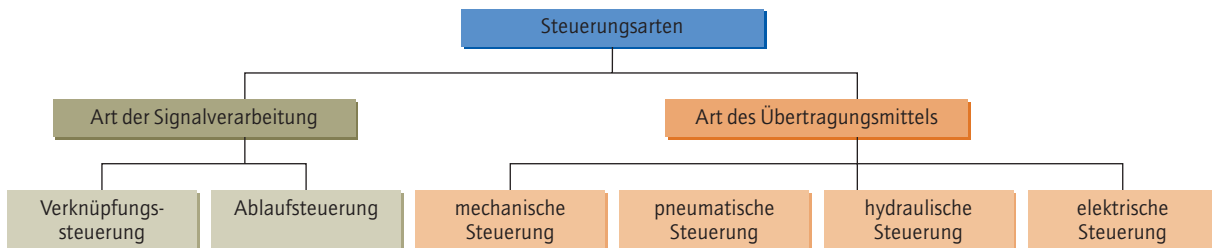


Bild 4.9 Steuerkette einer elektronischen Zündanlage (vereinfachte Darstellung).



4.3 Verknüpfungssteuerung

In einer Verknüpfungssteuerung werden mehrere Eingangssignale logisch miteinander verknüpft. Am Ende des Prozesses steht ein gemeinsames Ausgangssignal, das die Anforderungen der Steuerung erfüllt. Man unterscheidet

drei Grundfunktionen logischer Verknüpfungen (Tabelle 4.4):

- NICHT-Funktion,
- UND-Funktion,
- ODER-Funktion.

Funktion der logischen Verknüpfung	NICHT-Funktion Ausgangssignal vorhanden, wenn kein Eingangssignal anliegt.	UND-Funktion Ausgangssignal vorhanden, wenn an allen Eingängen ein Signal anliegt.	ODER-Funktion Ausgangssignal vorhanden, wenn an mindestens einem Eingang ein Signal anliegt.																																				
Schaltzeichen																																							
elektrisches Schaltbild mit Erklärung	<p>Lampe A leuchtet nur, wenn Schalter S (Öffner) <u>nicht</u> betätigt ist.</p>	<p>Lampe A leuchtet nur, wenn Schalter S1 <u>und</u> S2 geschlossen sind (Reihenschaltung).</p>	<p>Lampe A leuchtet nur, wenn Schalter S1 <u>oder</u> S2 <u>oder</u> beide Schalter geschlossen sind (Parallelschaltung).</p>																																				
Funktionstabelle	<table><tr><th>E</th><th>A</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	E	A	0	1	1	0	<table><tr><th>E2</th><th>E1</th><th>A</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	E2	E1	A	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table><tr><th>E2</th><th>E1</th><th>A</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	E2	E1	A	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
E	A																																						
0	1																																						
1	0																																						
E2	E1	A																																					
0	0	0																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	1																																					
E2	E1	A																																					
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	1																																					
Anwendungsbeispiel	Eine elektrische Anlage funktioniert nur, wenn der Not-Aus-Schalter <u>nicht</u> betätigt ist.	Eine Nebelschlussleuchte leuchtet nur, wenn Lichtschalter S1 <u>und</u> Nebellichtschalter S2 betätigt sind.	Die Innenleuchte eines Pkws leuchtet nur, wenn Türkontaktschalter S1 <u>oder</u> S2 <u>oder</u> beide betätigt sind.																																				

Tabelle 4.4

Grundfunktionen logischer Verknüpfungen.

Tabelle 4.4

Grundfunktionen logischer Verknüpfungen.

Zur Darstellung dieser Grundfunktionen benutzt man genormte Schaltzeichen. Zur Erklärung greift man auf einfache elektrische Schaltungen zurück. Die Verknüpfungssteuerung wird mit Funktionstabellen überprüft. Darin werden alle möglichen Eingangskombinationen mit ihren Ausgangsbelegungen eingetragen. Die Schaltzustände der Eingänge werden durch die Zahlen „0“ (kein Signal) und „1“ (Signal) angegeben.

Der Umfang der Funktionstabellen wird durch die Anzahl der Eingangsgrößen bestimmt. In der Funktionstabelle (Bild 4.10) liegen vier Eingangsvariablen vor. Hieraus ergeben sich 16 Kombinationsmöglichkeiten ($N = 2^4 \rightarrow 16$). Diese müssen nacheinander überprüft werden.

Umfang von Funktionstabellen:

Dieser lässt sich nach der Gleichung $N = 2^n$ berechnen (N = Anzahl der möglichen Kombinationen, n = Anzahl der Eingangsvariablen).

laufende Nummer	Eingangskombination				Ausgang
	E4	E3	E2	E1	A1
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

Bild 4.10 Funktionstabelle mit 4 Eingangsvariablen. Am Ausgang A1 liegt nur dann ein Signal vor, wenn auch am Eingang E4 ein Signal anliegt.

4.4 Ablaufsteuerung

Bei einer Ablaufsteuerung werden die einzelnen Teilschritte nacheinander vollzogen. Der zweite Prozessschritt erfolgt erst, wenn der erste Schritt abgeschlossen ist (Weiterschaltung). Das Weiterschalten kann zeitgeführt oder prozessgeführt erfolgen.

Zeitgeführte Ablaufsteuerung. Hierbei hängt die Weiterschaltbedingung nur von der Zeit ab. In Bild 4.11 wird ein Elektromotor schrittweise bis zu seiner vollen Leistungsaufnahme hochgefahren. Dazu muss die Spannung in 100-V-Schritten von 0 V auf 400 V erhöht werden. Nach Ablauf einer Wartezeit von jeweils 3 Sekunden wird die nächste Spannungsstufe geschaltet. Nach Ablauf von 12 Sekunden ist der Motor hochgefahren.

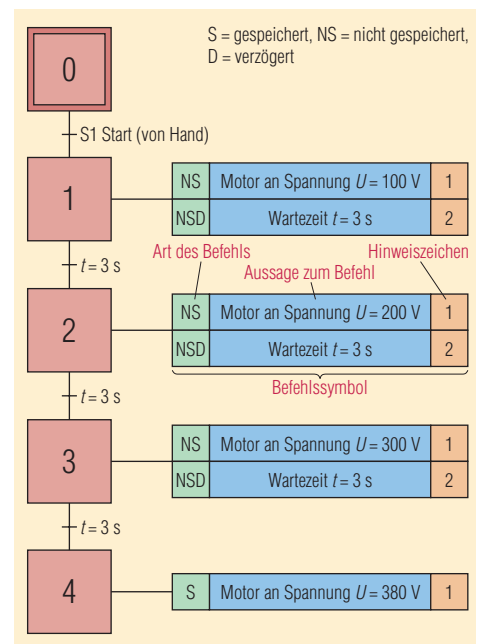


Bild 4.11 Zeitgeführte Ablaufsteuerung.

Prozessgeführte Ablaufsteuerung. Hierbei hängt die Weiterschaltbedingung vom Erreichen vorgegebener Prozessbedingungen ab. Auch in Bild 4.12 wird ein Elektromotor in 100-V-Schritten bis zu seiner vollen Leistungsaufnahme (400 V) hochgefahren. Die gespeicherte Weiterschaltbedingung ist das Erreichen von festgelegten Zwischenstufen bei der Motordrehzahl, z. B. eine Drehzahlerhöhung des anlaufenden Motors von jeweils $n = 1000\text{ min}^{-1}$.

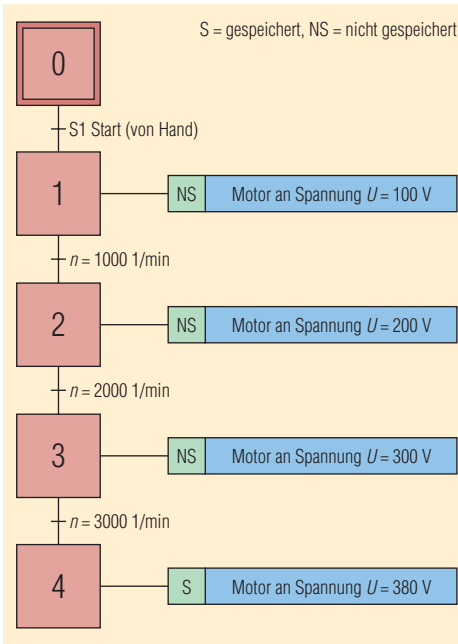


Bild 4.12 Prozessgeführte Ablaufsteuerung.

Arbeitsaufträge

1. Erklären Sie die Unterschiede zwischen einer NICHT- und einer ODER-Grundfunktion an einem Beispiel aus Ihrem beruflichen Umfeld.
2. Erstellen Sie eine Funktionstabelle für 5 Eingangsgrößen. Die Ausgangsbelegungen sind zufällig zu wählen.
3. Die Schranke (A1) zu einer Tiefgarageneinfahrt darf sich nur öffnen wenn:
 - a) Die Beleuchtung eingeschaltet ist (E1),
 - b) der Parkschein entnommen wurde (E2),
 - c) die Lüftungsanlage läuft (E3) und
 - d) und der Rauchmelder kein Signal sendet (E4).
 Entwickeln Sie die entsprechende Funktionstabelle.
4. Stellen Sie die wesentlichen Unterschiede zwischen einer Ablaufsteuerung und einer

4.5 Mechanische Steuerung

Die Bauglieder des Energie- und Signalflusses bestehen ausschließlich aus mechanischen Bauteilen wie Kurvenscheiben, Hebeln, Zahnrädern, Wellen, Seilen, Federn, Kupplungen und Gestängen. Bei der mechanischen Fahrzeuglenkung (Bild 4.13) sind die wesentlichen Bauteile in der Reihenfolge des Signalflusses: Lenkrad, Lenkspindel, Lenkgetriebe, Spurstange, Spurstangenhebel und Räder.

Der Fahrer bewegt das Lenkrad (Signalglied) um mit seinem Fahrzeug eine Fahrtrichtungsänderung einzuleiten. Diese Drehbewegung wird über die Lenkspindel zum Lenkgetriebe (Steerglied) übertragen. Dort erfolgt die Umwandlung der Drehbewegung in eine geradlinige Hin- und Herbewegung der Spurstange und Spurhebel (Stellglieder). Die Räder führen die Fahrtrichtungsänderung aus.

Die Fahrtrichtung entspricht der Steuerstrecke. Mögliche Störgrößen können Windkräfte, Unebenheiten der Fahrbahn, Verschleiß (Spiel) in den Lenkungsbauteilen oder unterschiedlicher Luftdruck in den Reifen sein.

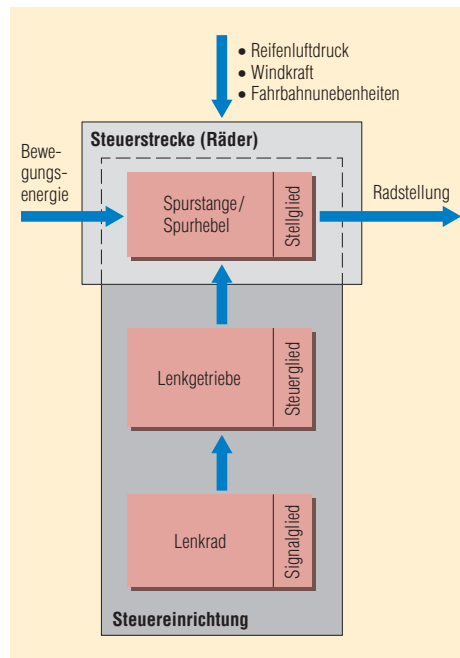


Bild 4.13 Mechanische Fahrzeuglenkung.

Weitere Beispiele für mechanische Steuerungen im Kraftfahrzeug sind die Ventilsteuerung, das handgeschaltete Wechselgetriebe und die mechanische Fenstersenk- und -hebevorrichtung.

Im Vergleich zu anderen Übertragungsmit-teln ergeben sich folgende Vor- und Nachteile mechanischer Steuerungen (Tabelle 4.5).

Vorteile	Nachteile
große Stellgeschwindigkeiten	meist großer Konstruktions- und Fertigungs-aufwand
hoher Wirkungsgrad	
genaue Einhaltung der Verstellwege	längere Übertragungswege sind schwer zu überbrücken
hohe Lebensdauer	

Tabelle 4.5 Vor- und Nachteile mechanischer Steuerungen.

Arbeitsaufträge

1. Entwickeln Sie für die genannten mechanischen Steuerungen die entsprechenden Steuerketten mit ihren Baugliedern. Erklären Sie die Steuerung anhand des Signalfusses.
2. Nennen Sie weitere mechanische Steuerungen im Kraftfahrzeug.

4.6 Pneumatische Steuerung

Energieträger pneumatischer Steuerungen ist die Luft. Sie steuert im Kfz z.B. die Hilfskraft-bremsanlage, die **Fremdkraftbremsanlage**, die Luftfederung und die Bremskraftverstärkung.

Fremdkraftbrems-anlage → S. 459

4.6.1 Physikalische Grundlagen

Einheit des Druckes. Drückt eine Kolbenfläche A mit einer Kraft F auf eine im Zylinder befindliche Luftmenge, so wird diese verdichtet. Hierdurch entsteht ein Überdruck p_e . In der Technik benutzt man das Bar [bar] als Einheit des Druckes. Eine wesentlich kleinere Einheit ist das Pascal [Pa]. Zwischen beiden Einheiten besteht folgende Beziehung:

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 10 \text{ N/cm}^2 = 100\,000 \text{ Pa} \\ 1 \text{ Pa} &= 1 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Druck} &= \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} \\ p &= \frac{F}{A} \end{aligned}$$

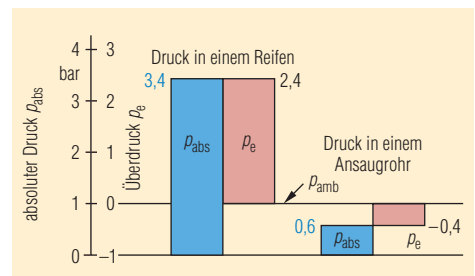


Bild 4.14 Arten des Druckes.

Arten des Druckes (Bild 4.14). Man unterscheidet:

- atmosphärischer Druck p_{amb} . Auf der Erde herrscht gegenüber dem luftleeren Raum ein Druck, der durch das Eigengewicht der Lufthülle erzeugt wird. Seine genaue Höhe wird von der Wetterlage und der geographischen Höhenlage bestimmt. Für den mittleren atmosphärischen Druck wurden $p_{amb} = 1,013 \text{ bar}$ festgelegt.
- Überdruck p_e . Jeder Druck über dem Atmosphärendruck wird als Überdruck bezeichnet; jeder Druck, der darunter liegt, als negativer Überdruck (Unterdruck).
- absoluter Druck p_{abs} . Diese Druckangabe bezieht sich auf den luftleeren Raum (Vakuum), d.h. sie berücksichtigt den atmosphärischen Druck nicht.

4.6.2 Aufbau einer pneumatischen Steuerung

Das Gesamtsystem einer pneumatischen Steuerung zeigt Bild 4.15.

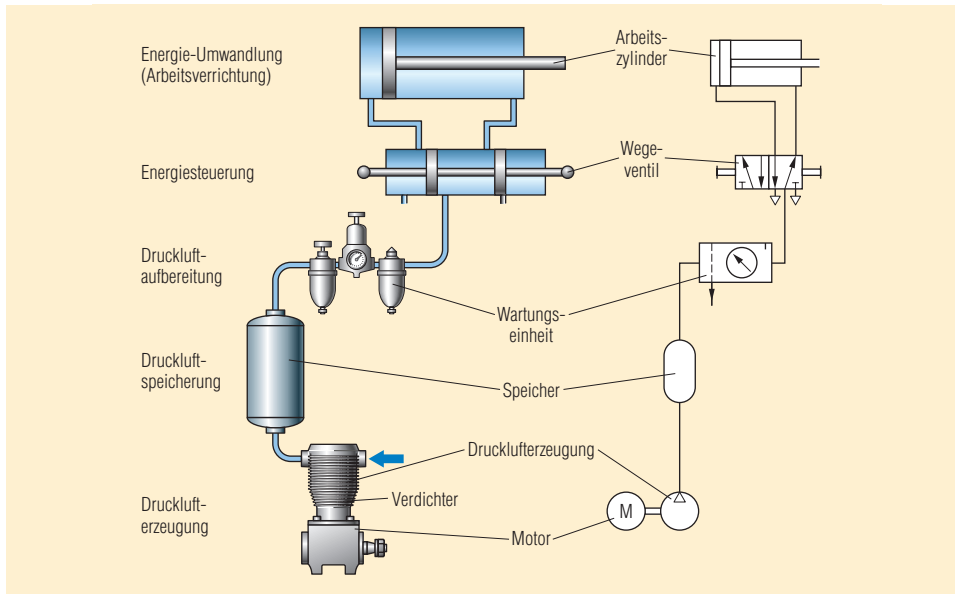


Bild 4.15 Prinzipieller Aufbau einer stationären pneumatischen Steuerung.

Druckluftherzeugung. Im Kfz-Bereich benutzt man vorwiegend die in Tabelle 4.6 (Seite 150) aufgelisteten Verdichterbauarten.

Druckluftspeicherung. Sie erfolgt in Druckbehältern, die neben der Bereitstellung ausreichend großer Luftmengen noch andere wesentliche Aufgaben übernehmen:

- Kühlen der Luft,
- Abscheiden von Kondenswasser,
- Ausgleich von Druckschwankungen,
- Begrenzung des Höchstdruckes durch ein eingebautes Druckbegrenzungsventil.

Ist der maximale Druck im Druckspeicher erreicht, darf keine weitere Druckluft einströmen. Dies wird durch folgende Maßnahmen verhindert:

- Abschalten des Antriebes für den Verdichter (Aussetzregelung),
- Verringerung der Antriebsdrehzahl (Teillastregelung),
- Schalten des Kompressors auf „Nullförderung“ durch offen gehaltene Ansaugventile (Entlastungsregelung).

Druckluftaufbereitung. Die komprimierte Luft muss aufbereitet werden. Dazu benötigt man mehrere Geräte, die meist in einer Aufbereitungseinheit zusammengefasst werden (Bild 4.16):

- Filter (reinigt die Luft von Verunreinigungen),
- Druckregelventil (versorgt die Steuerung mit konstantem Arbeitsdruck),
- Druckanzeige (zeigt den Betriebsdruck an),
- Öler (versorgt die Luft mit Schmiermittel).



Hinweis zur Unfallverhütung: Druckluftbehälter unterliegen einer regelmäßigen Überwachung und strengen Sicherheitsvorschriften.

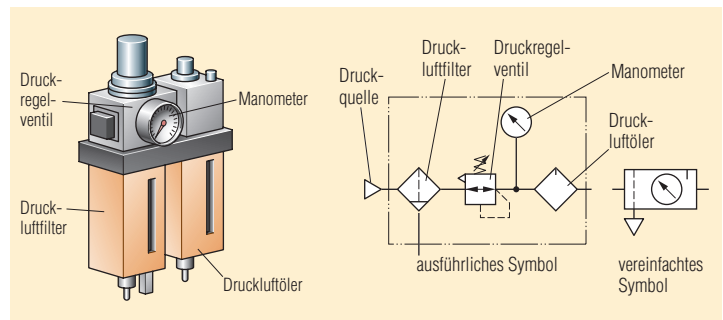


Bild 4.16 Schematische Darstellung einer Aufbereitungseinheit.

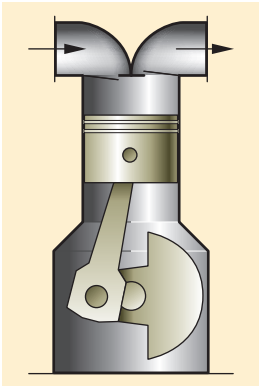
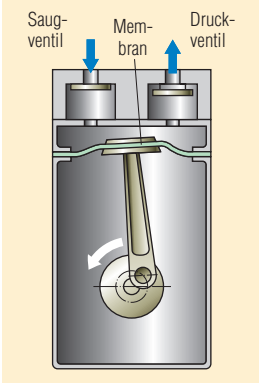
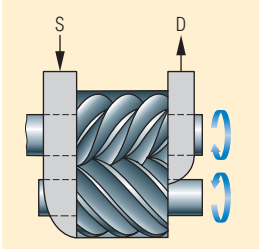
Bezeichnung/ Darstellung	Funktionsbeschreibung	Eigenschaften/ Einsatzbereiche
Hubkolbenverdichter 	<p>Über das geöffnete Saugventil zieht der Kolben bei seiner Abwärtsbewegung Luft in den Zylinder. Beim anschließenden Aufwärtshub ist das Saugventil geschlossen. Die Luft wird verdichtet. Kurz vor dem oberen Umkehrpunkt des Kolbens wird das Druckventil geöffnet. Die verdichtete Luft wird ausgestoßen; es entsteht ein pulsierender Luftstrom.</p>	<p>Werkstattbetrieb:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrbarer und stationärer Einsatz • Betriebsdruck bis 10 bar • Luftmenge bis ca. 100 m³/h <p>Kraftfahrzeug:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bauteil der Druckluftbremsanlage • Betriebsdruck bis ca. 20 bar möglich
Membranverdichter 	<p>Besondere Ausführung des Hubkolbenverdichters. Der Kolben ist durch eine druckdicht eingespannte Membran ersetzt. Die zu komprimierende Luft kommt nicht mit dem Antriebsmechanismus in Berührung und bleibt ölfrei.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ölfreie Druckluft • Betriebsdruck bis 10 bar • geringere Luftmenge als beim Hubkolbenverdichter
Schraubenverdichter 	<p>Luft wird über den Saugstutzen angesaugt. Zwei gegenläufig drehende Schrauben nehmen die Luft mit. Diese wird verdichtet und mit hoher Geschwindigkeit auf die gegenüberliegende Seite befördert. An der Druckseite tritt die zusammengepresste Luft aus; es entsteht ein gleichmäßiger Luftstrom.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsdruck über 10 bar möglich • geräuscharmer Lauf • ölfreier Betrieb bei Drücken unter 10 bar möglich • geeignet für stationären Dauereinsatz in Werkstätten

Tabelle 4.6

Drucklufterzeugung im Bereich der Fahrzeugtechnologie.

**Kompressoren
oder Verdichter:**
Geräte zur Druck-
erzeugung

Energiesteuerung. Für die Steuerung einer pneumatischen Anlage werden Ventile benötigt (Tabelle 4.7). Ihre Anzahl und Bauarten sind von der Funktion und der Komplexität der Steuerung abhängig.














Funktionsgruppen von Ventilen	Aufgabe in der Steuerung	Bauarten (Auszug)	Bildzeichen
Wegeventile	öffnen, schließen und steuern die Wege der Druckluft.	große Auswahl an Wegeventilen mit unterschiedlicher Anzahl an Anschlüssen und Schaltstellungen für die Lösung steuerungstechnischer Aufgaben (Bild 4.17, S. 152)	
Sperrventile	sperren den Weg der Druckluft vorzugsweise in einer Richtung und geben ihn in Gegenrichtung frei.	<ul style="list-style-type: none"> • Rückschlagventil: lässt Druckluft nur in eine Richtung strömen, Gegenrichtung ist gesperrt. • Wechselventil (ODER-Glied): besitzt 2 Eingänge (10 und 11) und 1 Ausgang (12); am Anschluss 12 liegt Druck an, wenn Anschluss 10 oder 11 oder 10 und 11 mit Druckluft versorgt sind. • Zweidruckventil (UND-Glied): besitzt dieselben Anschlüsse wie das Wechselventil; am Ausgang 12 liegt Druck an, wenn die Anschlüsse 10 und 11 gleichzeitig mit Druck beaufschlagt sind. • Drosselrückschlagventil: lässt die Druckluft nur in eine Richtung ungehindert strömen; Druckluft in Gegenrichtung wird gedrosselt. Es nimmt eine Zwischenstellung ein zwischen Sperr- und Stromventilen. 	 Rückschlagventil unbelastet  Rückschlagventil federbelastet  Wechselventil  Schnellenlüftungsventil  Drosselrückschlagventil  Zweidruckventil
Druckventile	regeln den Druck in einer Anlage oder werden durch einen vorgegeben Druck betätigt.	<ul style="list-style-type: none"> • Druckbegrenzungsventil: wird als Sicherheitsventil eingebaut, da es den Druck in der Anlage auf einen bestimmten Wert begrenzt. Ein zu hoher Druck wird ins Freie abgeblasen. • Folgeventil: schaltet erst nach Erreichen eines eingestellten Druckes weitere Verbraucher der Steuerung zu. • Druckreduzierventil: der Druck kann stufenlos eingestellt werden. 	 Druckbegrenzungsventil  Folgeventil  Druckreduzierventil direktwirkend
Stromventile	begrenzen oder stellen die Durchflussmenge der Druckluft ein.	<ul style="list-style-type: none"> • Drosselventil: drosselt die Menge des Druckluftstromes durch eine Verengung des Leitungsquerschnittes; dieser Wert ist fest oder einstellbar. 	 Drosselventil nicht verstellbar  Drosselventil verstellbar  Stromregelventil mit veränderlichem Ausgangsstrom  Stromregelventil mit veränderlichem Ausgangsstrom und Entlastungsöffnung

Tabelle 4.7

Wichtige Ventilausführungen einer Steuerung.

Wegeventile (Bild 4.17). Jede mögliche Schaltstellung des Ventils wird im Schaltzeichen durch ein quadratisches Kästchen symbolisiert. Die Leitungsanschlüsse werden an das Kästchen der Grundstellung gezeichnet. Die Druckluftwege werden mit Richtungspfeilen gekennzeichnet, gesperrte Wege mit einem „T“. Die Betätigungsart des Ventils wird seitlich am äußeren Kästchen angegeben. Die Leitungsanschlüsse der Nullstellung werden mit Zahlen gekennzeichnet, durch die die Aufgabe des Anschlusses verdeutlicht wird (Druckversorgung = 1; Arbeitsleitung = 2, 4; Entlüftung = 3, 5). Die Bezeichnung des Ventils erfolgt nach der Anzahl der Anschlüsse und der Schaltstellungen, z. B. besitzt ein 5/3-Wegeventil 5 Anschlüsse und 3 Schaltstellungen.

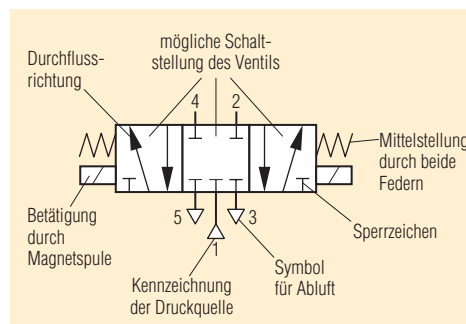


Bild 4.17 Bildzeichenaufbau eines 5/3-Wegeventils.

Energieumwandlung. Hierfür werden Arbeitsglieder eingesetzt. Dies können Zylinder oder Motoren sein.

Zylinder formen pneumatische Energie in mechanische Energie um und führen dabei geradlinige Bewegungen aus.

- Bei einfach wirkenden Zylindern wird die Ausfahrbewegung durch Druckluft gesteuert. Das Einfahren des Kolbens geschieht durch Federkraft.
- Bei doppelt wirkenden Zylindern wird die Ein- und Ausfahrbewegung des Kolben durch Druckluft gesteuert.

Motoren nutzen die Energie der Druckluft um eine Drehbewegung zu erzeugen, z. B. eine pneumatisch angetriebene Bohrmaschine.

4.6.3 Schaltpläne

Zur Darstellung pneumatischer Steuerungen werden Schaltpläne benutzt. Diese sind nach festgelegten Regeln aufgebaut:

- Der Schaltplan stellt die Ausgangsstellung der Steuerung dar.
- Die Elemente der Steuerung werden in Wirkrichtung (Signalfluss) übereinander angeordnet.
- Alle Schaltzeichen werden waagrecht abgebildet.
- Die Schaltstellungen werden durch Kleinbuchstaben (a, b), die Ruhestellung durch die Ziffer (0) kenntlich gemacht.
- Die Arbeitsleitung wird als Volllinie dargestellt.
- Die Steuerleitung wird durch eine Strichlinie dargestellt.
- Alle Leitungen verlaufen senkrecht oder waagrecht. Abbiegungen verlaufen stets rechtwinklig.
- Jedes Bauteil erhält eine Kennzeichnung (Bild 4.18). Sie besteht aus einem Rahmen, in dem die Schaltkreisnummer, der Kennbuchstabe des Bauteils (Tabelle 4.8) und eine weitere Nummer steht. Elemente der Energieversorgung erhalten die Schaltkreisnummer 0. Alle nachgeschalteten Elemente werden fortlaufend ab Bauteilnummer 1 nummeriert.

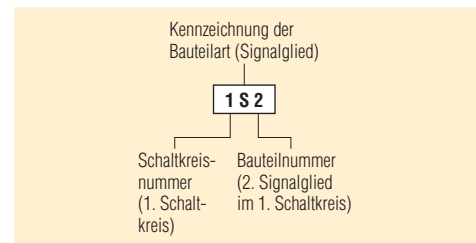


Bild 4.18 Kennzeichnung eines Bauteils.

Kennbuchstabe	Bauteilart (Beispiele)
P	Pumpen und Verdichter (Kompressor)
A	Antriebsglieder (Zylinder)
M	Antriebsmotoren (Elektromotor)
S	Signalglieder
V	andere Ventile (Wechselventil, Zweidruckventil, Drosselrückschlagventil)
Z	andere Bauglieder (Druckbehälter, Aufbereitungseinheit)
Tabelle 4.8	Kennzeichnung der Bauteilart.

4.6.4 Beispiel einer pneumatischen Steuerung

Bild 4.19 zeigt den Schaltplan einer pneumatischen Türsteuerung eines Omnibusses. Zum Öffnen muss entweder von innen oder von außen ein Knopf gedrückt werden. Der Schließvorgang wird vom Fahrer überwacht und eingeleitet. Während der Fahrt muss die Steuerung außer Betrieb sein.

Über das Versorgungsglied **OZ** gelangt die pneumatische Energie für die Türöffnungs- und -schließenanlage zum Versorgungsventil **OV1**. Betätigt der Fahrer dieses Ventil, kann die Tür von innen oder außen durch die Fahrgäste geöffnet werden. Sie müssen dazu die Signalglieder **1S1** oder **1S2** drücken. (Hinweis: **1S1** ist innen

und **1S2** ist außen neben der Tür angebracht.) Beide Signalglieder wirken auf das Steuerglied (Wechselventil) **1V1**. Dieses leitet die Druckluft zum Stellglied (5/2-Wegeventil) **1V2** weiter. Das Ventil schaltet um, der Zylinder **1A1** fährt zur Seite. Die Tür öffnet sich. Zum Schließen betätigt der Fahrer das Signalglied **1S3** in der Armaturentafel. Das Stellglied **1V2** fährt in seine Ausgangslage zurück. Der Zylinder **1A1** schließt die Tür. Der Fahrer stellt den Rastschalter **OV1** zurück, damit die Türschließenanlage drucklos wird. Ein Öffnen der Tür ohne Zustimmung des Fahrers ist nicht möglich.

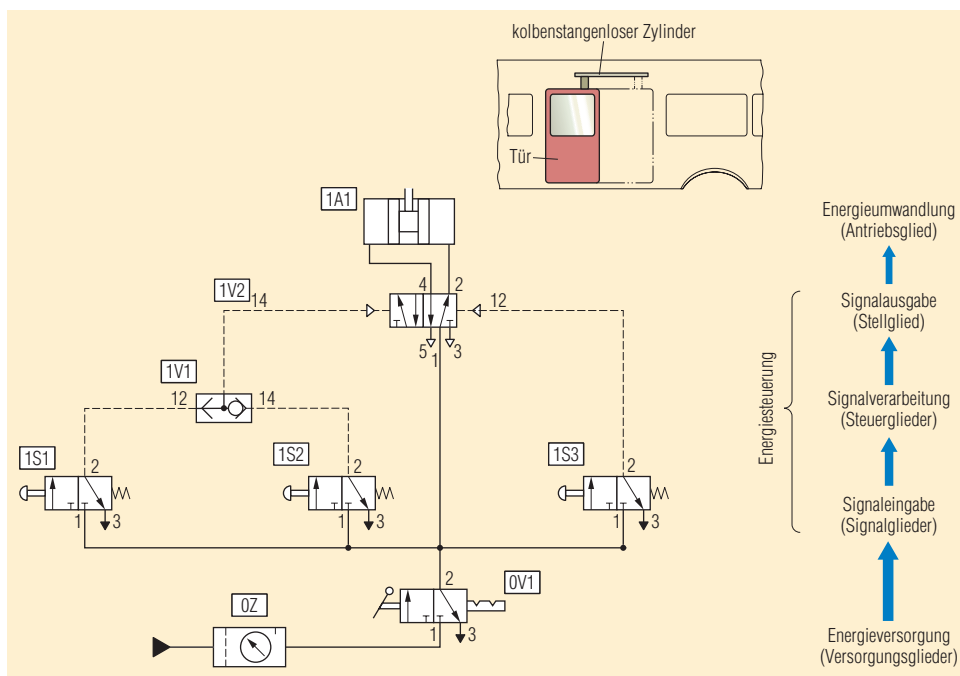


Bild 4.19 Steuerung einer pneumatischen Türöffnung an einem Omnibus.

Arbeitsaufträge

1. Welche Kraft übt die Luftsäule bei mittlerem atmosphärischen Druck auf ein Autodach von $2\text{ m} \cdot 1,4\text{ m}$ aus?
2. Berechnen Sie den Überdruck, wenn bei einem Luftdruck von 1 bar der absolute Druck
 - a) 3 bar und
 - b) 0,7 bar beträgt.
3. Die Ausfahrgeschwindigkeit eines doppelt wirkenden Zylinders soll einstellbar sein. Die Signaleingabe muss aus Sicherheitsgründen gleichzeitig über 2 handbetätigte Ventile erfolgen. Der Einfahrbefehl des Zylinders erfolgt durch Niedertreten eines Fußschalters. Entwickeln Sie eine pneumatische Steuerung, die diesen Anforderungen entspricht.
4. Die beschriebene Steuerung der Omnibustür muss aus Sicherheitsgründen verändert werden. Bei Gefahr muss sich die Türe von innen auch durch Handkraft öffnen lassen. Der Fahrer muss dazu nicht das Ventil **OV1** betätigen. Erweitern Sie die Steuerung durch Auswahl und Einbau eines solchen Not-Öffnungsventils.

4.7 Hydraulische Steuerung

Mit hydraulischen Steuerungen lassen sich große Kräfte übertragen. Als Energieträger werden Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt. Diese können auch Wärme abführen, Bauteile schmieren und sie vor Korrosion schützen. Hydraulische Anlagen haben den Nachteil, dass Rücklaufleitungen vorhanden sein müssen. Bei Lecks im Leitungsnetz tritt Flüssigkeit aus, die umweltgerecht entsorgt werden muss. Unter Druck stehende Leitungen und Bauteile können bersten und zu Verletzungen führen.

Beispiele für die Anwendung hydraulischer Steuerungen im Kraftfahrzeug sind Bremsanlage, Automatikgetriebe, Servolenkung und Stoßdämpfer.

4.7.1 Physikalische Grundlagen

Die Kraft- und Energieübertragung erfolgt durch ruhende und strömende Flüssigkeiten.

Ruhende Flüssigkeiten. Mit der Kolbenfläche A drückt eine Kraft F auf eine Flüssigkeit. Im Inneren der Flüssigkeit entsteht ein Druck, der in einem geschlossenen System an allen Stellen gleich hoch ist (Bild 4.20).

$$\text{Flüssigkeitsdruck} = \frac{\text{Kolbenkraft (Normalkraft)}}{\text{Kolbenfläche}}$$

Die gleichmäßige Druckausbreitung wird beispielsweise zur Kraftübertragung in hydraulischen Pressen genutzt.

$$\frac{\text{Kolbenkraft 1}}{\text{Kolbenfläche 1}} = \frac{\text{Kolbenkraft 2}}{\text{Kolbenfläche 2}}$$

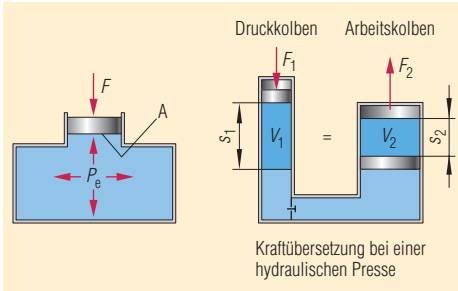


Bild 4.20 Druckausbreitung in einem geschlossenen System.

Strömende Flüssigkeiten. Für den Betrieb einer hydraulischen Anlage muss die unter Druck stehende Flüssigkeit durch das System bewegt werden. Dieses bewegte Flüssigkeitsvolumen in einem Zeitabschnitt nennt man Volumenstrom (Bild 4.21).

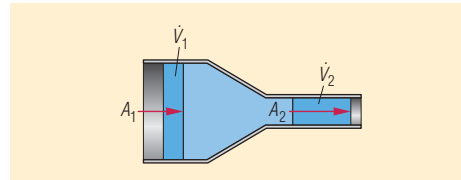


Bild 4.21 Volumenstrom in einem geschlossenen System ($\dot{V}_1 = \dot{V}_2$).

$$\dot{V} = A \cdot v$$

\dot{V} = Volumenstrom
in l/min,
 A = Querschnitts-
fläche,
 v = Strömungsge-
schwindigkeit

4.7.2 Aufbau einer hydraulischen Steuerung

Das Gesamtsystem einer hydraulischen Steuerung besteht aus

- Energieerzeugung,
- Energiesteuerung und
- Energieumwandlung.

Energieerzeugung. Hierzu werden meist folgende Einzelaggregate benötigt:

- Vorratsbehälter zum Sammeln und Bevorraten der Hydraulikflüssigkeit,
- Pumpe zum Ansaugen der Flüssigkeit und Aufbau des Druckes; auch mechanischer Druckaufbau durch den Fahrer ist möglich (Bremsanlage),
- Elektromotor zum Antreiben der Pumpe; in Kraftfahrzeugen wird auch der Verbrennungsmotor als Antriebsquelle genutzt, z. B. bei der Servolenkung,
- Filter zum Reinigen der Flüssigkeit,
- Druckbegrenzungsventil, das den Höchstdruck in Anlagenteilen begrenzt.

Energiesteuerung. Die Steuerung hydraulischer Anlagen kann über den Druck oder über die Menge der Hydraulikflüssigkeit erfolgen. Für die Funktion der Steuerung werden Ventile benötigt. Deren Aufgaben und Bezeichnungen sind weitgehend mit den entsprechenden pneumatischen

Bauteilen vergleichbar (Bild 4.22). Folgende Unterschiede ergeben sich jedoch:

- aufgrund der höheren Drücke sind die einzelnen Bauteile in der Regel kompakter und schwerer,
- an den Wegeventilen ist immer ein Anschluss für die Rückleitung der Flüssigkeit zum Tank notwendig,
- die Leitungsanschlüsse an allen Ventilen werden durch Buchstaben (und nicht durch Zahlen) gekennzeichnet (Tabelle 4.9, S. 156).

Energieumwandlung. Es werden vergleichbare Arbeitsglieder wie in der Pneumatik eingesetzt.

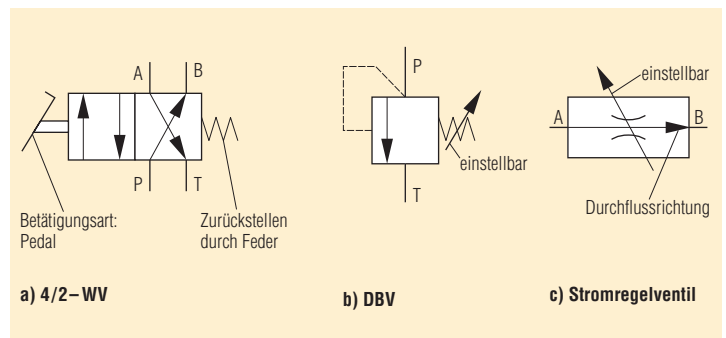


Bild 4.22 Anschlüsse für ein a) 4/2-Wegeventil, b) Druckbegrenzungsventil, c) Stromregelventil.

Anschlussart	Kennbuchstabe
Arbeitsleitung	A, B, C
Druckleitung von der Pumpe	P
Abflussleitung zum Vorratsbehälter	T
Steuerleitung	X, Y, Z
Tabelle 4.9	Kennbuchstaben zur hydraulischen Leitungskennzeichnung.

4.7.3 Schaltpläne

Ihr Aufbau ist vergleichbar mit dem einer pneumatischen Steuerung. Dem Energiefluss folgend sind die einzelnen Bauglieder von unten nach oben anzuordnen. Die Kennzeichnung hydraulischer

Bauglieder ist identisch mit denen pneumatischer Elemente. Alle Bauteile des Hydraulikaggregats erhalten die Schaltkreisnummer 0.

4.7.4 Beispiel einer hydraulischen Steuerung

Bild 4.23 zeigt den Schaltplan einer Kraftfahrzeughebevorrichtung (Ein-Säulen-Hebebühne), die hydraulisch betätigt wird. Die Auf- und Abfahrgeschwindigkeit ist einstellbar. Bei Ausfall der Energieversorgungseinheit darf die Bühne nicht selbstständig herunterfahren. Die Steuerung wird über einen Handschalter betätigt.

Der Elektromotor **0M1** treibt die Hydraulikpumpe **0P1** an. Diese saugt die Hydraulikflüssigkeit aus dem Tank **0Z1**. Der Leitungsdruck wird aufgebaut. Sein Wert kann am Druckanzeiger **0Z3** abgelesen werden. Das einstellbare Druckbegrenzungsventil **0V1** sorgt dafür, dass der Leitungsdruck nicht über den eingestellten Wert steigen kann. Sollte der Druck zu hoch werden, öffnet das Ventil. Dadurch fließt die Flüssigkeit so lange zurück zum Tank, bis der Druck wieder unter dem Grenzwert liegt. Durch den Leitungsdruck wird ebenfalls das federbelastete Rückschlagventil **0V2** geöffnet. Über den Handhebel wird das 4/2-Wegeventil **1V1** betätigt. Die Flüssigkeit strömt durch das einstellbare Stromregelventil **1V2** auf die Kolbenvorderseite im Differenzialzylinder **1A**. Am Stromregelventil ist die Ausfahrgeschwindigkeit des Kolbens einstellbar, da der parallele Weg durch das Rückschlagventil gesperrt ist. Der Kolben fährt aus. Dabei wird die Flüssigkeit aus dem Raum der Kolbenrückseite durch das Rückschlagventil des Stromregelventils **1V3** gedrückt. Über das Ventil **1V1** und das Filter **0Z2** läuft die Flüssigkeit zurück in den Tank. Das federbelastete Rückschlagventil **0V2** hat eine Sicherungsfunktion. Falls die Druckerzeugung ausfallen sollte, bleibt oberhalb des Ventils der Leitungsdruck erhalten. Die ausgefahrene Bühne fährt auch unter Belastung nicht automatisch ein.

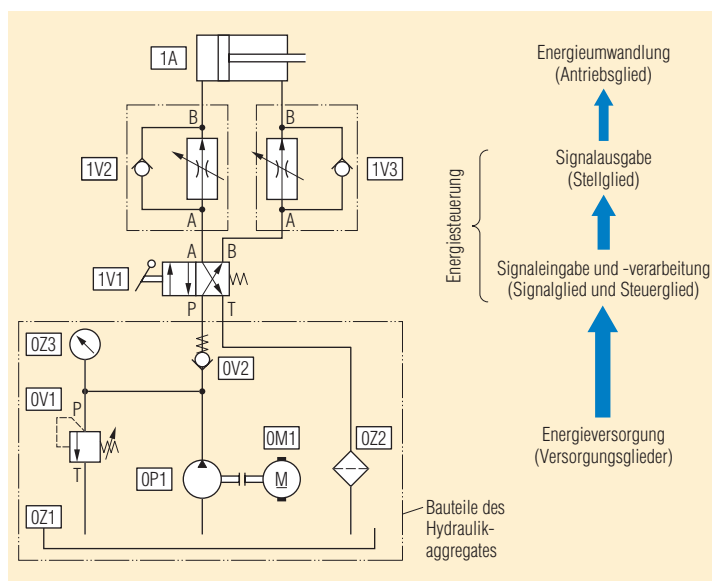


Bild 4.23 Steuerung einer hydraulischen Kfz-Hebevorrichtung.

Arbeitsaufträge

1. Auf den Arbeitskolben einer hydraulischen Presse wirkt eine Kraft von 10 000 N. Der Druckkolben hat einen Durchmesser von 50 mm. Auf ihn wird mit einer Kraft von 500 N gedrückt. Berechnen Sie
 - a) den Durchmesser des Arbeitskolbens und
 - b) die hydraulische Übersetzung.
2. Ein Differenzialzylinder wird mit einem Volumenstrom von 12 l/min belastet. Der Innendurchmesser des Zylinders beträgt 68 mm, der Kolbenstangendurchmesser 25 mm.
 - a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Kolbens in m/min für die Aus- und Einfahrbewegung.
 - b) Berechnen Sie die Druckübersetzung.
3. Erklären Sie, warum in der Steuerung (Bild 4.23) parallel zum Stromregelventil ein Rückschlagventil geschaltet ist.
4. Das in der Steuerung (Bild 4.23) eingebaute 4/2-Wegeventil **1V1** ist schlecht gewählt. In beiden Stellungen muss die Pumpe stets gegen den bestehenden Leitungsdruck arbeiten. Welches Ventil würden Sie auswählen, damit die Pumpe bei stehendem Kolben entlastet wird?

4.8 Elektrische Steuerung

Elektrische Steuerungen können größere Distanzen mithilfe elektrischer Leitungen einfach und schnell überbrücken. Elektrische Bauteile haben meist kleine Abmessungen. Ungünstig sind oft die geringen Kräfte, die durch rein elektrische Steuerungen erzeugt werden können. Dieser Nachteil kann durch die Koppelung der Steuerung mit pneumatischen oder hydraulischen Stellgliedern ausgeglichen werden.

Dazu werden im Steuerteil die Signale durch Sensoren erfasst, elektrisch übertragen und verarbeitet. Elektrisch betätigte Magnetventile bilden die Schnittstelle zwischen dem elektrischen Steuerteil und den pneumatisch bzw. hydraulisch betriebenen Bauteilen des Arbeitsteils (Tabelle 4.10, S. 158).

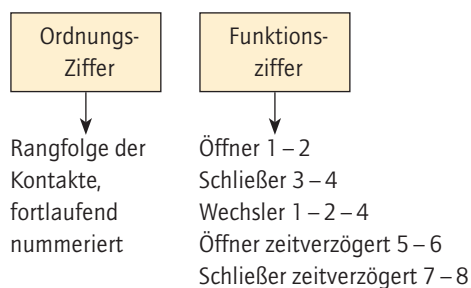
Ausführung	Aufbau				Beispiele
	Eingabe	Verarbeitung	Ausgabe	Arbeitsteil	
elektrische Steuerung	Schalter	Relais elektronische Bausteine	Elektro-Motor Lampe Heizelement Elektromagnet Zündkerze ...		elektrische Fensterheber
elektropneumatische Steuerung	Sensor	Mikroprozessoren	Magnetventil	pneumatisch betätigter Zylinder	elektronisch geregeltes Luftfedersystem
elektrohydraulische Steuerung	Grenztaster	Programme		hydraulisch betätigter Zylinder	Antiblockiersystem (ABS)
Tabelle 4.10	Beispiele für den Aufbau elektrischer Steuerungen.				

Luftfedersystem
→ S. 409

ABS → S. 570

4.8.1 Schaltpläne elektrischer Steuerungen

Stromlaufpläne verdeutlichen die Funktion elektrischer Steuerungen. Darin wird für jedes gesteuerte Bauteil ein eigener Stromweg aufgezeigt (aufgelöste Darstellung). Dieser steht senkrecht zwischen einer Plusleitung L+ und einer Minusleitung L-. Die Bauteile werden durch genormte Zeichen dargestellt. Ergänzt werden die Zeichen durch Angabe eines Kennbuchstabens (Tabelle 4.11) und einer Zählnummer. Jede Bauteilart wird separat fortlaufend durchgezählt, beginnend mit der Ziffer 1. Jeder Kontaktanschluss an einem Schalter erhält eine zweistellige Kennziffer. Diese besteht aus:



Die normgerechte Anschlusskennzeichnung eines anzugsverzögerten Zeitrelais verdeutlicht die Bauteilkennzeichnung in elektrischen Schaltplänen (Bild 4.24).

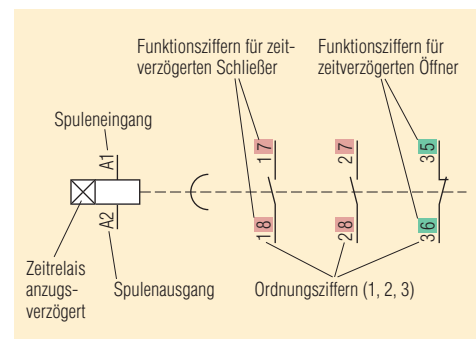


Bild 4.24 Anschlusskennzeichnung eines anzugsverzögerten Zeitrelais.

Kennbuchstaben	Art des Bauteils	Beispiele
F	Schutzeinrichtung	Sicherung
K	Relais	anzugsverzögertes Zeitrelais
S	Schalter	Grenztaster
Y	elektrisch gesteuerte mechanische Einrichtung	Magnetventil
Tabelle 4.11	Kennbuchstaben elektrischer Bauteile.	

Magnetspulen und die einzelnen Kontaktreihen der Relais werden in verschiedenen Strompfaden eingetragen. Mechanische Verbindungen werden nicht dargestellt. Elektrische Verbindungen sind durch Volllinien gekennzeichnet, Verzweigungsstellen durch einen Punkt. Die Strompfade werden fortlaufend nummeriert. Die Steuerung ist im Ausgangszustand dargestellt. Alle Schalter sind unbetätigt, Relais und Magnetventile ohne Spannung. Die angeschlossenen Schaltkontakte der Relais werden in einer separaten Schaltglieder-

tafel eingetragen. Diese zeigt, in welchem Strompfad die Kontakte der entsprechenden Relais eingetragen sind.

Die aufgelöste Darstellung der Steuerung in einem Stromlaufplan sagt nichts über Größe, Form oder räumliche Anordnung der elektrischen Bauteile aus. Sie verdeutlicht jedoch die Funktionsweise der elektrischen Steuerung.

4.8.2 Schaltpläne elektropneumatischer und elektrohydraulischer Steuerungen

Bei der Darstellung dieser kombinierten Steuerungen wird der elektrische Teil vom pneumatischen bzw. hydraulischen Teil getrennt. Der elektrische Teil wird wie zuvor beschrieben veranschaulicht. Der Arbeitsteil wird durch einen hydraulischen bzw. pneumatischen Schaltplan verdeutlicht. Seine Darstellung beginnt mit dem elektrisch betätigten Magnetventil (Bild 4.25).

Beispiel einer elektropneumatischen Steuerung. Die in Bild 4.19 (Seite 153) erläuterte pneumatische Steuerung einer Omnibustür wird durch eine elektropneumatische Steuerung ersetzt. Die Anforderungen an die Steuerung bleiben unverändert (Bild 4.26).

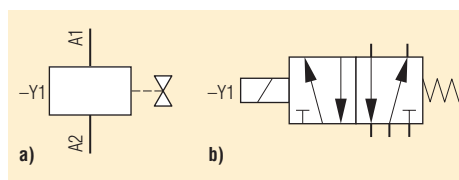


Bild 4.25 Symbolhafte Darstellung von Wegeventilen in a) elektrischen Schaltplänen und b) hydraulischen bzw. pneumatischen Schaltplänen.

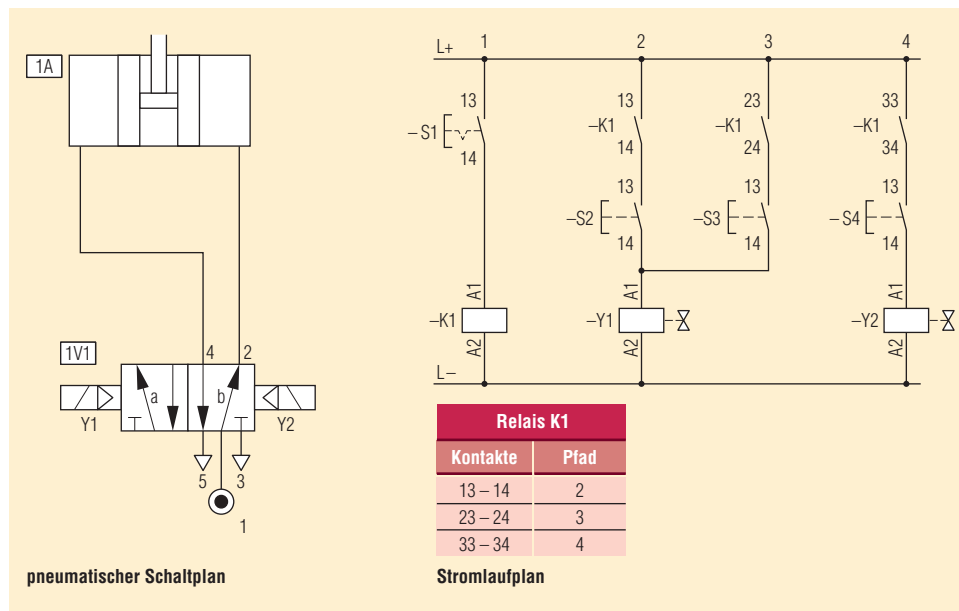
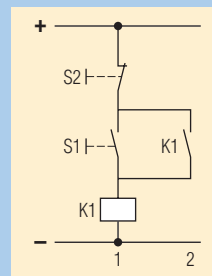


Bild 4.26 Elektropneumatischer Schaltplan einer Omnibustür-Steuerung.

Arbeitsaufträge

1. Erklären Sie die Funktion der elektropneumatischen Steuerung aus Bild 4.26.
2. Skizzieren Sie einen Schaltplan in aufgelöster Darstellung für eine UND-Verknüpfung und für eine ODER-Verknüpfung. Die Schalter S1 und S2 sollen ein Relais K1 einschalten.
3. Für die Steuerung eines Zylinders durch ein Wegeventil mit Federrückstellung ist eine elektrische Selbsthaltung notwendig.
 - a) Erklären Sie die Funktion der nebenstehenden Selbsthaltung.
 - b) Warum ist bei der Wahl dieses Wegeven-



5 Informationstechnische Grundlagen

5.1 Bedeutung der Informationstechnik

Die Informationstechnik (IT) oder EDV behandelt

- Erfassung, Aufnahme,
- Verarbeitung, Speicherung, Auswertung,
- Ausgabe von Informationen.

Mithilfe der elektronischen Datenverarbeitung, die immer nach dem EVA-Prinzip abläuft, lassen sich Zuverlässigkeit, Sicherheit und Komfort von Kraftfahrzeugen verbessern. Auch die tägliche Arbeit in Kfz-Werkstätten und Autohäusern wird erheblich erleichtert.

EDV: elektronische Datenverarbeitung

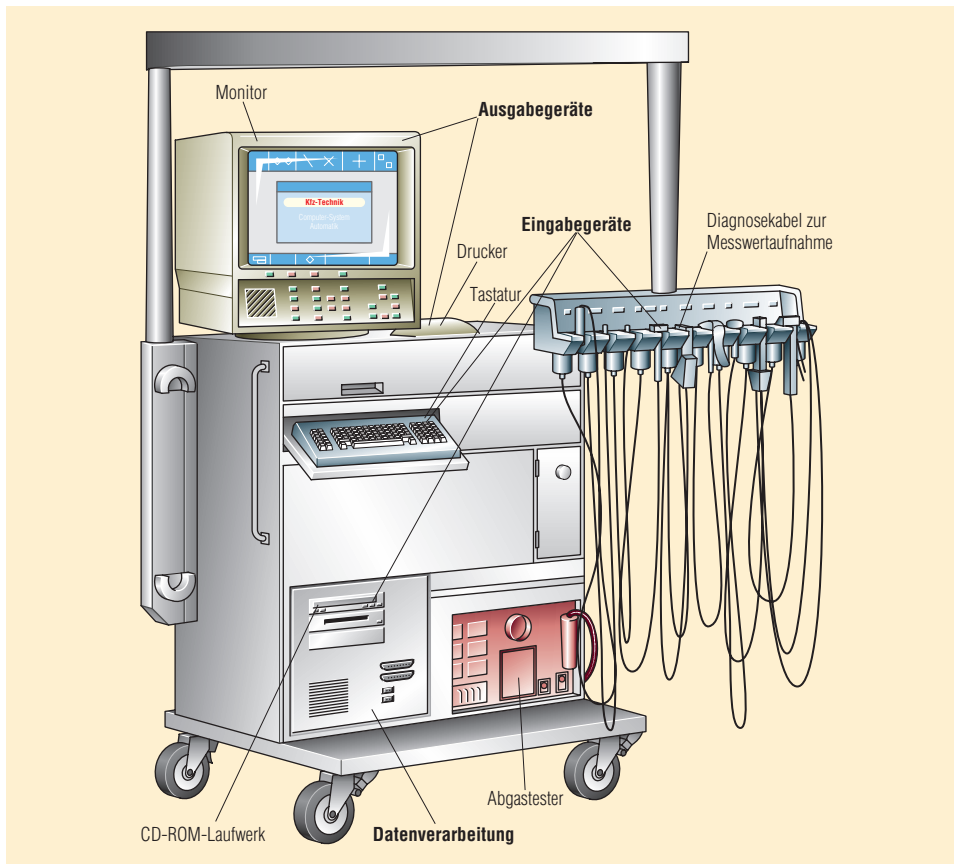
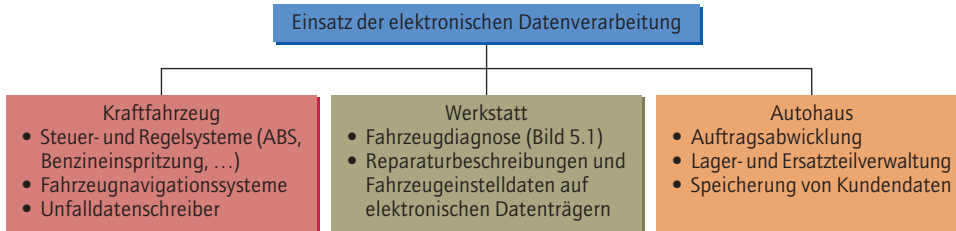


Bild 5.1 Einsatz des Motortesters zur Fahrzeugdiagnose in der Werkstatt.

5.2 Grundlagen der Datenverarbeitung

5.2.1 Daten als Grundlage der Verarbeitung

Daten sind aus einzelnen Zeichen (Datenelementen) aufgebaute Informationen, die von Menschen und/oder Maschinen erkannt werden. Man unterscheidet:

- Numerische Datenelemente: 2, 7, 9 usw.
- Alphabetische Datenelemente: A, b, d, x usw.
- Grafische Datenelemente: + # →, usw.

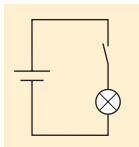
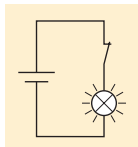
In dieser Form kann ein Computer die Datenelemente nicht verarbeiten. Er muss sie zunächst in eine für ihn les- und verarbeitbare Form umwandeln. Das Ergebnis dieser Umwandlung (Codierung) ist eine Abfolge von elektrischen Impulsen.

5.2.2 Bit, Byte, Megabyte und „mehr“

Computer sind aus sehr vielen elektronischen Stromkreisen aufgebaut, wobei ein einzelner Kreis nur zwei unterschiedliche Schaltstellungen aufweisen kann, nämlich Ein und Aus (Tabelle 5.1). Um diese Schaltstellungen darzustellen,

wird das duale Zahlensystem verwendet, das mit den Ziffern 0 und 1 auskommt. Dieses System wird auch als Binär-System bezeichnet. Die hieraus abgeleitete kleinste Informationseinheit der Datenverarbeitung nennt man 1 Bit.

binary digit
(engl.): zweiwertiges Zeichen

mögliche Schaltstellung	Stromkreis geöffnet	Stromkreis geschlossen
		
Schaltzustand	Aus	Ein
Stromfluss	nein	ja
zugewiesene Binärzahl	0	1
verarbeitbare Informationsmenge	2 darstellbare Zeichen = 1 Bit	
Tabelle 5.1 Schaltzustände eines einfachen Stromkreises mit abgeleiteter Dateninformation.		

Mit einer größeren Anzahl parallel geschalteter Bits lassen sich gleichzeitig größere Informationsmengen verarbeiten. 2 Bits können schon $2^2 = 4$ Schaltzustände einnehmen (binär 00, 01, 10, 11) und damit vier unterschiedliche Informationen weiterleiten. Für 8 Bits steigt die Kombinationsmöglichkeit auf $2^8 = 256$ Informationen. Den Zusammenschluss von 8 Bits bezeichnet man als **1 Byte**. Die Kombinationsmöglichkeiten eines Bytes reichen aus um alle in einer Sprache bekannten Buchstaben, Ziffern, Rechenoperationen, Sonderzeichen und Grundbefehle unterscheiden und verarbeiten zu können.

Leistungsfähige Computer sind so aufgebaut, dass sie mehrere Bytes gleichzeitig ansprechen und somit 2, 4 oder mehr Datenelemente verarbeiten können. Ein 32-Bit-Rechner verarbeitet 4 Byte gleichzeitig.

Computer können riesige Datenmengen verarbeiten. Um diese in überschaubaren Zahlenwerten anzugeben, gibt es für Speichermedien Mengeneinheiten, die auf der Einheit Byte aufbauen (Tabelle 5.2).

Mengeneinheit	Abkürzung	mathematischer Bezug	entsprechende Byte-Menge
1 Kilobyte	KB/Kbyte	2^{10} Byte	1024
1 Megabyte	MB/Mbyte	2^{10} KB	ca. 1,05 Millionen
1 Gigabyte	GB/Gbyte	2^{10} MB	ca. 1,07 Milliarden
1 Terabyte	TB/Tbyte	2^{10} GB	ca. 1,1 Billionen
Tabelle 5.2 Maßeinheiten in der Datenverarbeitung.			

KB/KByte: Die Schreibweise eines „großen K“ hat sich entgegen der SI-Regel durchgesetzt.

5.2.3 Zahlensysteme

Das duale Zahlensystem bildet die Grundlage der Datenverarbeitung. Es benötigt für die Darstellung eines einzelnen Datenelementes immer eine achtstellige Ziffernfolge (8 Bit), was das Schreiben von Programmen sehr unübersichtlich und umständlich macht. Deshalb wurde das Hexadezimalsystem eingeführt.

Es verwendet die Ziffern 0 bis 9 und die Buchstaben A bis F, also 16 unterschiedliche Zeichen. 4 Bits werden zu einem Zeichen zusammengefasst: $2^0 + 2^1 + 2^2 + 2^3 = 15$. Mit einem Byte können also zwei Hexadezimalzahlen dargestellt werden (Tabelle 5.3).

Hexa (griech.): sechs
Hexadezimalsystem: „16er-System“

Zahlensystem	Dezimalsystem	Dualsystem	Hexadezimalsystem
Basis	10	2	16
Ziffernvorrat	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 <small>A₍₁₀₎ B₍₁₁₎ C₍₁₂₎ D₍₁₃₎ E₍₁₄₎ F₍₁₅₎</small>
Stellenwert Ist gleich (=)	... 10 ² 10 ¹ 10 ⁰ 100 10 1	2 ⁷ 2 ⁶ 2 ⁵ 2 ⁴ 2 ³ 2 ² 2 ¹ 2 ⁰ 128 64 32 16 8 4 2 1	... 16 ² 16 ¹ 16 ⁰ 256 16 1
Beispielzahl	2 4 8	1 1 1 1 1 0 0 0	F 8
Berechnung im Dezimalsystem	100 10 1 x x x 2 4 8 = = = 200 + 40 + 8 Summe: 248	128 64 32 16 8 4 2 1 x x x x x x x x 1 1 1 1 1 0 0 0 = = = = = = = = 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 0 + 0 + 0 Summe: 248	256 16 1 x x x 0 15 8 = = = 0 + 240 + 8 Summe: 248
Tabelle 5.3 Vergleich der Zahlensysteme; Umrechnung in das Dezimalsystem.			

5.2.4 ASCII- und ANSI-Zeichensatz

Jedes in die Tastatur eingegebene Zeichen entspricht einer Ziffernfolge von 8 Bit und wird bei seiner Eingabe automatisch in verarbeitbare elektronische Impulse umgewandelt. Die ASCII- und ANSI-Zeichensätze liefern hierzu die Zuordnungsvorschriften zwischen Tastaturzeichen und Bitfolge (Tabelle 5.4, S. 164).

Beide Codierungen unterscheiden sich in wenigen Zuordnungsvorschriften voneinander. Das **Windows-Betriebssystem** und **Windows-Anwendungen** arbeiten mit dem ANSI-, DOS-Anwendungen mit dem ASCII-Zeichensatz.

Ein problemloser Datenaustausch ist daher zwischen beiden Anwendungen nur nach einer entsprechenden Angleichung der Zeichen (Zeichenkonvertierung) möglich.

Betriebssysteme und Anwendungsprogramme
→ S. 168

ASCII: American Standard Code for Information Interchange, amerikanischer Standardcode für Informationsaustausch

ANSI: American National Standard Institute, amerikanisches Institut für nationalen Standard

Tastaturzeichen	Dualzahl nach ANSI- und ASCII-Code	Hexadezimalzahl	Dezimalzahl
@	0 1 0 0 0 0 0 0	40	64
E	0 1 0 0 0 1 0 1	45	69
X	0 1 0 1 1 0 0 0	58	88
t	0 1 1 1 0 1 0 0	74	116
D	0 1 0 0 0 1 0 0	44	68

Tabelle 5.4

Beispiele für gemeinsame Standardzeichen im ASCII- und ANSI-Code.

Beispielsweise verarbeitet der Computer das auf der Tastatur eingegebene alphabetische Datenelement „D“ (Dezimalzahl 68) nach dem Schema in Tabelle 5.5.

Informationseinheit	8 Bits entsprechen 1 Byte							
Stromkreis	1	2	3	4	5	6	7	8
Schaltzustand	Aus	Ein	Aus	Aus	Aus	Ein	Aus	Aus
Stromfluss	nein	ja	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Bitfolge	0	1	0	0	0	1	0	0
Dezimalzahl	6 8							
Codierung	Entspricht dem Buchstaben „D“							

Tabelle 5.5

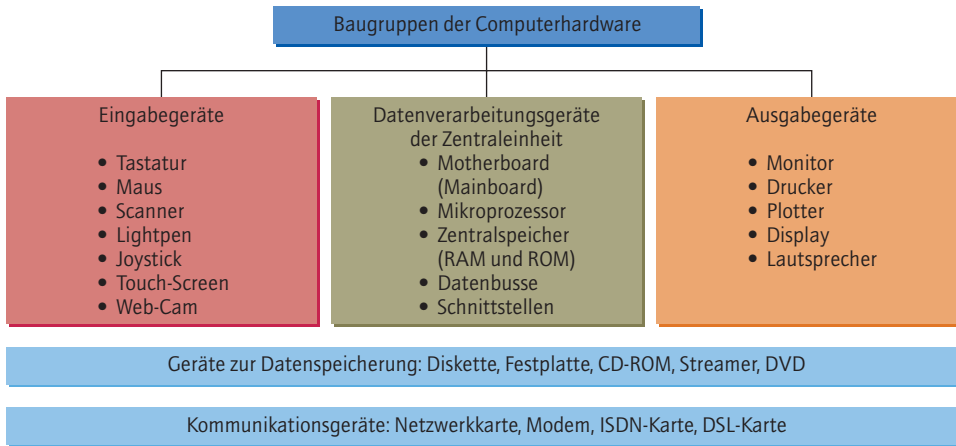
Codierung des Datenelementes „D“.

Arbeitsaufträge

1. Drücken Sie die Dezimalzahl 108 als Dual- und Hexadezimalzahl aus.
2. Wie viel unterschiedliche Informationen können mit sechs parallel geschalteten Bits übertragen werden?
3. Wandeln Sie die Dualzahl 10010111 in die entsprechende Dezimalzahl um.
4. Besorgen Sie sich den ANSI- und ASCII-Zeichensatz. Vergleichen Sie beide Sätze miteinander und stellen Sie dabei die Bereiche heraus, in denen unterschiedliche Zuordnungsvorschriften liegen.
5. Dem Buchstaben „T“ ist in beiden Zeichensätzen die Dezimalzahl 84 zugeordnet. Beschreiben Sie die Codierung des Datenelementes durch den Computer nach Tastatureingabe.

5.3 Computerhardware

Als Hardware bezeichnet man alle Bauteile und Geräte in und um einen Computer.



RAM: Random Access Memory, flüchtiger Schreib-Lese-Speicher

ROM: Read Only Memory, Festwertspeicher

Schnittstelle: Verbindungsstelle zwischen Zentraleinheit und anzuschließenden Bauteilen.

Datenverarbeitung in der Zentraleinheit. Das Motherboard (Hauptplatine) ist das elektronische Traggerüst für alle wichtigen Bauteile der zentralen Datenverarbeitung. Es besteht aus (Bild 5.2):

- externen Schnittstellen zur Verbindung mit Ein- und Ausgabegeräten (Seriell, Parallel, USB, Tastatur- und Monitor-Anschluss),
- internen Schnittstellen (Steckplätze) zum Anschluss von Speichermedien, Grafikkarten, Modem,
- Zentralspeicher (RAM und ROM),
- Mikroprozessor (Rechen- und Steuerwerk bzw. Kontrolleinheit),
- Taktgenerator,
- Bussystem (Steuer-, Adress- und Datenbus).

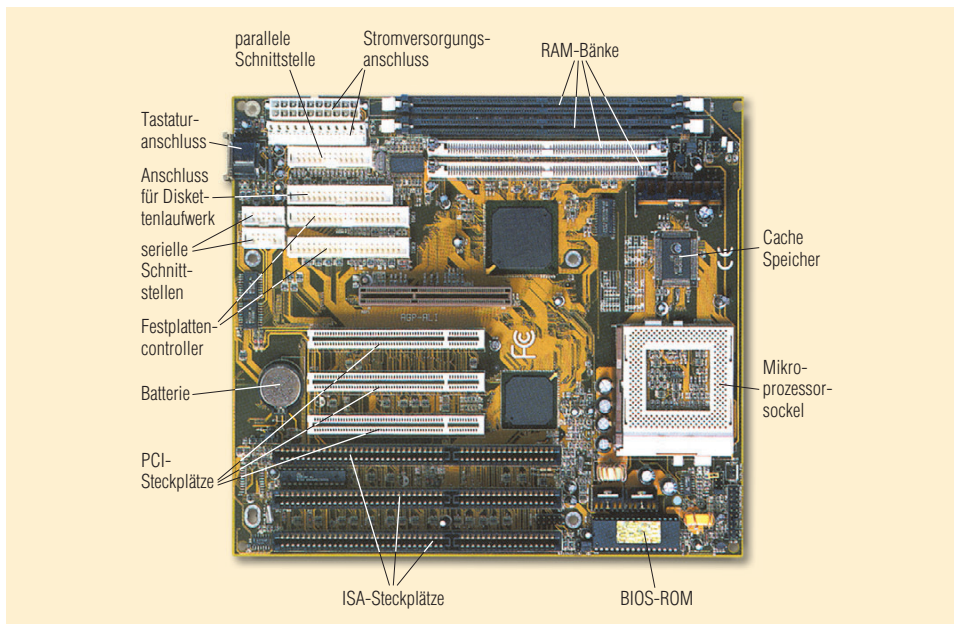


Bild 5.2 Motherboard mit Benennung der wichtigsten Steckplätze und Bauteile.

BIOS: Basic-Input-Output-System, Grundprogramm des Computers

CPU: Central Processing Unit, zentrale Recheneinheit mit
CU: Control Unit, Kontrolleinheit
ALU: Arithmetic and Logical Unit, Rechenwerk
Cache-Speicher: flüchtiger Speicher zur Datenpufferung

USB: Universal Serial Bus

Beim Einschalten (booten) des Computers läuft automatisch ein Programm ab, das die Zentraleinheit überprüft und notwendige Programme zum Betrieb des Rechners aktiviert. Hierzu zählt z. B. das Betriebssystem. Dieses Startprogramm wird als BIOS bezeichnet und ist im unveränderlichen Teil des Zentralspeichers, dem ROM, abgelegt.

Der Mikroprozessor (CPU) ist das Rechenzentrum des Computers und somit Hauptbestandteil des Motherboards.

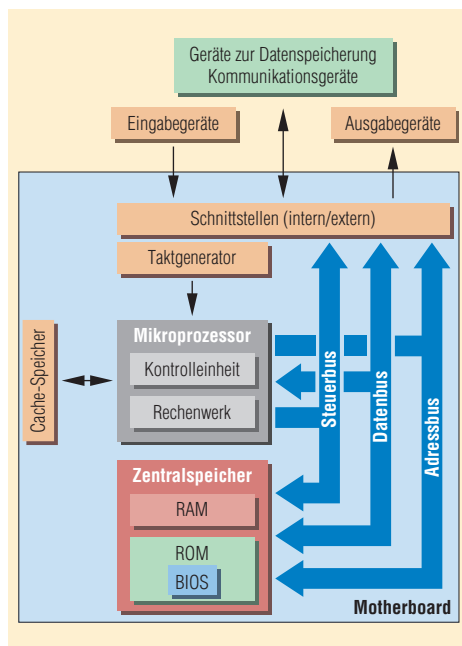


Bild 5.3 Datenfluss und Zusammenwirken der Bauteile der Zentraleinheit.

Er wird über den Taktgenerator gesteuert, der die Anzahl der durchführbaren Rechenoperationen je Sekunde vorgibt (Bild 5.3). Einen wesentlichen Teil des Mikroprozessors bildet die Kontrolleinheit (CU). Sie steuert die Abfolge aller Operationen. Dazu zählen der Datenaustausch zwischen den Ein- und Ausgabegeräten und den Speichermedien. Das Rechenwerk (ALU) verarbeitet alle anfallenden rechnerischen und logischen Operationen. Eine Datensammelleitung, das Bussystem, verbindet die einzelnen Bauteile miteinander. Dabei übernimmt der Datenbus den Datentransport, der Adressbus die Adressierung der Peripheriegeräte und der Steuerbus steuert die Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte.

Während des Computerbetriebes können Programme, Programmteile und Arbeitsdaten im Arbeitsspeicher (RAM) zwischengespeichert und abgerufen werden. Beim Abschalten des Computers wird der gesamte Inhalt dieses Speichers gelöscht. Später wieder benötigte Daten müssen zuvor auf einem geeigneten Datenträger gespeichert werden. Der Cache-Speicher dient zur Datenpufferung. Seine Zugriffszeit ist wesentlich kürzer als auf den Arbeitsspeicher. Allerdings besitzt er nur ein kleines Speichervermögen. Von ihm werden häufig benutzte Daten aufgenommen.

Die Schnittstellen (Interfaces) verbinden die Ein- und Ausgabegeräte mit der Zentraleinheit. Parallele Schnittstellen übertragen 8 Bit gleichzeitig in getrennten Leitungen. Serielle Schnittstellen übertragen die einzelnen Bits nacheinander. Die USB-Schnittstelle ermöglicht den Anschluss von bis zu 127 externen Geräten.

Damit bei Spannungsunterbrechung Uhr und Datumsanzeige des Computers weiterlaufen, werden diese zusätzlich über einen Akku versorgt.

Arbeitsaufträge

1. Erklären Sie die in der Karikatur (Bild 5.4) dargestellten Abläufe der Datenverarbeitung innerhalb der Zentraleinheit.
2. Beschreiben Sie die dargestellten Vorgänge der Datenverarbeitung in einem elektronischen Steuergerät (Bild 5.5).
3. Erklären Sie jemandem, der wirklich wenig Ahnung von Computern hat, das aktuelle Angebot eines Computerherstellers aus der Tageszeitung.

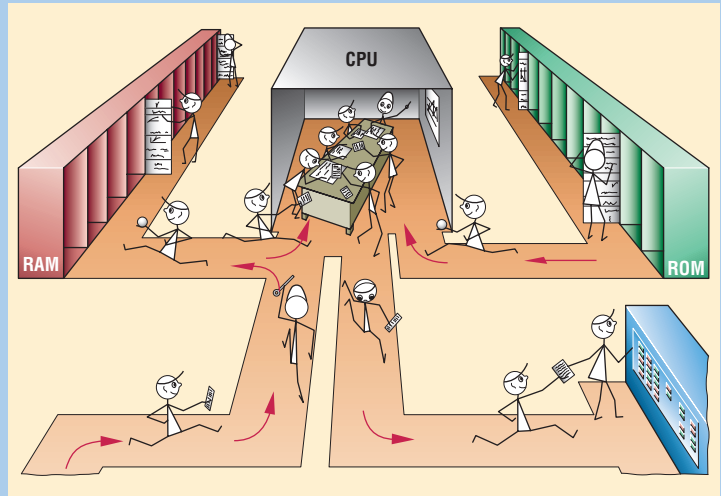


Bild 5.4 Datentransport und -verarbeitung in der Zentraleinheit.

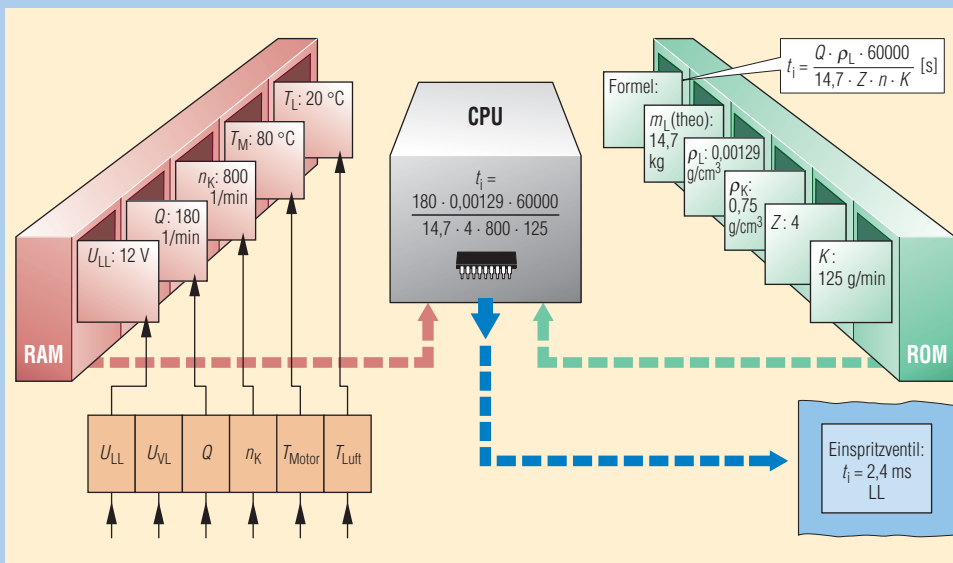
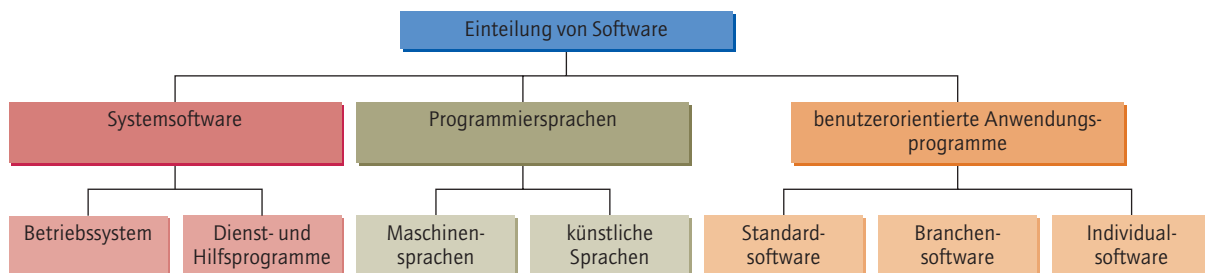


Bild 5.5 Funktionsprinzip eines elektronischen Steuergerätes.

5.4 Computersoftware

Unter Software versteht man alle zur Datenverarbeitung erforderlichen Programme und Daten. Einerseits schaffen sie die Voraussetzung für die Funktion der Hardware und andererseits ermög-

lichen sie eine sinnvolle Nutzung des Computers. Die einzelnen Programmarten übernehmen ganz unterschiedliche Aufgaben.



5.4.1 Systemsoftware

Systemprogramme schaffen die Voraussetzung für die Nutzung eines Computersystems. Viele besitzen eine grafische Benutzeroberfläche und sind dadurch einfach zu bedienen.

Betriebssystem. Es verwaltet Dateien und Speicher und steuert den Datenfluss zwischen dem Prozessor, der übrigen Hardware und den jeweiligen Anwenderprogrammen. Bekannte Betriebssysteme für PC-Anlagen sind in Tabelle 5.6 aufgelistet.

DOS: Disc Operation System;
altes 8-Bit-System

Betriebssystem	wesentliche Merkmale
Windows '98	baut auf DOS auf; zusätzliche grafische Benutzeroberfläche; durch Fenstertechnik leichte Bedienbarkeit; weit verbreitet; vorwiegend Einzelplatzsystem
Windows NT Windows 2000	32-Bit-System; kompatibel zu DOS und Windows; integrierte Netzwerksoftware
Windows XP	32-Bit-System; Home Edition für Privatanwender mit eingeschränkter Netzwerkfunktionalität und Professional Edition für Firmen (mit vielen zusätzlichen Features)
Unix	32-Bit-System; besondere Eignung für große Netzwerke
Tabelle 5.6	Verbreitete Betriebssysteme.

Dienst- und Hilfsprogramme. Dienstprogramme (Treibersoftware) sorgen für die Anpassung und Systemeinkbindung der externen Geräte (Maus, Tastatur, Drucker, ...). Hilfsprogramme (Utilities) sind kleine Programme, die Schwächen oder Probleme des Betriebssystems in speziellen Bereichen ausgleichen oder zusätzlich zum System gewünschte Funktionen bereitstellen um mit diesem schneller und besser arbeiten zu können.

5.4.2 Benutzerorientierte Anwendungsprogramme

Anwendungsprogramme werden für ein bestimmtes Betriebssystem entwickelt und sind nur unter diesem lauffähig. Viele Anwendungsprogramme sind jedoch so gestaltet, dass der Dateiaustausch auch mit anderen Betriebssystemen funktioniert, z. B. „Word“. Man bezeichnet diese als kompatibel.

Ganz unterschiedliche Anwendungsprogramme helfen dem Benutzer bei der Lösung seiner beruflichen Probleme, der Bewältigung seiner täglichen Arbeit oder der Gestaltung seiner Freizeit. Hierunter fallen z. B. Programme zur Musikverarbeitung, Hobby und Unterhaltung.

Standardsoftware sind Programme, die von vielen Anwendern genutzt werden. Hierdurch sind die Anschaffungskosten verhältnismäßig gering. In Kfz-Betrieben z. B. ist der Einsatz von Standardprogrammen zur Textverarbeitung, Dateiverwaltung und Tabellenkalkulation üblich.

Branchensoftware. Für die Kfz-Branche gibt es eine Reihe speziell entwickelter Software, die den betrieblichen Arbeitsablauf erleichtern. Die Herstellerwerke der Automobilindustrie sind oft an ihrer Entwicklung beteiligt und schreiben ihren Einsatz in den Vertragswerkstätten vor. Zur Branchensoftware zählen u. a. Programme für das Buchhaltungs- und Rechnungswesen, zur Terminplanung, Kundenbetreuung, Ersatzteilverwaltung (Bild 5.6), elektronischen Achsvermessung und Fahrzeugdiagnose.

Individualsoftware sind individuell entwickelte Programme, die auf die besonderen Probleme (meist im beruflichen Umfeld) des Nutzers zugeschnitten sind. Je nach Umfang der notwendigen Programmierarbeit kann eine solche Software sehr teuer sein.

5.4.3 Programmiersprachen

Programmiersprachen übersetzen die vom Anwender (Programmierer) erstellten Arbeitsanweisungen in Bitfolgen, die vom Computer verarbeitet und ausgeführt werden können. Man unterscheidet zwischen Maschinen- und künstlicher Sprache.

Druck	Wechsel	Ende	Dienste	Fahrzeug-ID	Marke	Hilfe
-------	---------	------	---------	-------------	-------	-------

Group ETK - Bildtafel 23_0872 GS5-39DZ GEHÄUSE- UND ANBAUTEILE

Trn	Me	N	R	S	Teilesuche
24 41 1 218 031	1.00				An Teilleiste
23 14 7 506 637	1.00				Teileinformation
27 11 1 226 798	1.00				Satz Einzelteile
23 11 7 501 798	1.00				Produktionsdatum
23 12 1 262 394	1.00				< HG HG >
					< BT BT >
					Ändern Teileanzeige
					Fahrzeug SAs
					Bildtafel original
					Zoom: 100% 200%

Pos	Benennung	Zusatz	Me	Eins	Ausl	Ka	Ge	Le	Teilenummer	AT	R	TI
1	FÜHRUNGSGROH		1						23 11 7 501 714			
2	DICHTUNG		1						23 12 7 501 713			
3	SCHRAUBE INNENTORX		4						23 12 7 511 523			
4	WELLENDICHTUNG		1						23 12 7 501 712			
5	STÜHLERSTIFT	040024	1						24 41 1 210 031			
6	BUSSFÄHRERKASCHLE	M1201 5	1						23 11 7 506 837			
7	VERDICHTUNGSSCHRAUBE	02401 5	2						27 11 1 226 798			
8	ENTLUFUNGSGROH		1						23 11 7 501 768			
9	WELLENDICHTUNG	02401 5	1						23 11 7 501 768			
10	WELLENDICHTUNG	02401 5	1						23 12 1 262 458			
11	ABSTRIEBSFLANSCH		1						23 21 7 506 630			
12	BRUNDMUTTER		1						23 21 1 262 421			

Figutr. : - Basreihe : 3' E46 Modell : Baujahr/Mon. : Getriebe : - Lenk. : L

Bild 5.6 Bildtafel zur Ersatzteilverwaltung.

Maschinensprache (Assemblersprache). Diese Sprache kann die Funktion des Prozessors direkt ansprechen, da sie auf ihn zugeschnitten ist. Sie ist für den Anwender schwer erlernbar und das Auffinden möglicher Fehler bei der Programmierung ist sehr schwierig.

Künstliche (problemorientierte) Sprache zeichnet sich durch eine einfachere Abfolge der einzugebenden Programmierschritte aus, da alle Anweisungen durch Wortbefehle formuliert werden. Die Sprache ist leichter erlern- und anwendbar. „Problemorientiert“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass es unterschiedliche Programmiersprachen gibt, die in ganz bestimmten Anwendungsbereichen bevorzugt werden sollten, z. B.:

- kaufmännische Anwendungen → COBOL,
- mathematisch-naturwissenschaftliche Anwendung → FORTRAN,
- universelle Anwendung → BASIC, PASCAL.

Wird ein Programm in einer künstlichen Programmiersprache verfasst, muss diese anschließend von einem Übersetzungsprogramm (Compiler) in Maschinensprache umgewandelt werden.

assemble (engl.):
zusammenbauen,
montieren

compile (engl.):
übertragen

Arbeitsaufträge

1. Informieren Sie sich über die eingesetzte Software in Ihrem Betrieb.
2. In welchen Aufgabenbereichen in ihrem Betrieb werden Daten elektronisch verarbeitet?
3. Bild 5.6 (S. 169) zeigt einen Ausschnitt aus einem Programm zur Ersatzteilverwaltung. Welche Vorteile hat diese Software im Vergleich zur früheren Lagerverwaltung mit Listen oder mit Mikrofiches?

Mikrofiche: auf Folien kopierte, stark verkleinerte Abbildungen, die mit einem Lesegerät sichtbar gemacht werden.

5.4.4 Grundlagen der Programmerstellung

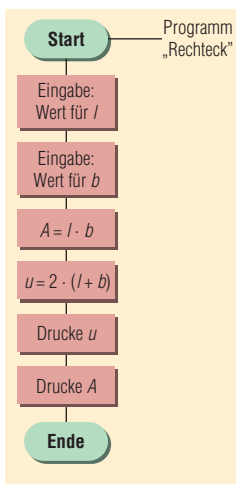


Bild 5.7
Programmablaufplan für die Rechteckberechnung.

Der Programmierer muss die Programmerstellung schrittweise sinnvoll planen, damit der Lösungsweg übersichtlich und nachvollziehbar bleibt. So kann er Fehler vermeiden bzw. Fehler schneller auffinden. Die einzelnen Lösungsschritte, die bei jeder Programmerstellung zu berücksichtigen sind, werden an folgendem kleinem Programm zur Rechteckberechnung verdeutlicht.

1. Schritt: Aufgabenstellung. Der Kraftfahrzeugmechaniker erhält den Auftrag für die Blechbearbeitung den Umfang und den Flächeninhalt verschiedener Rechtecke zu berechnen. Die Rechenarbeit soll ein Programm übernehmen.

2. Schritt: Problemanalyse. Über die Tastatur des PC kann der Mechaniker die Breite und die Länge des Rechteckes in mm eingeben. Der daraus zu berechnende Umfang und Flächeninhalt soll in mm bzw. mm² auf dem Bildschirm abgelesen werden. Folgende mathematische Beziehung besteht zwischen Länge und Breite eines Rechteckes und seinem Umfang bzw. seinem Flächeninhalt:

$$u = 2 \cdot (l + b)$$

$$A = l \cdot b$$

3. Schritt: Programmerstellung mithilfe eines Programmablaufplanes (PAP). Mit seiner Hilfe wird der gesamte logische und organisatorische Ablauf übersichtlich grafisch dargestellt. Der PAP wird von oben nach unten und von links nach rechts gelesen. Im Falle einer anderen Leserichtung wird diese durch einen Pfeil gekennzeichnet. Die Sinnbilder für einen PAP sind nach DIN 66 001 genormt (Bild 5.7).

4. Schritt: Programmierung. Der Programmierer wählt eine geeignete Programmiersprache aus und überträgt den Lösungsweg in die von ihm gewählte Sprache (hier BASIC):

REM Rechteckberechnungen

CLS

INPUT "Geben Sie die Länge des Rechtecks in mm ein: ", l

PRINT

INPUT "Geben Sie die Breite des Rechtecks in mm ein: ", b

$$A = l \cdot b$$

$$u = 2 \cdot (l + b)$$

PRINT : PRINT "Der Umfang beträgt"; u; "mm!"

PRINT : PRINT "Die Fläche beträgt"; A; "mm²!"

END

5. Schritt: Programmtest. Der Programmierer testet das von ihm erstellte Programm, indem er echte Längenmaße eingibt. Er kontrolliert die angezeigten Ergebnisse.

6. Schritt: Dokumentation. Das Programm wird benannt und auf einem geeigneten Datenträger festgehalten. Zudem sollten die Schritte der Programmerstellung archiviert werden. So können zu einem späteren Zeitpunkt Korrekturen oder Veränderungen vorgenommen werden.

Arbeitsaufträge

1. Verändern Sie das beschriebene Programm zur Rechteckberechnung so, dass das Ergebnis der Umfangs- und Flächenberechnung in der Einheit cm bzw. cm² erscheint.
2. Erstellen Sie ein BASIC-Programm zur Kreisflächenberechnung. Berücksichtigen Sie dabei die fünf Schritte der Programm-erstellung.

5.5 Datenaustausch durch das Internet

Das Internet ist ein weltumspannendes, offenes Datennetz, das sich in kurzer Zeit zu einem neuen Massenmedium entwickelt hat. Im beruflichen und privaten Alltag vieler Menschen wird das Internet fester Bestandteil sein. So werden z. B. Betriebe einen Teil ihrer Geschäftsabläufe über das Internet abwickeln, Datenbanken und Lexika stehen allen Interessenten zur Verfügung, Arbeitsplätze werden vermittelt und virtuelles Einkaufen ermöglicht.

virtuell: elektro-nisch sichtbar gemacht; schein-bar vorhanden

5.5.1 Zugriff auf das Internet mit dem PC

Das Internet ist ein weltweites, dezentrales Computernetz. Es besteht aus autonomen Teilnetzen von vielen verschiedenen Organisationen und Unternehmen. Gebühren fallen in der Regel nur für den Zugang zum Internet an. Entfernungen spielen im Internet keine Rolle.

Der Zugang zum Internet kann über das Telefonnetz oder über Standleitungen erfolgen (Bild 5.8). In großen Unternehmen sind die Computer häufig an ein lokales Netz (LAN) angeschlossen, welches über Standleitungen an das Internet

TCP: Transmission Control Protocol
IP: Internet Protocol

Das Internet wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium mit der Zielsetzung einer sehr hohen Zuverlässigkeit aufgebaut. Die Funktionsfähigkeit des Netzes sollte sogar nach einem Atomschlag erhalten bleiben um einen Vergeltungsschlag zu ermöglichen. Deshalb werden alle Informationen in Pakete zerlegt. Im Internet können die einzelnen Pakete über völlig unterschiedliche Wege zum Ziel geleitet werden. Die Datenpakete sind in der Internet-Protokoll-(IP-) Beschreibung detailliert definiert. Die Pakete enthalten auch Steuerdaten, z. B. für die Paketlänge und IP-Adressen, die im Internet von IP-Routern für das Weiterleiten zum Ziel benutzt werden. Die Pakete müssen am Ziel natürlich wieder in der richtigen Reihenfolge zusammengesetzt werden. Dafür kann von den kommunizierenden Endgeräten ein spezielles Transport-Kontrollprotokoll (TCP) verwendet werden.

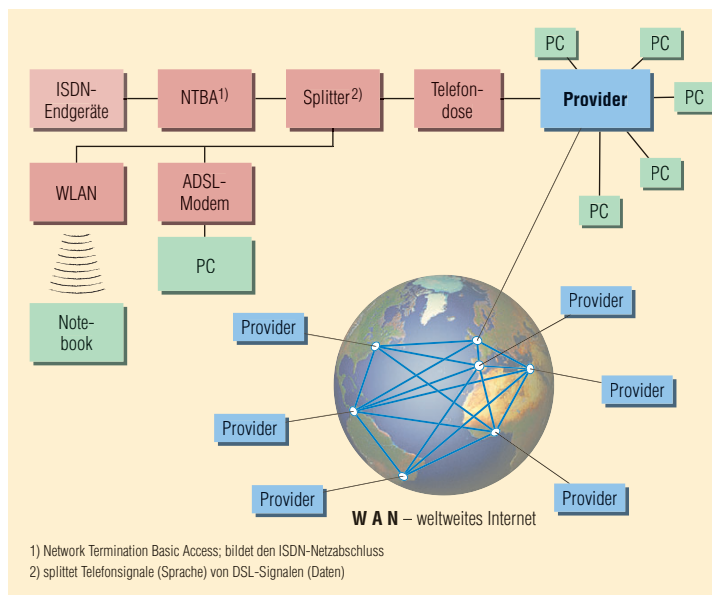


Bild 5.8 Datenaustausch im Internet mit dem PC.

LAN: Local Area
Network

WLAN: wireless
LAN → drahtloses
LAN

WAN: Wide Area
Network → welt-
weites Netzwerk

ADSL: Asymetric
Digital Subscriber
Line → asymme-
trische digitale
Anschlussleitung

Modem: Kurzwort
für Modulator/
Demodulator

ISDN: Integrated
Services Digital
Network → digita-
les Netz für inte-
grierte Dienste

URL: Uniform
Resource Locator

herangeführt wird. Darüber hinaus werden wei-
tere Zugangstechniken aufgebaut, z. B. schnel-
ler Zugang über digitalisierte Telefonleitungen
(ADSL), Fernsehkabelnetze, Energieversorgungs-
netze und Satelliten.

Natürlich muss für die Nutzung des Internets
bezahlt werden. Dies erfolgt über einen Internet-
Provider. Der Provider ermöglicht auch die Ein-

wahl über das Telefonnetz. Damit eine eindeu-
tige Abrechnung erfolgen kann, muss sich der
Kunde jedes Mal über einen Benutzernamen und
ein Passwort am Server des Providers anmelden.
Die Kosten für einen Internetzugang sind je nach
Leistung und Anbieter sehr unterschiedlich.

5.5.2 Hardware-Verbindung des PC mit dem lokalen Datennetz

Die digitalen Signale des Computers müssen für
die Übertragung im Internet aufbereitet werden.
Dafür ist spezielle Hardware erforderlich, die mit
der gewählten Zugangstechnik kompatibel sein
muss:

- Modem für Telefonleitung (bis 56 kbit/s)
oder
- ISDN-Karte (bis zu 2-mal 64 kbit/s) oder
- ADSL-Modem (bis zu 6 Mbit/s) oder
- Kabelmodem (bis zu 30 Mbit/s).

Entscheidungskriterien für die Auswahl der
Zugangstechnik mit der entsprechenden Hard-
ware sind:

- maximale Übertragungsgeschwindigkeit,
- Kosten für Beschaffung und Nutzung,
- interner oder externer Anschluss,
- gleichzeitige Nutzung von Internet und Tele-
fon,
- örtliche Angebote der Internet-Provider.

5.5.3 Zugangssoftware

Die Zugangssoftware wird in der Regel vom
jeweiligen Internet-Provider bereitgestellt. Sie
muss vor der ersten Internetnutzung installiert
und konfiguriert werden. Die Zugangssoftware
enthält meistens Komponenten für die Nut-
zung der unterschiedlichen Internetdienste und
Anwendungen. Für besondere Anwendungen
muss gegebenenfalls entsprechende Software
zusätzlich installiert werden. Nachfolgend einige
Beispiele für Dienste und Anwendungen, die mit
der entsprechenden Software genutzt werden
können:

- Zugang zu weltweit abgespeicherten Doku-
menten (über URL-Adressen),
- Surfen im Internet über einfache Zugriffe
(Hyperlinks),
- Herunterladen von multimedialen Daten (z. B.
Text, Musik und Videosequenzen),
- elektronische Post (E-Mail),
- Kontenverwaltung bei der Hausbank (Home
Banking),
- Kommunikation mit anderen Teilnehmern
(chatten),
- Internet-Telefonie und Internet-Konferenzen.

5.6 Datenschutz

Durch die stetig steigende Verbreitung der elektronischen Datenverarbeitung sammeln sich immer mehr Daten in den verschiedensten Datenbanken an bzw. werden ausgetauscht. Große Datenmengen können in kurzer Zeit nach bestimmten Auswahlkriterien zusammengestellt und ausgewertet werden. Der Persönlichkeitsschutz des einzelnen Menschen könnte dadurch verletzt werden. Dies soll der Datenschutz verhindern. Aufgaben des Datenschutzes sind unter anderem:

- Eingabekontrollen. Es muss kontrolliert werden, wer wann welche Daten eingeben darf.
- Speicher- und Benutzerkontrollen. Daten müssen so gespeichert sein, dass sie für unbefugte Personen weder zugänglich noch abrufbar sind.
- Transportkontrollen. Während des Transportes von Daten muss ihre Veränderung, Löschung oder Lesung ausgeschlossen sein.

Sind im Zuständigkeitsbereich des Bundesdatenschutzgesetzes personenbezogene Daten gespeichert, können die betroffenen Person u. a. folgende Rechte geltend machen:

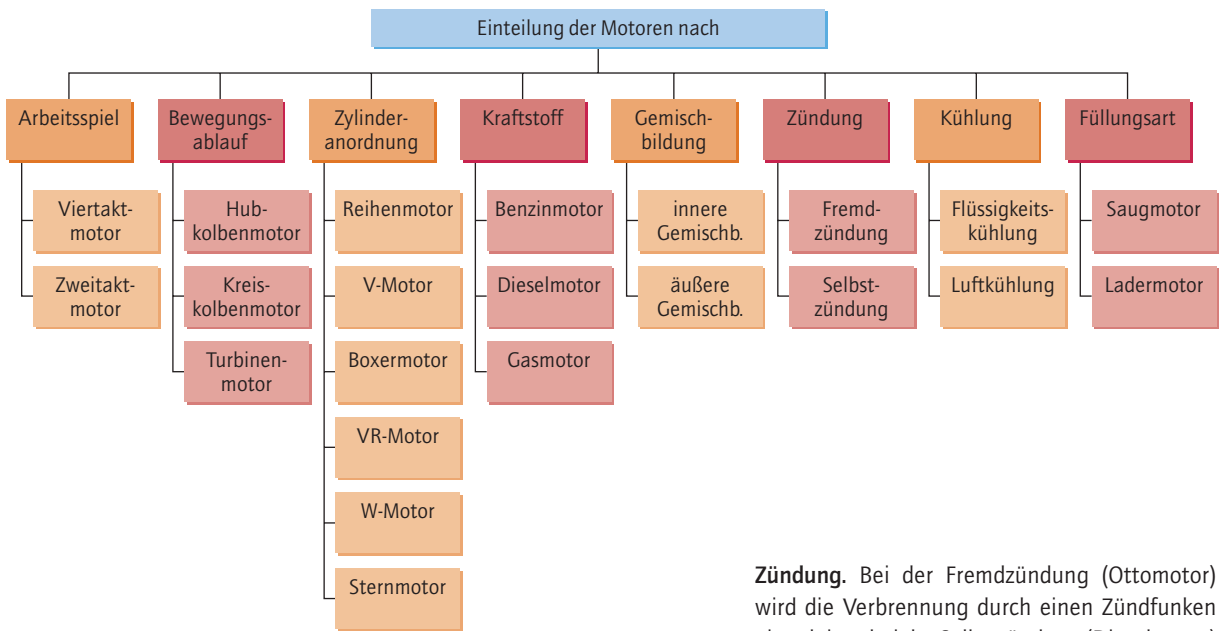
- Recht auf Benachrichtigung. Bei erstmaliger Datenspeicherung muss der Betroffene darüber informiert werden.
- Auskunftsrecht zu den gespeicherten Daten. Jedem Betroffenen muss auf Wunsch eine Auskunft über seine gespeicherten Daten erteilt werden.
- Berichtigungsrecht. Falsch gespeicherte Daten müssen umgehend korrigiert werden.
- Recht auf Löschung der Daten. Bei irrtümlicher oder nicht berechtigter Speicherung von Daten müssen diese umgehend gelöscht werden.
- Recht auf Einschaltung eines Datenschutzbeauftragten. Bestehen Zweifel an der Einhaltung oben genannter Rechte, kann der Betroffene einen Datenschutzbeauftragten einschalten.

Arbeitsaufträge

1. Sie möchten einen privaten Internetanschluss einrichten. Besorgen Sie sich dazu aktuelle Unterlagen über Tarife, Anbieter, Vertragslaufzeiten usw. und treffen Sie nach Durchsicht der Unterlagen eine begründete Entscheidung.
2. Informieren Sie sich über die Systematik einer Internetadresse (URL) und erklären Sie diese.
3. Geben Sie drei für Sie beruflich wichtige URL an und beschreiben Sie jeweils den Informationsgehalt des Dokumentes.
4. Begründen Sie die steigende Notwendigkeit eines funktionierenden Datenschutzes.
5. Nennen Sie Beispiele, von denen Sie glauben, dass der Datenschutz durch weltweiten Datenaustausch infrage gestellt sein könnte.
6. Bei der Erstinstallation einer neu gekauften Software müssen Sie als Einrichter stets einem Vertrag zustimmen. Benennen Sie dazu die Inhalte des Datenschutzes, denen Sie an dieser Stelle zustimmen müssen.

6 Viertaktmotor

In Kraftfahrzeugen werden überwiegend Wärmekraftmaschinen eingebaut. Sie werden auch als Verbrennungsmotoren bezeichnet.



6.1 Grundbegriffe

Arbeitsspiel nennt man alle regelmäßig wiederkehrenden Vorgänge im Brennraum zur Umwandlung von Energie. Viertaktmotoren benötigen für ein Arbeitsspiel vier Kolbenhübe und haben einen geschlossenen Gaswechsel. Zweitaktmotoren benötigen für ein Arbeitsspiel zwei Kolbenhübe und haben einen offenen Gaswechsel.

Gaswechsel. Der Teil des Arbeitsspiels, bei dem die Frischgase in den Brennraum einströmen und verbrannte Gase den Brennraum verlassen. Beim offenen Gaswechsel kommen Frischgase und Abgase miteinander in Berührung, beim geschlossenen Gaswechsel wird dies weitestgehend vermieden.

Gemischbildung. Bei der inneren Gemischbildung werden Kraftstoff und Luft im Brennraum, bei der äußeren Gemischbildung außerhalb des Brennraums miteinander vermischt.

Zündung. Bei der Fremdzündung (Ottomotor) wird die Verbrennung durch einen Zündfunken eingeleitet, bei der Selbstzündung (Dieselmotor) entzündet das Kraftstoff-Luft-Gemisch durch die Wärme, die durch seine Verdichtung entsteht.

Das Verdichtungsverhältnis ist das Verhältnis von größtem zu kleinstem Brennraum. Mit steigendem Verdichtungsverhältnis erhöht sich der Wirkungsgrad des Ottomotors, was aber durch die Gefahr der Selbstentzündung des Kraftstoffs begrenzt wird.

Füllungsart. Im Saugmotor wird das benötigte Kraftstoff-Luft-Gemisch durch den im Brennraum entstehenden Unterdruck angesaugt. Beim Ladermotor wird das Gemisch durch Zusatzeinrichtungen in den Brennraum gedrückt.

Füllung und Füllungsgrad (Liefergrad). Die Füllung ist die gesamte Masse an Gas (Ottomotor: Kraftstoff-Luft-Gemisch, Dieselmotor: Luft), die während eines Arbeitsspiels in den Brennraum einströmt. Der Füllungsgrad λ_L ist das Verhältnis der tatsächlich eingeströmten Gasmasse zur theoretisch möglichen Gasmasse, die in den Brennraum passt.

$$\lambda_L = \frac{m_{zu}}{m_{th}}$$

Der Liefergrad hängt von mehreren Faktoren ab:

- Öffnungszeiten der Ein- und Auslassventile,
- Form der Ansaugwege,
- Größe der Ansaugquerschnitte,
- Brennraumform,
- Temperatur der Frischgase.

Laststeuerung ist die Anpassung des Kraftstoff-Luft-Gemisches an die Betriebsverhältnisse des Motors:

- bei der Quantitätsregelung wird das Verhältnis von Luft und Kraftstoff nahezu konstant gehalten, eine Anpassung erfolgt durch Veränderung der Gemischmenge,
- bei der Qualitätsregelung wird die Gemischmenge nahezu konstant gehalten, eine Anpassung erfolgt durch Veränderung des Verhältnisses von Luft und Kraftstoff.

Zylinder nummerierung. Man beginnt mit der Zählung auf der Seite, die der kraftabgebenden Seite (Kupplungsseite) gegenüber liegt. Bei V-, W- und Boxermotoren beginnt man mit der linken Zylinderreihe und zählt dann die anderen Reihen von vorne nach hinten durch (Bild 6.1).

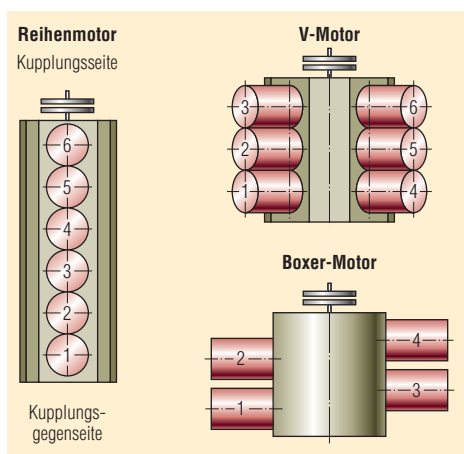


Bild 6.1 Zylinder nummerierung.

Die Zündfolge gibt die Reihenfolge der Arbeitsakte der einzelnen Zylinder eines Motors an.

Zündabstand ist der Abstand in Grad Kurbelwinkel zwischen den Zündungen der aufeinander folgenden Zylinder (Bild 6.2). Er beträgt:

- 720° KW/Zylinderzahl beim 4-Takter und
- 360° KW/Zylinderzahl beim 2-Takter.

Je größer die Zylinderzahl, desto kleiner wird der Abstand zwischen zwei Zündungen. Dies ergibt einen ruhigeren Motorlauf und eine gleichmäßigere Drehmomentabgabe.

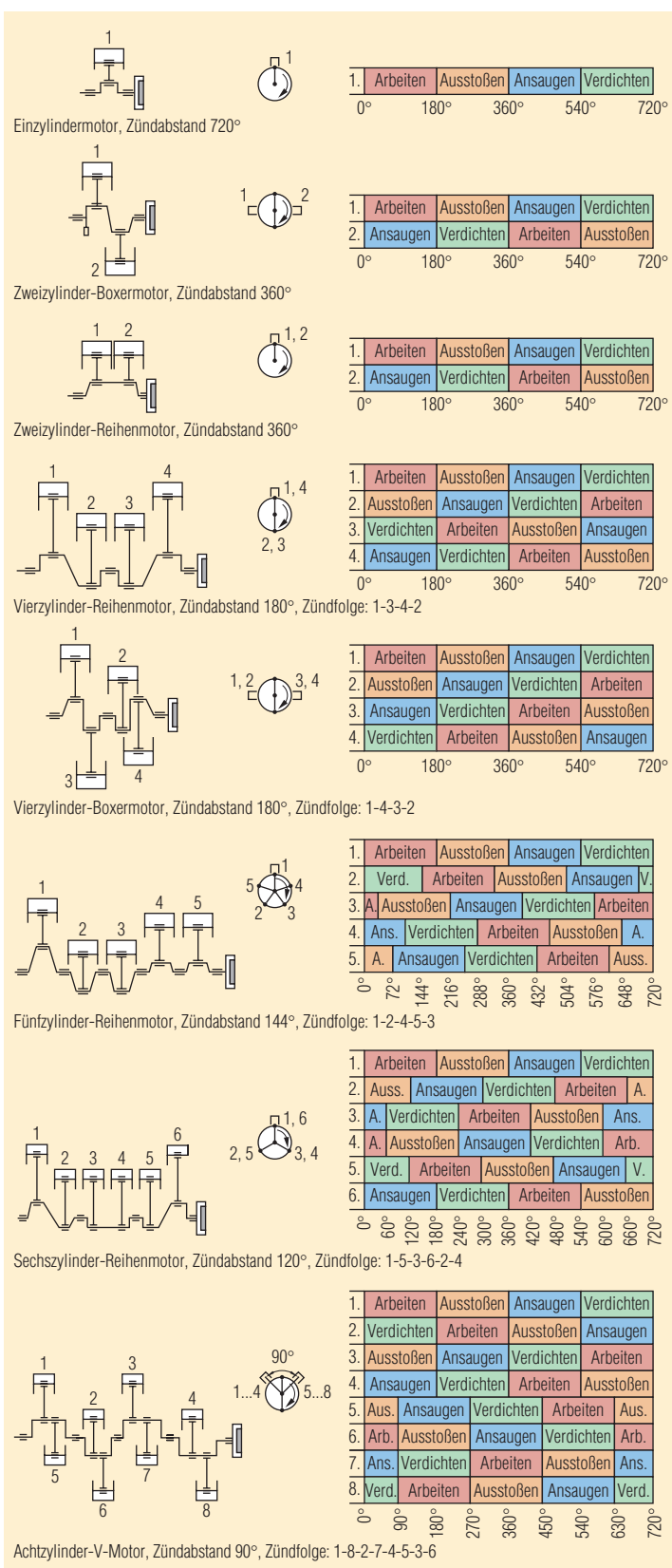


Bild 6.2 Zündfolgen und Zündabstand.

Gleichraumverbrennung. Die Verbrennung der Gase erfolgt sehr schnell. Der Druck im Brennraum steigt ebenso rasch, wobei der Brennraum selbst sich kaum verändert (d. h., der Kolben führt während der Verbrennung nahezu keine Bewegung aus). Diese Art der Verbrennung ist charakteristisch für den Ottomotor.

Gleichdruckverbrennung. Beim Dieselmotor wird auch nach Beginn der Verbrennung noch weiterer Kraftstoff eingespritzt. Daher erfolgt die Verbrennung der Gase über einen längeren Zeitraum. Obwohl der Brennraum durch den in Richtung UT laufenden Kolben schon wieder vergrößert wird, bleibt der Druck kurzzeitig annähernd gleich.

UT: unterer Totpunkt

OT: oberer Totpunkt

6.2 Arbeitsweise

Der Otto-Viertaktmotor wird mit Benzin betrieben, das mit Luft in einem bestimmten Verhältnis gemischt wird. Die Mischung findet im Vergaser bzw. Saugrohr (äußere Gemischbildung) oder im Brennraum (innere Gemischbildung) statt. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird verdichtet, durch einen elektrischen Zündfunken entzündet (Fremdzündung) und verbrennt schlagartig. Die sich ausdehnenden Gase treiben über den Kolben den Kurbeltrieb des Motors an.

Der Dieselmotor saugt nur Luft an, die im Brennraum höher als im Ottomotor verdichtet wird und sich dadurch stark erwärmt. In die heiße Luft wird der Dieselmotorkraftstoff unter hohem Druck in kleinsten Tröpfchen eingespritzt (innere Gemischbildung), die Kraftstoff-Tröpfchen verdampfen und entzünden sich (Selbstzündung).

Tabelle 6.1 auf den Seiten 178/179 bietet eine Übersicht über die Arbeitsweise von Otto- und Dieselmotoren.

Da ein Arbeitspiel beim Viertaktmotor 720° KW benötigt, stehen jedem Takt theoretisch 180° KW zur Verfügung. In der Praxis werden die zwei Kurbelwellenumdrehungen aber anders auf die Takte aufgeteilt. Die vier Takte eines Arbeitsspiels sind:

- 1. Takt: Ansaugen des Kraftstoff-Luft-Gemisches (Ottomotor) bzw. reiner Luft (Dieselmotor),
- 2. Takt: Verdichten des Gemisches,
- 3. Takt: Arbeiten, d. h. Antrieb des Kolbens durch die Verbrennung des Gemisches,
- 4. Takt: Ausstoßen der verbrannten Gase.

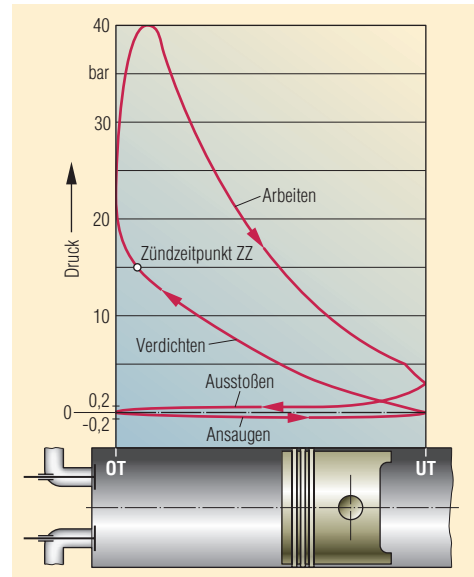


Bild 6.3 Arbeitsdiagramm.

Arbeitsdiagramm. Im Arbeitsdiagramm, auch Indikator- oder Druck-Volumen-Diagramm (p - V -Diagramm) genannt, wird der tatsächliche Gasdruckverlauf im Brennraum während eines Arbeitsspiels dargestellt (Bild 6.3). Abweichungen vom normalen Druckverlauf dienen in der Motorenentwicklung dazu, Motorfehler zu erkennen (Bild 6.4).

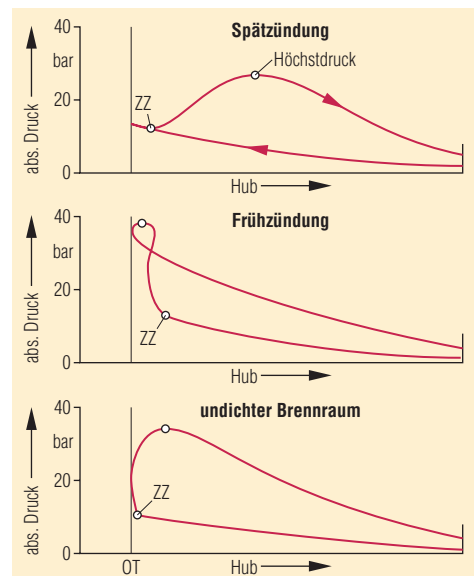


Bild 6.4 Fehlerhafte Arbeitsdiagramme.

Steuerdiagramm. Im Steuerdiagramm werden die Öffnungs- und Schließzeiten der Ventile grafisch dargestellt (Bild 6.5). Deutlich sind Voröffnung und Nachschließung der Ventile und die Ventilüberschneidung zu erkennen.

Ventilüberschneidung: Zeit, in der Einlass- und Auslassventil gleichzeitig geöffnet sind.

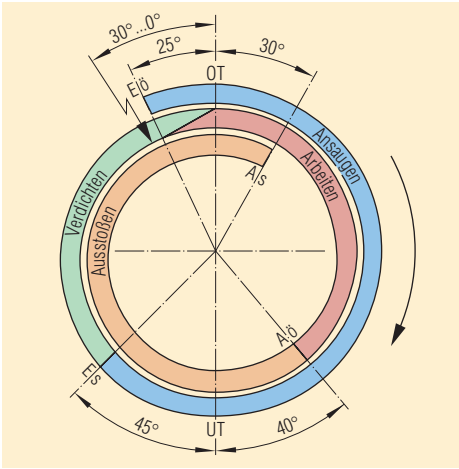


Bild 6.5 Steuerdiagramm eines Otto-Viertaktmotors.

6.3 Kenndaten

Die Kenndaten eines Motors werden auf einem Prüfstand ermittelt, auf dem der Motor mit einer Leistungsbremse verbunden ist. Damit kann das Motordrehmoment ermittelt werden. Gleichzeitig wird der verbrauchte Kraftstoff gemessen.

Der Motor wird bei unterschiedlichen Betriebszuständen im Volllast- und Teillastbereich betrieben. Dabei wird die Motordrehzahl mithilfe der Leistungsbremse konstant gehalten. Die ermittelten Werte lassen sich in Kurven übertragen (Bild 6.6).

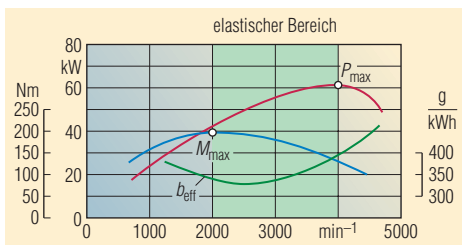


Bild 6.6 Volllast-Kennlinien eines Otto-Viertaktmotors.

Motordrehmoment. Vom Drehmomentverlauf hängt die Durchzugskraft, das Beschleunigungsvermögen und die Bergsteigefähigkeit eines Kfz-Antriebs ab. Mit zunehmender Drehzahl steigt das abgegebene Drehmoment bis zu einem Maximalwert an, fällt darüber hinaus dann aber wieder ab. Ursachen dafür sind:

- bei niedrigen Drehzahlen entstehen höhere Reibungs- und Wärmeverluste. Zusätzlich wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch wegen der geringen Strömungsgeschwindigkeit schlecht durchmischt (Inhomogenität),

- schlechterer Füllungsgrad durch steigende Brennraumtemperatur, kürzere Ventilöffnungszeiten und wachsende Strömungswiderstände bei hohen Drehzahlen.

Dieselmotoren haben wegen der Qualitätsregelung einen flacheren, d.h. gleichmäßigeren Drehmomentverlauf als Ottomotoren (weniger Strömungsverluste wegen der fehlenden Drosselklappe).

Motorleistung. Der ideale Kfz-Antrieb müsste über den gesamten Drehzahlbereich eine konstante Leistung erbringen. Da die Motorleistung P das Produkt aus Motordrehzahl und Motordrehmoment ist, ist sie nicht konstant; sie steigt bis zu einem Maximalwert und fällt danach ab.

$$P = M \cdot n$$

Der elastische Bereich eines Verbrennungsmotors ist der Drehzahlbereich zwischen höchstem Drehmoment und höchster Leistung. In diesem Bereich wird ein Leistungsabfall durch sinkende Drehzahl (z.B. bei Bergfahrt) durch ein ansteigendes Drehmoment ausgeglichen.

Spezifischer Kraftstoffverbrauch. Ausgehend von den Messungen auf dem Leistungsprüfstand wird der spezifische Kraftstoffverbrauch ermittelt. Dazu misst man die Durchlaufzeit von 100 cm³ Kraftstoff bei gleich bleibender Motordrehzahl und -leistung und errechnet, wie viel Gramm Kraftstoff der Motor in einer Stunde bei einer abgegebenen Leistung von 1 kW benötigt.

Hubraumleistung und Leistungsgewicht. Diese Kennzahlen dienen der besseren Vergleichbarkeit der Motoren:

- Hubraumleistung (Literleistung): Verhältnis von Nutzleistung zum Gesamthubraum,
- Leistungsgewicht des Motors: Verhältnis von Motormasse zur Nutzleistung,
- Leistungsgewicht des Fahrzeugs: Verhältnis von Fahrzeugmasse zur Nutzleistung.

Hubverhältnis. Das Verhältnis von Hub zu Bohrung bestimmt, ob es sich um einen Kurzhubmotor, einen Quadrathubmotor oder um einen Langhubmotor handelt.

Kurzhubmotoren ermöglichen wegen der geringeren mittleren Kolbengeschwindigkeit höhere Motordrehzahlen als Langhubmotoren. Langhubmotoren werden als langsamer laufende Motoren eingesetzt. Daher ist trotz der höheren mittleren Kolbengeschwindigkeit der Verschleiß ebenfalls gering. Der größere Kurbelradius ergibt zudem ein höheres Drehmoment.

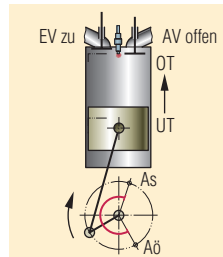
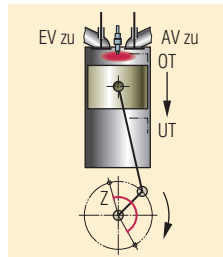
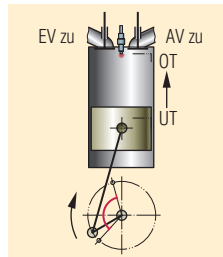
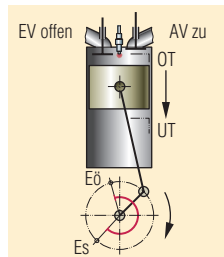
Hubraumleistung in kW/l, Leistungsgewicht in kg/kW.

Kurzhub:
Hub < Bohrung,
Hubverhältnis < 1

Quadrathub:
Hub = Bohrung,
Hubverhältnis = 1

Langhub:
Hub > Bohrung,
Hubverhältnis > 1

inhomogen:
ungleichartig



EV: Einlassventil, AV: Auslassventil, Eö: Einlassventil öffnet, Es: Einlassventil schließt, Aö: Auslassventil öffnet, As: Auslassventil schließt, Z: Zündzeitpunkt bzw. Einspritzbeginn, OT: oberer Totpunkt, UT: unterer Totpunkt

Takt	Ansaugen	Verdichten	Arbeiten	Ausstoßen
Kolbenbewegung	von OT nach UT	von UT nach OT	von OT nach UT	von UT nach OT
Dieselmotor				
Einlassventil	öffnet 25° vor OT bis 5° nach OT schließt 35° bis 60° nach UT	geschlossen	geschlossen	geschlossen
Auslassventil	geschlossen	geschlossen	geschlossen	öffnet 35° bis 60° vor UT schließt 5° vor OT bis 30° nach OT
Druck im Brennraum	–0,1 bar bis –0,2 bar Ansaugdruck im Saugrohr	30 bar bis 55 bar Verdichtungsenddruck	60 bar bis 180 bar Höchstdruck	Restdruck: 4 bar bis 6 bar bei Aö –0,2 bar bis 0,4 bar bei As
Temperatur im Brennraum	70 °C bis 100 °C Frischgastemperatur	600 °C bis 900 °C Verdichtungs- temperatur	2 000 °C bis 2 500 °C Höchsttemperatur	Abgastemperatur: 100 °C bis 200 °C im Leerlauf 550 °C bis 750 °C bei Volllast
Besonderheiten beim Dieselmotor	Es wird nur reine Luft angesaugt. Sie wird beim Einströmen in den Brennraum in der Regel nicht gedrosselt, d. h. es befindet sich keine Drosselklappe im Ansaugbereich. Es besteht somit immer Luftüberschuss.	Die reine Luft wird verdichtet und erwärmt sich (Kompressionswärme).	Der Kraftstoff wird kurz vor OT in den Brennraum eingespritzt, verdampft und entzündet sich nach ca. 0,001 s (Zündverzug) an der heißen Luft. (Selbstentzündungstemperatur von verdichtetem Diesel: 320 °C bis 380 °C).	Die Abgastemperaturen sind niedriger, wodurch sich ein höherer Wirkungsgrad ergibt.

Ottomotor				
Einlassventil	öffnet 2 ° bis 40 ° vor OT schließt 30 ° bis 60 ° nach UT	geschlossen	geschlossen	geschlossen
Auslassventil	geschlossen	geschlossen	geschlossen	öffnet 35 ° bis 60 ° vor UT schließt 20 ° bis 40 ° nach OT
Druck im Brennraum	– 0,1 bar bis – 0,6 bar Ansaugdruck	12 bar bis 20 bar Verdichtungsenddruck	50 bar bis 75 bar Höchstdruck	Restdruck: 3 bar bis 5 bar bei Aö – 0,2 bar bis 0,5 bar bei As
Temperatur im Brennraum	30 °C bis 100 °C Frischgastemperatur	400 °C bis 500 °C Verdichtungs-temperatur	2 000 °C bis 2 500 °C Höchsttemperatur	Abgastemperatur: 300 °C bis 500 °C im Leerlauf 700 °C bis 1000 °C bei Volllast
Merkmale	<p>Die Raumvergrößerung beim Abwärtsgehen des Kolbens erzeugt Unterdruck im Brennraum, wodurch Frischgase angesaugt werden. Um die Füllung zu verbessern,</p> <ul style="list-style-type: none"> • öffnet das Einlassventil schon vor OT, da der Unterdruck so beim größten Ventilquerschnitt wirken kann, • schließt das Einlassventil erst nach UT um die Bewegungsenergie der einströmenden Frischgase auszunutzen. 	<p>Durch die Raumverkleinerung wird das Gemisch verdichtet. Der Druck und dadurch die Temperatur steigen an. Dies beschleunigt die Vermischung und Vergasung des Gemischs. Je höher das Gemisch verdichtet wird, umso höher ist der Wirkungsgrad des Motors. Damit steigt die Leistung und der Verbrauch sinkt. Gleichzeitig wird der Motor mechanisch jedoch stärker belastet und die Gefahr der Selbstentzündung des Kraftstoffs steigt (Selbstentzündungstemperatur von verdichtetem Benzin: 500 °C bis 650 °C).</p>	<p>Das Überspringen des Zündfunken entzündet das Gemisch kurz vor OT. Die Flammen breiten sich mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s bis 30 m/s aus, bis das Gemisch voll entzündet ist (nach ca. 0,001 s). Dadurch entsteht der Verbrennungshöchst- druck erst kurz nach OT. Bei steigender Motordrehzahl muss der Zündfunke früher überspringen, sodass der Zündzeitpunkt drehzahlabhängig bis 40 ° vor OT liegt. Der Druck treibt den Kolben nach UT, die entstandene Wärmeenergie wird in Bewegungsenergie umgewandelt.</p>	<p>Das Auslassventil öffnet schon kurz vor UT, die verbrannten Gase entspannen sich in den Auspuff. Dies beschleunigt das Ausströmen und entlastet den Kurbeltrieb ohne viel Energie zu verschenken. Bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens werden die Gase aus dem Brennraum geschoben. Um die Saugwirkung der ausströmenden Gase zur Frischgasfüllung zu nutzen und den Brennraum besser zu entleeren und zu kühlen, wird das Auslassventil erst nach OT geschlossen (Ventilüberschneidung).</p>

Tabelle 6.1

Arbeitsweise von Otto- und Diesel-Viertaktmotor.

Arbeitsaufträge

1. Warum öffnen und schließen die Ventile bei den meisten Viertaktmotoren nicht im oberen und unteren Totpunkt?
2. Ein Kunde fragt Sie nach den Gründen, warum er sein Fahrzeug mit Diesel-Viertaktmotor „schaltfauler“ fahren kann als ein Fahrzeug mit Otto-Viertaktmotor. Was antworten Sie ihm?
3. Fertigen Sie eine Tabelle mit allen Unterschieden zwischen Otto-Viertaktmotor und Diesel-Viertaktmotor an.
4. Werten Sie Bild 6.6 (S. 177) aus: Bei welcher Motordrehzahl müssten Sie nach dem Kennlinienverlauf ein Fahrzeug mit diesem Motor fahren um einen möglichst geringen Kraftstoffverbrauch zu erhalten? Wie aussagekräftig ist dieser Wert für den Alltagsbetrieb eines Fahrzeugs?
5. Berechnen Sie anhand der Fahrzeugpapiere in Ihrer Klasse das Leistungsgewicht einiger Fahrzeuge.

6.4 Mechanische Systeme

Der Otto-Viertaktmotor besteht im Wesentlichen aus den Baugruppen Kurbelgehäuse, Zylinder, Zylinderkopf, Kurbeltrieb, Motorsteuerung, Kraftstoffförder- und Gemischbildungssystem, Kühlsystem, Abgassystem und Zündanlage.

6.4.1 Zylinder und Kurbelgehäuse

Der Zylinder bildet zusammen mit dem Kolben den Brennraum. Er soll den Kolben führen und überschüssige Wärme schnell abführen. Die Zylinderwerkstoffe müssen folgende Eigenschaften besitzen:

- an der Zylinderlauffläche gute Verschleißfestigkeit, da es dort zu hoher Reibung durch den Kolben kommt,
- hohe Festigkeit wegen der ständig wechselnden Druckbelastung,
- gute Schwingungsdämpfung,
- gutes Wärmeleitvermögen und geringe Wärmeausdehnung wegen der großen Temperaturschwankungen.

Das zweigeteilte Kurbelgehäuse nimmt den Kurbeltrieb auf. Das Unterteil ist in der Regel als Ölwanne ausgebildet, das Oberteil ist bei wassergekühlten Motoren mit den Zylindern in einem Stück vergossen (Zylinderkurbelgehäuse = Motorblock), was die Steifigkeit erhöht (Bild 6.7).

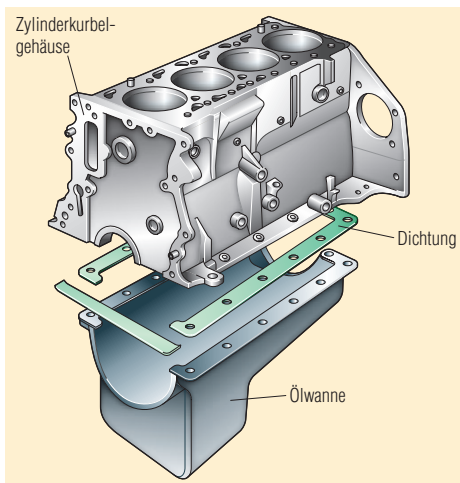


Bild 6.7 Zylinderkurbelgehäuse mit Ölwanne.

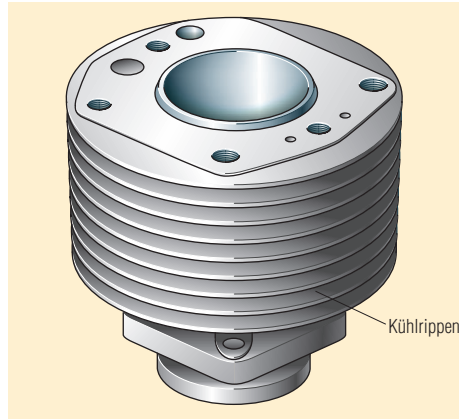


Bild 6.8 Luftgekühlter Einzelzylinder.

Luftgekühlte Motoren haben zur besseren Kühlung meist einzeln stehende Zylinder mit Kühlrippen, die mit dem Kurbelgehäuse-Oberteil verschraubt sind (Bild 6.8).

Als Werkstoff für den Zylinder wird häufig Guss-eisen mit Lamellengraphit verwendet. Es bringt alle notwendigen Werkstoffeigenschaften mit, ist aber schwer. Daher werden zunehmend Aluminiumlegierungen eingesetzt, die sich durch ihr geringes Gewicht und die sehr gute Wärmeleitfähigkeit auszeichnen. Die Gehäuse sind wegen der geringeren Festigkeit des Werkstoffs zusätzlich verrippt. Außerdem muss die Verschleißfestigkeit der Zylinderlauffläche durch zusätzliche Maßnahmen erhöht werden.

Zylinderlaufbuchsen. Manche Zylinder aus Guss-eisen und Zylinder aus Aluminium mit weniger als 12 % Silicium erhalten Laufbuchsen aus hochwertigem Gusseisen, die sehr verschleißfest sind. Man unterscheidet nasse und trockene Laufbuchsen (Bild 6.9):

- Nasse Laufbuchsen werden direkt von der Kühlflüssigkeit umspült. Das ergibt eine gute

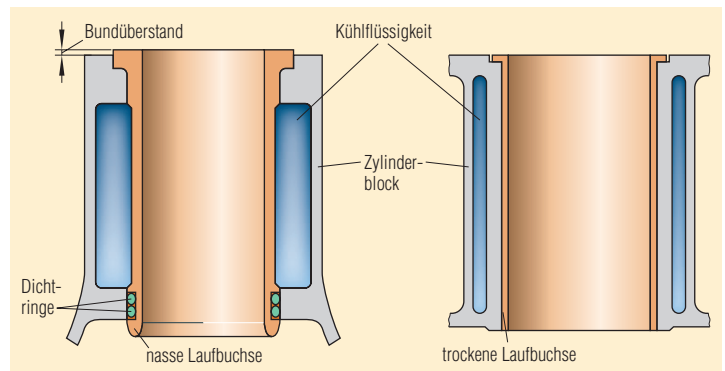


Bild 6.9 Zylinderlaufbuchsen.

Eutektikum: sehr gleichmäßiges Gemenge aus zwei oder mehreren Stoffen, das sich bei seiner Erstarrung wie ein reiner Stoff verhält (z. B. Aluminium mit 12 % Siliciumanteil).

Kühlung. Allerdings muss der Kühlmittelkreislauf gut gegen das Kurbelgehäuse abgedichtet werden.

- Bei trockenen Laufbuchsen ist die Kühlwirkung nicht so gut, weil sie nicht direkt vom Kühlmittel umspült werden. Sie erfordern aber keine zusätzlichen Dichtungen.

Zylinderlaufläche. Neben der Verwendung von Zylinderlaufbuchsen werden bei Zylindern aus Al-Legierungen noch weitere Verfahren zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit der Laufläche angewendet. Hierbei spielt der Legierungsbestandteil Silicium eine wichtige Rolle:

- Bei der Verwendung von Aluminium-Silicium-Legierungen mit mehr als 12 % Siliciumanteil (übereutektisches Aluminium) werden die Siliciumkristalle bei der Bearbeitung der Zylinderlaufbahn durch Honen, Ätzen oder Läppen freigelegt. Der mit Eisen beschichtete Kolben läuft dann direkt auf dem abgeplatteten Silicium (Alusil-Verfahren).
- Bei der Verwendung von Aluminium-Silicium-Legierungen mit weniger als 12 % Siliciumanteil wird lokal der Silicium-Anteil in der Laufläche erhöht (Lokasil-Verfahren). Hier werden vor dem Abguss hochporöse zylindrische Körper aus Silicium (Preforms) in den vorgegossenen Zylinder eingelegt. Sie werden in einem speziellen Gießprozess von der Basislegierung durchdrungen, was zu einer spaltfreien Verbindung mit der Umgebung führt. Zum Schluss wird die Laufläche wie beim Alusil-Verfahren nachbearbeitet.

Closed-Deck-Ausführung. Bis auf wenige Bohrungen für Kühl- und Ölkanäle ist die Dichtfläche um die Zylinderbohrung herum geschlossen (Bild 6.7, S. 181). Dies gewährleistet eine hohe Stabili-

tät. Zylinder dieser Bauart werden aus Gusseisen oder übereutektischem Aluminium gefertigt.

Open-Deck-Ausführung. Die Fläche um die Zylinderbohrung ist zum Zylinderkopf hin offen (Bild 6.10). Dies ergibt eine geringere Steifigkeit, sodass Metall-Zylinderkopfdichtungen verwendet werden müssen. Das Herstellungsverfahren (Druckgussverfahren) für Zylinder dieser Bauweise ist zwar kostengünstiger, erfordert aber die Verwendung von niedrig legiertem Aluminium mit weniger als 12 % Siliciumanteil. Daher ist es notwendig, die Laufläche anschließend gegen Verschleiß zu schützen (Lokasil-Verfahren).

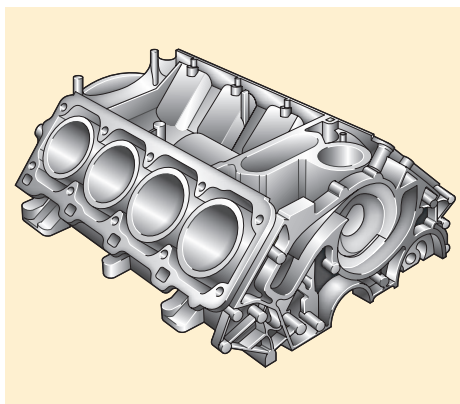


Bild 6.10 Zylinderkurbelgehäuse in Open-Deck-Ausführung.

closed (engl.): geschlossen

open (engl.): offen, geöffnet

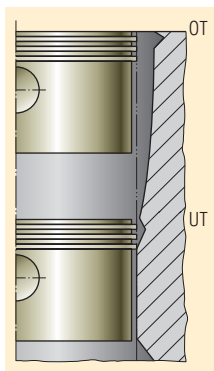


Bild 6.11 Zylinderverschleiß.

Zylinderverschleiß. Die Zylinderlaufbahn wird nicht an allen Stellen gleich beansprucht, wodurch es zu einem ungleichmäßigen Verschleiß kommt. Vor allem im Bereich der Totpunkte kommt es wegen der Bewegungsumkehr des Kolbens zu verminderter Schmierung und damit erhöhtem Verschleiß. Im oberen Totpunkt erhöht sich dieser zusätzlich wegen des Ölman- gels und der hohen Belastung (Bild 6.11).

6.4.2 Zylinderkopf

Der Zylinderkopf (Bild 6.12) schließt den Zylinder nach oben ab. Zylinderkopf und Motorblock sind miteinander verschraubt. Zwischen beiden liegt die Zylinderkopfdichtung, über dem Zylinderkopf sitzt die Zylinderkopfhaube.

Bei flüssigkeitsgekühlten Motoren befinden sich Kühlkanäle im Zylinderkopf, bei luftgekühlten Motoren ist er mit großflächigen Kühlrippen versehen. Da der Zylinderkopf den Brennraum abschließt und die Ein- und Auslasskanäle aufnimmt, ist er hohen thermischen Belastungen

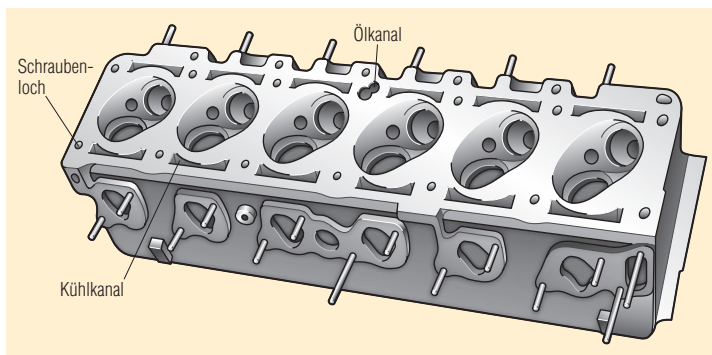


Bild 6.12 Zylinderkopf mit Öl- und Kühlkanälen.

ausgesetzt. Wegen der guten wärmeableitenden Eigenschaften werden daher häufig Leichtmetalllegierungen als Werkstoff eingesetzt. Im bzw. am Zylinderkopf sind außerdem Teile der Motorsteuerung (Nockenwelle, Kipphebel, Ventile) und die Zündkerzen (bzw. Einspritzdüsen beim Dieselmotor) untergebracht (Bild 6.13). Wegen der dadurch entstehenden mechanischen Beanspruchung ist das Leichtmetall z. T. durch Gussteile (Ventilführungen und -sitze) verstärkt.

Verdichtungsraum. Der Verdichtungsraum befindet sich meistens vollständig im Zylinderkopf. Teilweise kann er allerdings auch im Kolbenboden untergebracht sein (Bild 6.14a).

Der Verdichtungsraum sollte möglichst klein sein, eine geringe Oberfläche besitzen und die gute Verwirbelung des Kraftstoff-Luft-Gemisch ermöglichen. Gründe dafür:

- Die geringe Oberfläche verringert die Wärmeverluste. Außerdem kann die örtliche Abkühlung des Gemischs vermieden werden, die ansonsten zu erhöhtem HC-Ausstoß führt.
- Kurze Brennwege und ein homogenes Gemisch führen zu einer schnellen Verbrennung. Dadurch ergeben sich hohe Leistung und Drehmoment bei niedrigem Verbrauch.
- Im homogenen Gemisch gibt es keine Zonen, in denen sich das Gemisch vorzeitig entzündet (Klopfen), sodass höhere Verdichtungsverhältnisse oder die Verwendung von Normkraftstoff möglich sind.
- Im homogenen Gemisch werden Bereiche mit hohem Kraftstoffanteil vermieden, wodurch der HC-Ausstoß verringert wird.

Die dafür günstigste Form wäre die Halbkugel mit einer zentral angeordneten Zündkerze (bzw. Einspritzdüsen beim Dieselmotor). In der Praxis ist dies allerdings wegen der Platzierung von Ventilen und Gaskanälen nur annähernd möglich (Bild 6.14d). Große Ventilquerschnitte sorgen für eine gute Füllung, so genannte Quetschzonen (Bild 6.14c) für eine gute Verwirbelung, da hier das Gemisch sehr schnell herausgepresst wird.

Eine weitere Verbesserung des Füllungsgrads ist durch den Einbau von mehreren Ventilen im Zylinderkopf möglich (Bild 6.15).

Die Zylinderkopfdichtung sitzt zwischen Zylinder und Zylinderkopf und dichtet den Brennraum und die Öl- und Wasserkanäle ab. Sie benötigt folgende Eigenschaften:

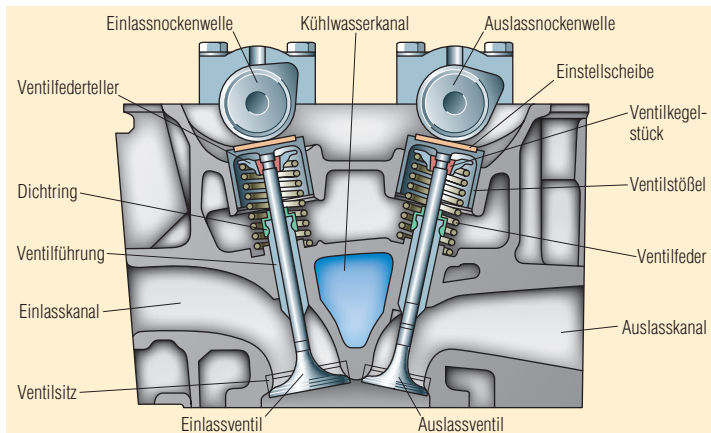


Bild 6.13 Zylinderkopf im Querschnitt.

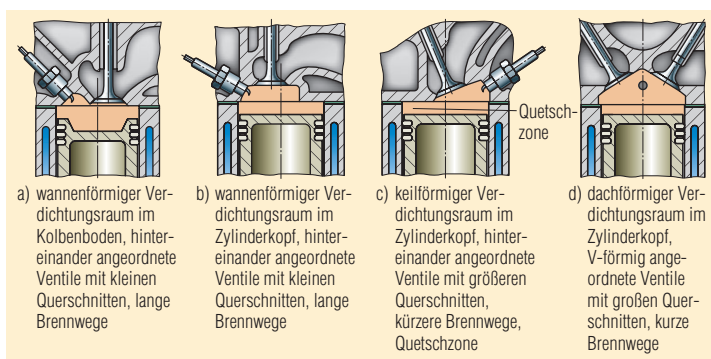


Bild 6.14 Verdichtungsraumformen.

- hitzebeständig und wärmeleitend wegen der hohen Temperaturen,
- korrosionsbeständig,
- druckfest um ein Setzen des Zylinderkopfs zu vermeiden,
- elastisch um Wärmeausdehnungen und Unebenheiten auszugleichen.

HC: (unverbrannte) Kohlenstoff-Wasserstoff-Moleküle

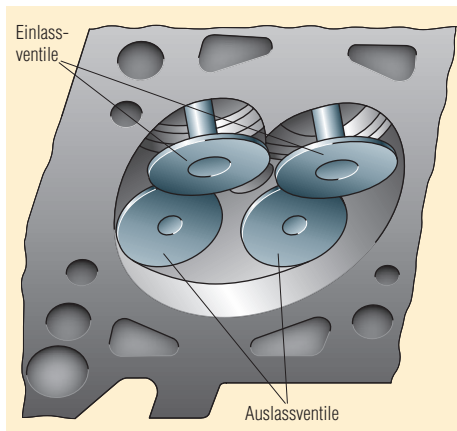


Bild 6.15 Vierventil-Zylinderkopf.

Mechanische Belastung. Bei einer Drehzahl von 6000 min^{-1} wird der Kolbenboden eines Kolbens mit 90 mm Durchmesser bei einem Verbrennungshöchst-Druck von 75 bar 50 mal pro Sekunde mit einer Kraft von fast 48 000 N belastet. 5 % bis 6 % dieser Kraft wirken als Seitenkraft auf den Kolbenschaft. Die Bolzen-naben werden dabei durch eine große Flächen-Druckung bis zu 70 N/mm^2 belastet.

$$F = p \cdot A$$

$$F = 750 \text{ N/cm}^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 9^2 \text{ cm}^2}{4} \right)$$

$$F = 47\,712,9 \text{ N}$$

Kolbenbolzen-Desachsierung. Durch die Seitenkraft kommt es beim Wechsel der Anlagenseite von der Gegendruck- zur Druckseite im oberen Totpunkt zu Geräuschen und erhöhtem Verschleiß durch Kolbenkippen. Dies kann durch eine große Schaftlänge (gute Führung), geringes Einbauspil oder eine Desachsierung der Kolbenbolzenachse verringert werden. Der Seitenwechsel des Kolbens erfolgt dadurch schon kurz vor OT und damit vor dem Auftreten des hohen Verbrennungsdrucks (Bild 6.19).

Thermische Belastung. Die hohen Temperaturen und Temperaturschwankungen belasten vor allem den Kolbenboden und die Ringzone. Dort wird auch ein Großteil der Wärme an die Zylinderwand abgegeben. Die Wärme fließt aber auch in den Bereich des Kolbenschafts. Es stellt sich ein Temperaturgefälle ein (Bild 6.20).

Durch die Erwärmung dehnt sich der gesamte Kolben aus. Dabei kommt es am Kolbenboden (wegen der höheren Temperaturen) und an der Bolzenachse (wegen der Materialanhäufung) zur größten Ausdehnung. Daher hat der Kolben im kalten Zustand eine ballige und ovale Form und wird erst im warmen Zustand zylindrisch und rund (Bild 6.21).

Im kalten Zustand muss darum ein ausreichend großes Einbauspil vorgesehen sein, damit es im heißen Zustand nicht zu einem Festkleben des Kolbens kommt. Dieses Einbauspil führt bei kaltem Motor zu Gas- und Ölverlusten und zu Geräuschen. Um dies zu verhindern, können durch konstruktive Maßnahmen die Wärmeausdehnung und der Wärmefluss im Kolben so beeinflusst werden, dass der Kolben im kalten und warmen Zustand fast die gleiche Form besitzt.

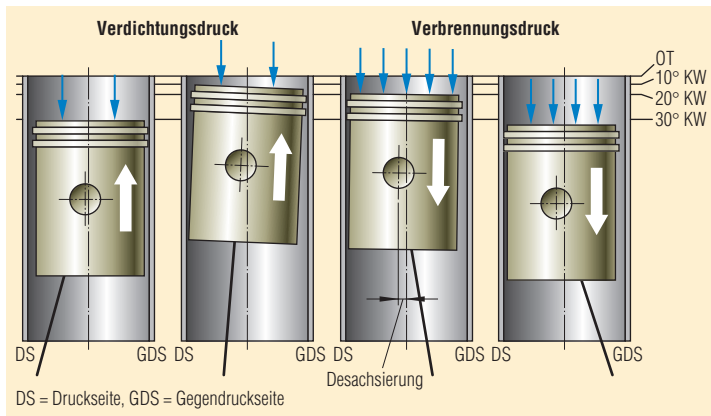


Bild 6.19 Kolbenbolzen-Desachsierung.

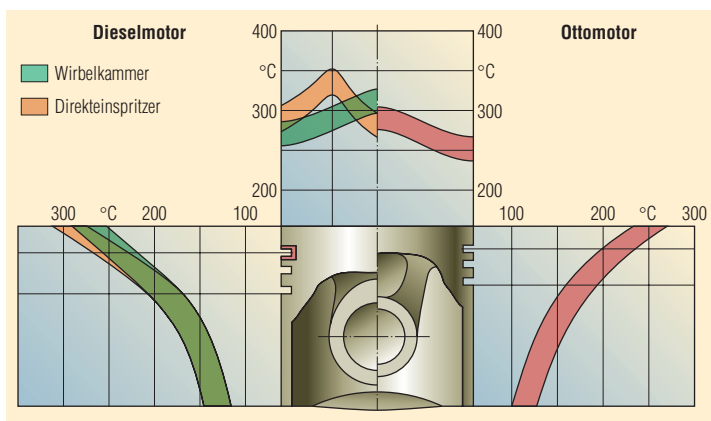


Bild 6.20 Betriebstemperaturen von Kolben in Fahrzeugmotoren bei Volllast.

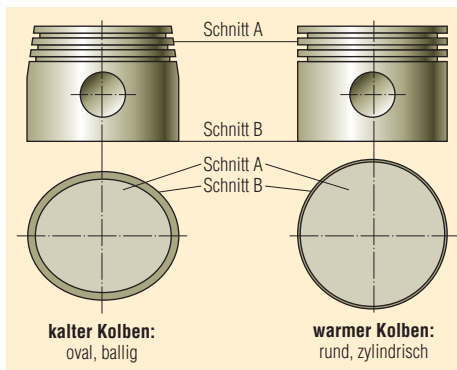
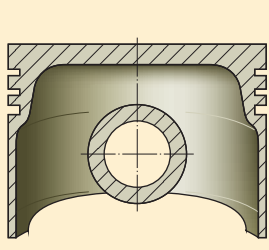
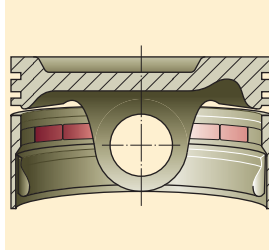
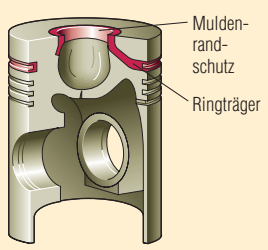
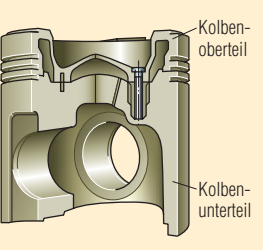


Bild 6.21 Kolbenform im kalten und warmen Zustand.

Kolbenbauarten. Man unterscheidet Einmetallkolben, Regelkolben, Ringträgerkolben und gebaute Kolben (Tabelle 6.2, S. 186).

Kolben-Einbauspil: kleinstes Spil zwischen Kolben und Zylinderwand, gemessen am Schaftende und quer zur Kolbenbolzenachse.

Einmetallkolben	Regelkolben	Ringträgerkolben	gebaute Kolben
			
Einmetallkolben werden aus Leichtmetalllegierungen gegossen oder gepresst (Vollschaftkolben). Ist ein Längsschlitz am Schaft zum Ausgleich der Wärmeausdehnung angebracht, spricht man von einem Schlitzmantelkolben.	Regelkolben sind mit eingegossenen Stahlstreifen versehen, welche die Wärmeausdehnung gezielt in bestimmte Bereiche lenken sollen, sodass das Schaftlaufspiel im kalten und betriebswarmen Zustand nahezu gleich ist. Zusätzlich kann durch einen Querschlitz unterhalb des Kolbenbodens der Wärmeübergang zum Schaft verringert werden.	Ringträgerkolben werden vor allem in Dieselmotoren verwendet. In die oberste Ringnut des Aluminium-Kolbens sind Ringträger aus hochlegiertem Gusseisen eingegossen. Sowohl die Nut als auch der darin eingesetzte Kolbenring werden durch den besonders widerstandsfähigen Werkstoff vor Reib- und Schlagverschleiß geschützt.	Gebaute Kolben besitzen ein geschmiedetes Stahl-Oberteil mit geschmiedetem Alu- oder Stahl-Unterteil, die durch Verschraubung miteinander verbunden sind. Zwischen beiden Teilen befindet sich eine Kühlbohrung. Diese Kolbenbauart besitzt eine höhere Festigkeit des Kolbenbodens als ein Einmetallkolben bei nur gering erhöhtem Gewicht.
Tabelle 6.2		Kolbenbauarten.	

Kolbenkühlung. Bei der Anspritzkühlung wird der Kolben durch Spritzöl von unten gekühlt. Dazu wird aus dem Schmierölkreislauf Öl abgezweigt und über eine Düse an den Kolbenboden gespritzt. Kolben, die mit Kühlkanälen oder Kühlräumen im Bereich der ersten Ringnut versehen sind, werden mit Drucköl versorgt. Dieses wird entweder über die Pleuelstange zugeführt oder in einen trichterförmigen Kanal am Kolben eingespritzt.

Kolbenbolzen. Er verbindet Pleuelstange und Kolben. Dabei treten ständig wechselnde hohe Abscherkräfte und große Oberflächenreibung bei gleichzeitig schlechter Schmierung auf. Daher wird der Kolbenbolzen aus zähem Einsatz- oder Nitrierstahl hergestellt, der an der Oberfläche gehärtet wird. Um Gewicht zu sparen, wird der Bolzen hohl gebohrt. Bei Zweitaktmotoren ist zur Vermeidung von Spülverlusten die Bohrung nicht durchgängig (Bild 6.22).

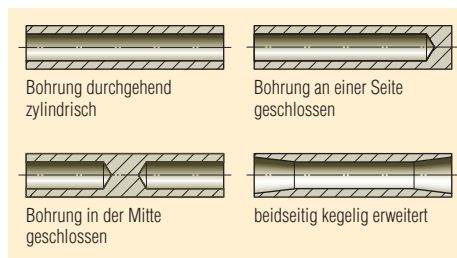


Bild 6.22 Kolbenbolzen.

Der Kolbenbolzen ist im Pleuel oder Kolben gelagert und gesichert (Tabelle 6.3).

Kolbenringe. Man unterscheidet zwei Bauarten:

- die Verdichtungsringe übernehmen die Feinabdichtung des Brennraums und die Wärmeabfuhr an die Zylinderlaufbahn,
- die Ölabbstreifringe regulieren den Ölhaushalt, indem sie überschüssiges Schmieröl von der Zylinderwand abstreifen, aber gleichzeitig einen dünnen Ölfilm zurücklassen, der die Schmierung gewährleistet.

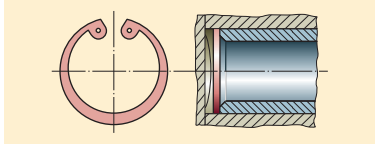
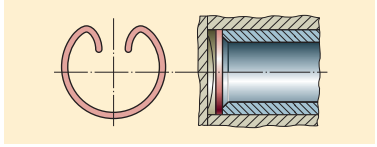
schwimmende Lagerung		Schrumpfsitz (Übermaßpassung)
Kolbenbolzen ist im Pleuelauge und im Kolben beweglich		Kolbenbolzen ist in das Pleuelauge fest eingeschrumpft und im Kolben beweglich
		
Sicherung mit Wellen-Sicherungsring (Seeger-Ring)		keine weitere Sicherung notwendig
Sicherung mit Wellen-Drahtsprengring		

Tabelle 6.3

Lagerung und Sicherung von Kolbenbolzen.

Die Kolbenringe haben die Form einer offenen Ringfeder um mit dem nötigen Druck an der Zylinderwand anzuliegen. Die Federkraft wird bei den Kompressionsringen im Motorbetrieb durch den auch hinter dem Ring wirkenden Gasdruck verstärkt. Der Gasdruck zwingt ebenfalls den Ring an die Seite der Kolbenringnut, was die Dichtwirkung erhöht (Bild 6.23).

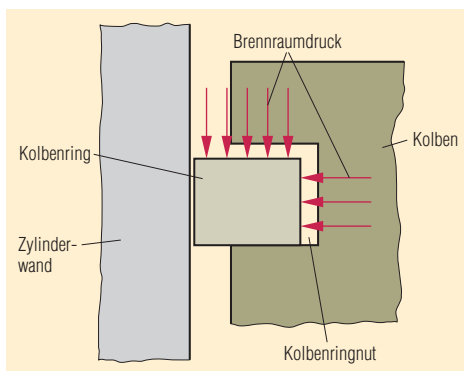


Bild 6.23 Dichtwirkung durch den Brennraumdruck.

Kolbenringe werden aus hochwertigem oder vergütetem Gusseisen oder aus Stahl gefertigt. Zur Verringerung des Verschleißes können die Ringe zusätzlich hartverchromt oder mit Molybdänschichten versehen werden.

Die Anschrägungen, Fasen und Nasen der verschiedenen Kolbenringformen verkürzen den Einlaufvorgang (Minutenring), verhindern das Verkoken und Festsitzen in der Nut (Trapezring) oder erzielen eine zusätzliche Ölabbstreifwirkung (Nasenring). Schlauch- oder Expanderfedern in den Ölabbstreifringen erhöhen den Anpressdruck und damit die Ölabbstreifwirkung (Bild 6.24).

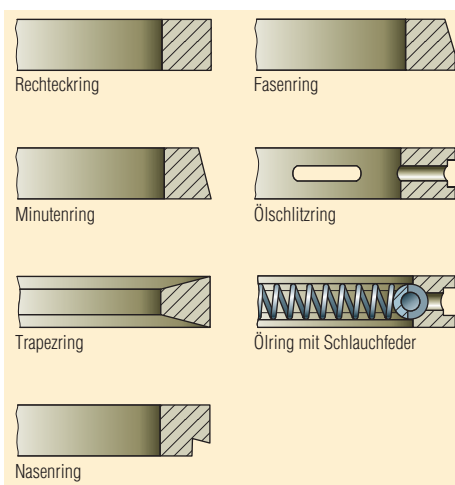


Bild 6.24 Kolbenringformen.

6.4.4 Lager

Lager führen Achsen und Wellen, nehmen die dabei entstehenden Kräfte auf und übertragen sie auf ein Lagergehäuse.

Nach der Richtung der auf das Lager wirkenden Kräfte unterscheidet man Radiallager und Axiallager, nach der Art der Lagerreibung Wälzlager und Gleitlager.

Radiallager und Axiallager. Radiallager (auch Querlager genannt) nehmen Kräfte quer zur Drehachse auf, Axiallager (oder Längslager) nehmen Kräfte in Richtung der Drehachse auf. Häufig treten beide Lastrichtungen kombiniert auf (Bild 6.25, S. 188). Radlager müssen beispielsweise Radialkräfte, die durch das Fahrzeuggewicht entstehen, und bei Kurvenfahrt auftretende Querkräfte aufnehmen.

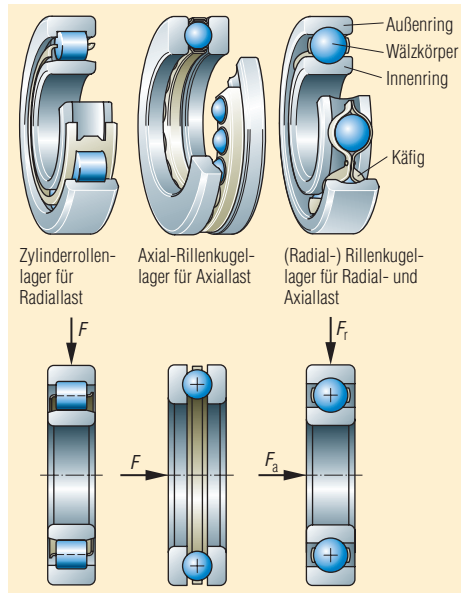


Bild 6.25 Wälzlager für verschiedene Lastrichtungen.

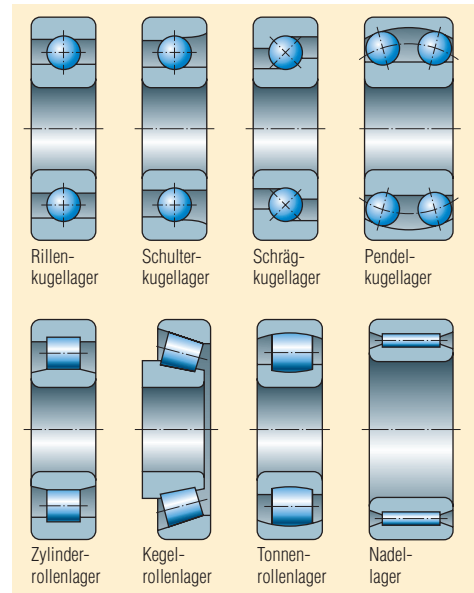


Bild 6.26 Wälzlagerarten.

Reibung → S. 76

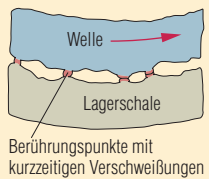
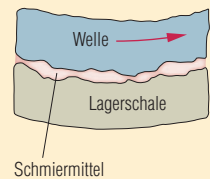
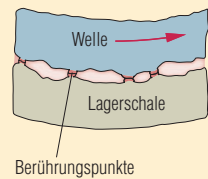
Wälzlager bestehen aus einem äußeren und einem inneren Lagerring und einem dazwischen angeordneten Wälzkörper. Über diese Wälzkörper erfolgt die Kraftübertragung zwischen Innen- und Außenring. Es entsteht **Rollreibung**, die im Vergleich zur Gleitreibung der Gleitlagerung erheblich geringer ist. Die Wälzkörper werden häufig in einem Käfig geführt, damit sie einander nicht berühren. Je nach Form der Wälzkörper unterscheidet man verschiedene genormte Lagerarten (Bild 6.26).

Bei allen Kugellagern besteht eine punktförmige Berührung, was zu hoher Flächenpressung führt. Daher sind die Rollenlager mit linienförmiger Berührung erheblich höher belastbar. Allerdings nehmen hier die Reibung und damit auch die Erwärmung zu.

Wälzlager werden entweder durch Fett oder durch Öl geschmiert, wobei die Fettschmierung wegen der einfacheren Abdichtung bevorzugt wird. Häufig besitzen Wälzlager eine eigene Fettfüllung, sodass das Nachschmieren entfällt.

Gleitlager sind meistens als Mehrschichtlager ausgeführt (Bild 6.32, S. 191). Auf einer Stahlstützschale werden mehrere Schichten mit unterschiedlichen spezifischen Eigenschaften (Stützen, Tragen, Schmieren) aufgebracht. Gleitlager sind zur besseren Montage meist in zwei Lageraschen geteilt, es gibt aber auch ungeteilte Lagerbuchsen (Pleuellager, Bild 6.31, S. 191). Bei Gleitlagern tritt Gleitreibung auf (Tabelle 6.4).

Gleitlager müssen zur Schmierung ständig mit Öl versorgt werden, welches zwischen der Welle und den Lagerschalen einen Schmierfilm bildet. Die große Schmierfläche wirkt schwingungs- und geräuschkämpfend. Ohne ausreichenden Schmierfilm entsteht Festkörperreibung und damit auch starker Verschleiß, bei ausreichender Schmierung ist wegen der reinen Flüssigkeitsreibung die Lebensdauer fast unbegrenzt.

Festkörper- oder Trockenreibung	Flüssigkeitsreibung	Mischreibung
		
<p>Die beiden Werkstücke berühren sich direkt und ohne Schmierung. Es kommt zu hohen Temperaturen und damit zum partiellen Verschweißen und Wieder-Auseinanderreißen der Werkstücke. Dies führt zum Fressen der beiden Werkstückoberflächen (z. B. Kolbenfresser).</p>	<p>Zwischen den beiden Werkstücken befindet sich ein Schmierfilm, sodass sie sich nicht berühren. Reibung besteht nur innerhalb des trennenden Schmierstoffs.</p>	<p>Wenn sich beim Anlaufen der Welle zwischen den beiden Werkstücken noch kein zusammenhängender Schmierfilm gebildet hat, tritt an manchen Stellen Trockenreibung und an anderen Stellen Flüssigkeitsreibung auf.</p>
<p>Tabelle 6.4</p>	<p>Gleitreibungsarten.</p>	

Hydrodynamische Schmierung. Der zur Schmierung des Gleitlagers erforderliche Öldruck wird allein durch die Drehbewegung der Welle erzeugt (Bild 6.27). Die Zuführung des Schmieröls selbst erfolgt mit relativ geringem Druck. Beim Anlaufen der Welle entsteht zunächst Mischreibung. Während dieser Zeit kommt es zu einem erhöhten Lagerverschleiß, da sich der hydrodynamische Druck noch nicht voll aufgebaut hat. Mit steigender Drehzahl nimmt der Druck zu und es gibt einen fließenden Übergang zur Flüssigkeitsreibung, die Welle „schwimmt“ auf dem Öl.

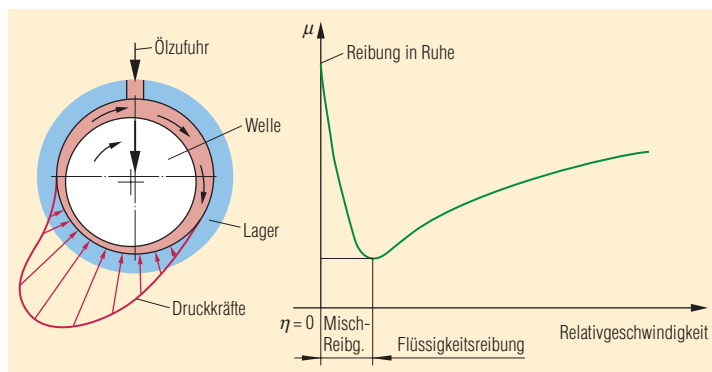


Bild 6.27 Hydrodynamische Schmierung.

6.4.5 Pleuelstange

Die Pleuelstange überträgt die Kolbenkraft auf die Pleuellager. Dabei wandelt sie die geradlinige Pleuellagerbewegung in eine Drehbewegung der Pleuellager um. Sie wird ständig wechselnd auf Zug, Druck, Biegung und Knickung beansprucht. Dies erfordert einen hochfesten Werkstoff, der zusätzlich leicht sein muss. Daher werden Pleuellager häufig aus folgenden Werkstoffen hergestellt:

- legierter Vergütungsstahl,
- Kugelgraphitguss oder Temporguss,
- Aluminium- oder Titanlegierungen,
- Sinterwerkstoffe,
- Kohlenstoff-Kunststoffe (CFK).

Die Fertigung erfolgt durch Gesenkschmieden, Gießen oder Sintern.

Doppel-T-Querschnitt: **I**

Aufbau (Bild 6.28). Der Pleuelschaft hat meistens einen Doppel-T-Querschnitt um bei möglichst geringem Gewicht eine hohe Formsteifigkeit zu gewährleisten. Um zusätzlich Gewicht einzusparen kann der Schaft durchbrochen sein.

Das obere Pleuelauge (Pleuelkopf) nimmt den Kolbenbolzen auf. Bei schwimmender Lagerung des Kolbenbolzens befindet sich im Pleuelauge eine Buchse, meist aus Blei-Kupfer-Zinn-Legierungen. Diese Buchse wird entweder durch Spritzöl über eine Bohrung im Pleuelauge oder durch Drucköl über eine Längsbohrung im Pleuelschaft geschmiert.

Der Pleuelfuß ist meist geteilt, ungeteilte Pleuelstangen erfordern eine geteilte Kurbelwelle (Bild 6.31). Bei Dieselmotoren werden häufig schräg geteilte Pleuel eingesetzt. So lässt sich der wegen der höheren Kräfte größere Pleuelfuß nach oben aus dem Zylinder ausbauen.

Der Pleueldeckel wird mit Dehnschrauben am Pleuelfuß befestigt. Die Lagerschalen im unteren Pleuelauge sind zur Sicherung gegen Verdrehen oder Verschieben mit Haltenasen versehen.

cracken (engl.):
brechen

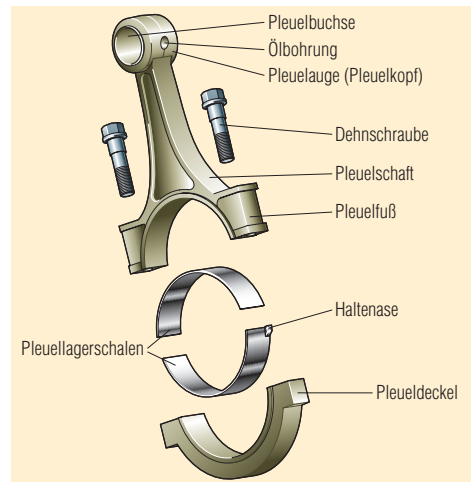


Bild 6.28 Aufbau der Pleuelstange mit Lagerschalen.

Gesinterte Pleuelstangen werden zunächst in einem Stück hergestellt. Erst danach wird der Pleuelfuß mit einer Sollbruchstelle (Kerbe) versehen und anschließend auseinander gebrochen (Cracken). Die körnige Bruchstelle wird nicht mehr nachbearbeitet, denn sie liefert einen hervorragenden Passsitz mit großer Oberfläche und einem Verzahnungseffekt.

Arbeitsaufträge

1. Zeichnen Sie einen kreisförmigen Verdichtungsraum und konstruieren Sie einen 2-Ventiler, einen 4-Ventiler und einen 5-Ventiler in diesem Kreis. Was stellen Sie bezüglich der Ventilflächen fest? An welche Grenzen stoßen Sie bei der Konstruktion?
2. Zählen Sie möglichst viele Maßnahmen zum Einsparen von Gewicht am Motor auf.
3. Warum sollte ein Kolben möglichst im kalten Zustand als auch im warmen Zustand die gleiche Form haben?
4. Warum werden nasse Zylinderlaufbuchsen vor allem bei Nutzkraftwagen eingesetzt?
5. Warum kommt es durch ein zu großes Höhenspiel an den Kolbenringen zu einem Pumpeffekt, durch den Öl in den Brennraum gelangt?

6.4.6 Kurbelwelle

Die Kurbelwelle wandelt die lineare Bewegung des Kolbens über das Pleuel in eine Drehbewegung um und überträgt diese auf den Antriebsstrang und die Riemenscheiben. Sie besteht aus den Kurbelzapfen und den Wellenzapfen (Bild 6.29). Die Kurbelwelle wird auf **Torsion und Biegung belastet** (Bild 6.30).

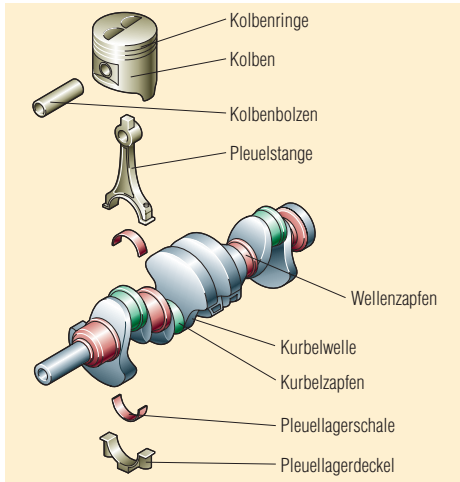


Bild 6.29 Aufbau Kolben – Kurbelwelle.

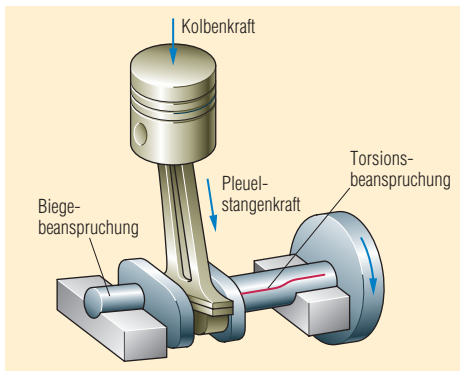


Bild 6.30 Belastung der Kurbelwelle.

Bauarten. Je nach Motorkonstruktion und Anforderung gibt es verschiedene Bauarten von Kurbelwellen:

- ganzteilig geschmiedet,
- ganzteilig gegossen,
- zusammengesetzt.

Die ganzteiligen Kurbelwellen werden in Mehrzylinder-Viertaktmotoren verwendet, weil sie wegen der Gleitlagerung eine gesicherte Schmierung durch Motoröl haben müssen. Geschmiedete Kurbelwellen haben eine sehr hohe Festigkeit und können daher dünner und leichter sein.

Sie werden in Hochleistungsmotoren eingesetzt. Gegossene Kurbelwellen sind kostengünstiger herzustellen. Sie werden bei Großserienmotoren verwendet, die keinen extremen Belastungen ausgesetzt sind.

Zusammengesetzte (gebaute) Kurbelwellen werden in Zweitaktmotoren eingesetzt, weil wegen der **Gemischschmierung** Wälzlager verwendet werden müssen. Diese sind nicht teilbar und müssen vor dem Zusammenbau der Kurbelwelle montiert werden (Bild 6.31).

Torsion, Biegebelastung → S. 35

Gemischschmierung → S. 312

Kurbelwellenlagerung. (Bild 6.32) Alle Lager einer Kurbelwelle müssen radiale Kräfte aufnehmen. Jeweils ein Kurbelwellenlager ist so konstruiert, dass es auch die axialen Kräfte aufnehmen kann. Dazu ist meistens das mittlere Lager als Pass- oder Führungslager ausgeführt. Es kann die Axialkräfte der Kupplung aufnehmen und verhindert eine Längsverschiebung der Kurbelwelle. Alle übrigen Lager müssen eine Längs-

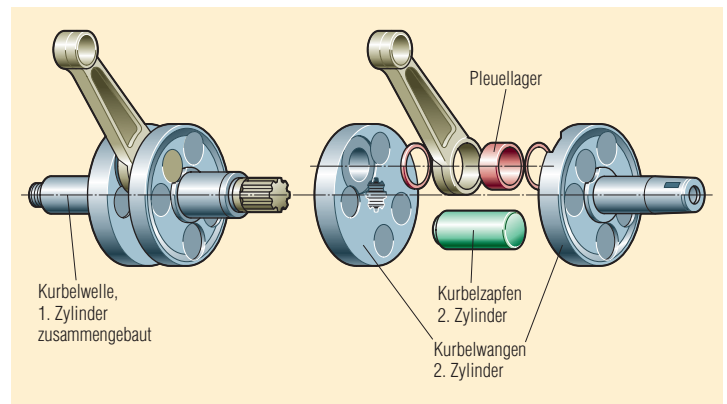


Bild 6.31 Zusammengesetzte Kurbelwelle.

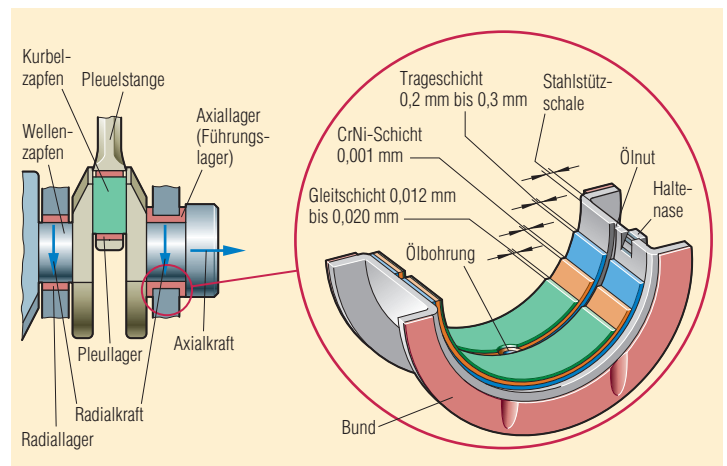


Bild 6.32 Gleitlager Kurbelwelle.

verschiebung zulassen, damit keine Spannungen durch Wärmeausdehnung entstehen.

Die Gleitlager sind geteilt und haben meist drei Schichten. Der Trägerwerkstoff besteht aus Stahl. Darauf befindet sich eine Tragschicht aus einer Blei-Zinn-Kupfer-Legierung (PbSnCu) sowie eine Gleitschicht aus dem gleichen Werkstoff. Als Verbindung zwischen Tragschicht und Gleitschicht dient eine mikrofeine Schicht aus Nickel.

Ausgleichswellen. Durch die ungleichmäßigen Bewegungen des Kurbeltriebes entstehen Massenkräfte und Massenmomente, die von den Fahrzeuginsassen als unangenehme Motorgereusche oder Vibrationen wahrgenommen werden. Bei Motoren mit sechs Zylindern in Reihenbauweise heben sich diese Schwingungen gegenseitig auf. Bei den übrigen Bauweisen ist dies nicht möglich.

Zur Dämpfung dieser Schwingungen und Verbesserung des Komforts werden im Motorblock Ausgleichswellen eingebaut. Ausgleichswellen sind so gestaltet, dass die unerwünschten Schwingungen der Kurbelwelle überlagert und damit unwirksam gemacht werden. Dies geschieht durch

- Anordnung der Gewichte,
- Drehrichtung der Ausgleichswelle,
- Zahl der Ausgleichswellen,
- Drehzahl der Ausgleichswelle (Bild 6.33).

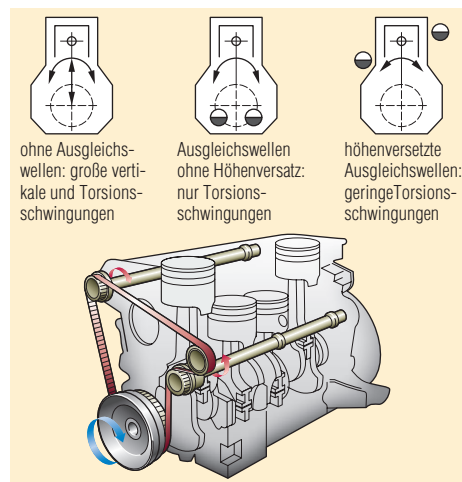


Bild 6.33 Ausgleichswellen.

6.4.7 Ventilsteuerung

Die Ein- und Auslassventile eines Viertaktmotors werden von der Nockenwelle bei jeder zweiten Kurbelwellenumdrehung geöffnet. Damit die Ventilöffnung synchron zur Kolbenstellung verläuft, sind Kurbelwelle und Nockenwelle formschlüssig miteinander gekoppelt. Das Übersetzungsverhältnis zwischen Kurbel- und Nockenwelle ist 2:1 und muss dauerhaft eingehalten werden.

Das System (Bild 6.34) besteht aus:

- Nockenwelle,
- Nockenwellenantrieb
- Ein- und Auslassventile,
- Ventilbetätigung.

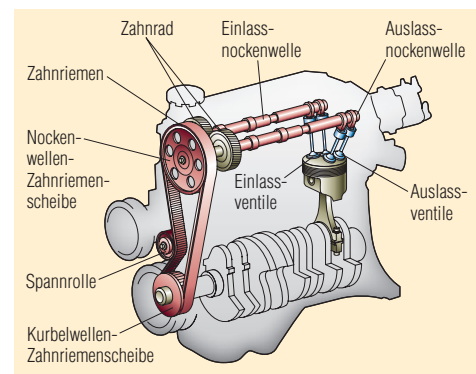


Bild 6.34 System Ventilsteuerung.

Nockenwelle. Ein- und Auslassventile werden durch eine Nockenwelle in der richtigen Reihenfolge geöffnet. Sie besteht aus einer Welle mit je einem Nocken pro Ventil, das betätigt werden soll, und den Lagern (Bild 6.35). Die Nockenform bestimmt die Öffnungsdauer und den maximalen Öffnungshub der Ein- und Auslassventile (Bild 6.36). Je steiler der Nocken ausgeführt ist, umso länger ist das Ventil geöffnet. Die Zeit für den Gaswechsel ist relativ groß. Durch die steile Form entstehen hohe Ventilöffnungskräfte und -geschwindigkeiten und ein hoher Verschleiß. Asymmetrische Nocken haben eine schräg auflaufende und steil ablaufende Nockenbahn. Dies bewirkt lange Ventilöffnungszeiten bei geringem Verschleiß.

Nockenwellen bestehen aus geschmiedetem Stahl oder legiertem Gusseisen mit Kugelgraphit. Die Laufbahnen sind auf der Oberfläche gehärtet. Zur Verminderung der Masse können die Nockenwellen hohl gebohrt sein.

Einbaulage der Nockenwelle. Tabelle 6.5 zeigt, wie eine Nockenwelle im Motor montiert werden kann. Das System umfasst die Verbindung der Nockenwelle zu den Ein- und Auslassventilen. Folgende Kriterien beeinflussen die Wahl der Einbaulage der Nockenwelle:

- geringe Massenträgheit = hohe Drehzahlfestigkeit,
- lange Haltbarkeit,
- geringe Herstellungskosten.

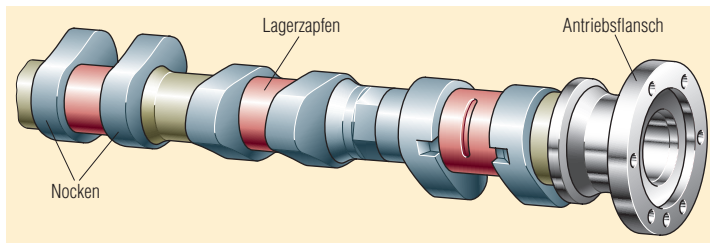


Bild 6.35 Nockenwelle.

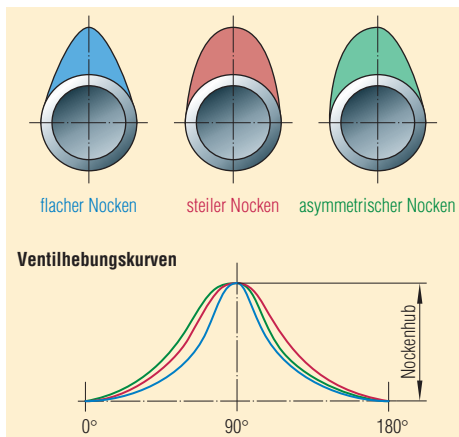


Bild 6.36 Nockenform und Öffnungszeit.

SV (Side Valves)	OHV (Overhead Valves)	OHC (Overhead Camshaft)	DOHC (Double Overhead Camshaft)	CIH (Camshaft in Head)
unten liegende Nockenwelle, (im Motorblock) stehende Ventile	unten liegende Nockenwelle, Ventile hängend im Zylinderkopf, Antrieb über Kipphebel und Stößel	oben liegende Nockenwelle, hängende Ventile im Zylinderkopf, Antrieb über Kette oder Zahnriemen	zwei oben liegende Nockenwellen, hängende Ventile, Antrieb über Kette oder Zahnriemen	Nockenwelle ist in Zylinderkopf eingelassen, Antrieb erfolgt über Kette oder Zahnriemen
schlechter Gaswechsel, geringe Leistung, extrem preiswert, nur bei Kleinmotoren an einem festen Standort	geringe Drehzahl wegen großer bewegter Masse, preiswert bei niedriger Leistung	geringe bewegte Masse, für Zweiventilmotoren optimal	optimaler Gaswechsel, für mehr als drei Ventile, gute Abgaswerte möglich	kompakte Bauform mit geringer Höhe, Eigenschaften wie OHC
Tabelle 6.5	Anordnung der Ventile und der Nockenwelle.			

Der Antrieb der Nockenwelle muss durch eine formschlüssige Kraftübertragung erfolgen (Tabelle 6.6). Neben der exakten Steuerungsfunktion der Ein- und Auslassventile müssen folgende Eigenschaften erfüllt sein:

- geringe Masse (Gewicht),
- lange Haltbarkeit,
- geringe Geräuscentwicklung,
- gute Anpassung an die Motorkonstruktion.
- geringe Herstellungskosten.

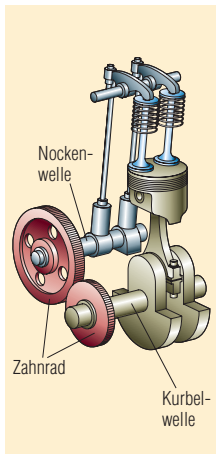
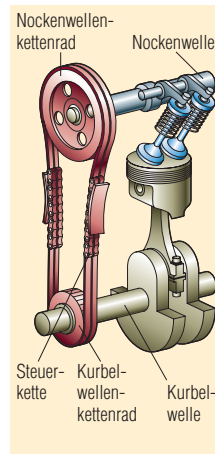
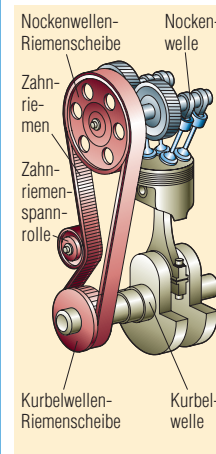
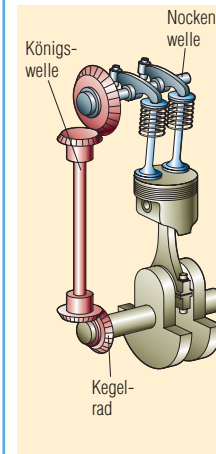
Stirnzahnräder	Kette	Zahnriemen	Kegelzahnräder (Königswelle)
meist mit unten liegender Nockenwelle und Stößel, bei oben liegender Nockenwelle mit mehreren Zahnrädern	sehr haltbare Verbindung zu oben liegender Nockenwelle, Schmierung erforderlich, Laufgeräusche, Kettenspanner erforderlich, keine Wartungskosten	sehr preisgünstige Verbindung zu oben liegender Nockenwelle, keine Schmierung, sehr laufruhig, hohe Wartungskosten durch notwendige Wechselintervalle	zwei Kegelradpaare als Verbindung zur oben liegenden Nockenwelle, Schmierung erforderlich, seltene Anwendung
			

Tabelle 6.6

Antriebsarten der Nockenwelle.

Bei DOHC-Motoren (Bild 6.37) erfolgt der Antrieb der beiden Nockenwellen meist durch eine Kette oder einen Zahnriemen. Ist der Abstand der Nockenwellen zueinander sehr klein, muss noch ein zusätzlicher Antrieb eingebaut werden, damit Zahnräder sich nicht berühren und eventuell blockieren. Die Auslassnockenwelle treibt meist die Einlassnockenwelle an. Dieses System ist fast immer die Grundlage für eine Nockenwellenverstellung.

Zwischen Pleuellager und oben liegender Nockenwelle können zusätzlich verschiedene Nebenantriebe eingebaut sein. Wegen der notwendigen exakten Steuerzeiten gehören dazu Diesel-Einspritzpumpen, Zündverteiler und Ausgleichswellen.

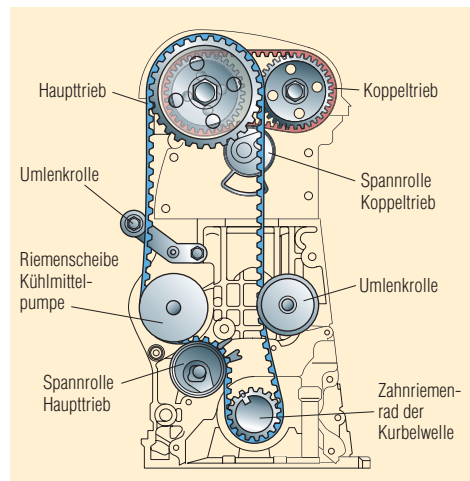


Bild 6.37 DOHC-Motor.

Verstellung der Nockenwelle. Zur Verbesserung des Gaswechsels erfolgt eine Verstellung des Drehwinkels der Nockenwelle. Dadurch verändert sich der Zeitpunkt der Ventilöffnung. Eine Verstellung der Einlassnockenwelle Richtung „früh“ bedeutet, dass die Einlassventile früher öffnen und schließen. Dies hat bei niedrigen Drehzahlen folgende Wirkung:

- keine Rückströmung des angesaugten Kraftstoff- Luftgemischs,
- bessere Füllung,
- weniger schädliche Abgase,
- höheres Drehmoment.

Bei höheren Drehzahlen wird die Verstellung zurückgenommen, die Einlassnockenwelle öffnet die Ventile später. Dies bewirkt:

- langes Nachströmen des angesaugten Kraftstoff- Luftgemischs,
- bessere Füllung,
- höhere Motorleistung.

Die Auslassnockenwelle wird meist von der Kurbelwelle angetrieben und treibt über ein gesondertes Element die Einlassnockenwelle an. Je nach System wird die Nockenwelle nur in die beiden Endlagen verdreht (Früh- und Spätverstellung) oder es findet eine stetige Verstellung statt. Zusätzlich kann noch die Auslassnockenwelle verstellbar sein. Dies führt zu optimalen Steuerzeiten der Ventile und somit zu

- optimalen Abgaswerten,
- minimalem Verbrauch,
- optimalem Drehmoment und Drehmomentverlauf und
- hoher Leistung.

Verstellung über Kettenspanner (Bild 6.38).

Die nicht verstellbare Auslassnockenwelle wird von der Kurbelwelle angetrieben. Die Auslassnockenwelle treibt über eine separate Kette die Einlassnockenwelle an. Der Kettenspanner ist hydraulisch verschiebbar, sodass sich der Kettenweg zwischen den beiden Nockenwellen verändert und damit der relative Winkel der Einlassnockenwelle zur Auslassnockenwelle.

Bei niedriger Drehzahl (Drehmomentstellung) drückt sich der Kettenspanner nach unten, der obere Kettenweg wird kleiner, die Einlassnockenwelle dreht sich Richtung „früh“ und öffnet und schließt das Einlassventil dadurch früher. Wird der Kettenspanner nach oben geschoben, verkürzt sich die Unterseite und die Steuerzeit der

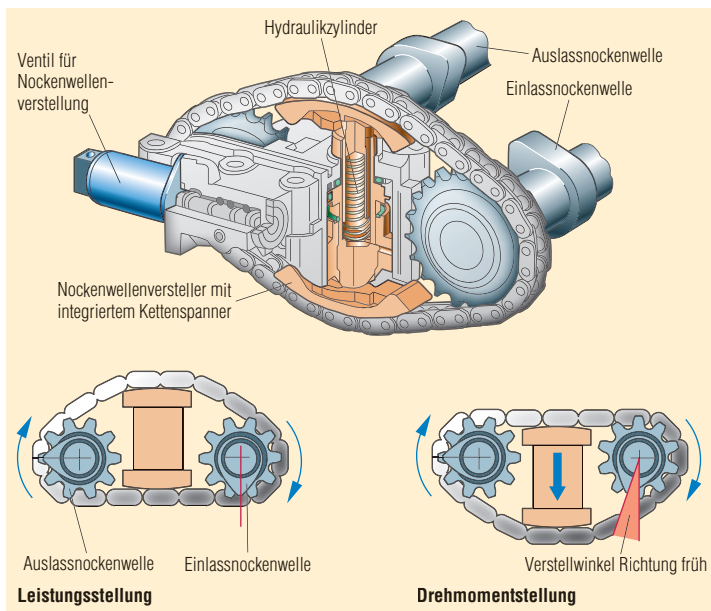


Bild 6.38 Verstellbarer Kettenspanner.

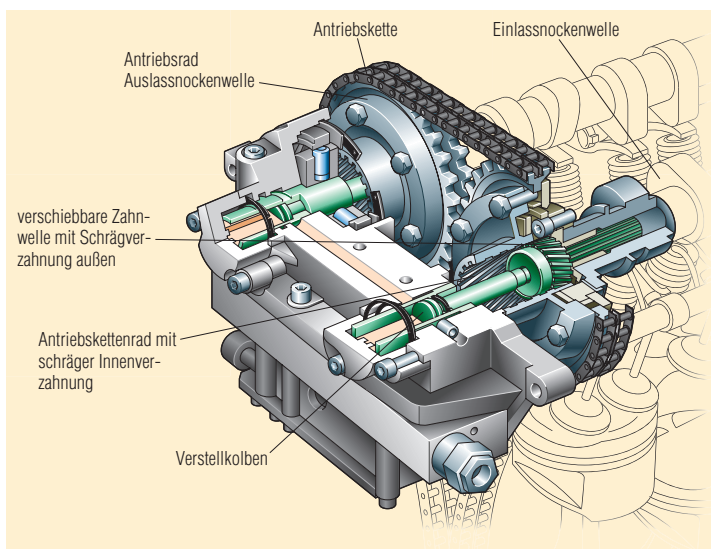


Bild 6.39 Variable Nockenwellenverstellung.

Einlassnockenwelle geht Richtung „spät“ (Leistungsstellung).

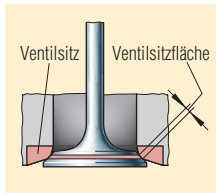
Variable Nockenwelle (Bild 6.39). Hier erfolgt die Verstellung über eine Zahnradkonstruktion an der Einlassnockenwelle. Sie besteht aus:

- einem Kettenrad mit gerader Innenverzahnung,
- einem verschiebbaren Zwischenstück, das außen gerade und innen schräg verzahnt ist,
- dem Antriebszahnrad für die Nockenwelle, das ebenfalls schräg verzahnt ist.

Wird das Zwischenstück durch den vom Motorsteuergerät angesteuerten Hydraulikkolben nach innen verschoben, verdreht sich die Nockenwelle relativ zum Kettenrad und erzeugt eine Verstellung der Nockenwelle Richtung „früh“. Als technisch aufwendigste Version gilt die doppelte Nockenwellenverstellung, bei der beide Nockenwellen stetig verstellt werden und so für einen optimalen Gaswechsel sorgen.

Ventile haben folgende Funktionen und Eigenschaften:

- Abdichten des Verdichtungsraumes im Verdichtungsstakt,
- schnelles und sicheres Öffnen und Schließen auch bei hohen Motordrehzahlen,
- schnellen und vollständigen Gaswechsel beim Ansaugen und Ausstoßen ermöglichen,
- extreme mechanische und thermische Belastbarkeit.



Panzerung: Beschichtung eines Stahls durch Auftragschweißen.

Die Ventile befinden sich im Zylinderkopf (Bild 6.13, S. 183). Das Gesamtsystem besteht aus dem Ventil, dem Ventilsitz im Zylinderkopf, der Ventilfehrung mit Abdichtung sowie einer Ventilfeeder mit Befestigungselementen. Das Ventil besteht aus dem Ventilteller, dem Ventilschaft und dem Schaftende mit Nuten zur Montage des Federtellers (Bild 6.40). Der Ventilteller ist am Rand mit einem besonders hitzebeständigen und verschleißarmen Stahl gepanzert.

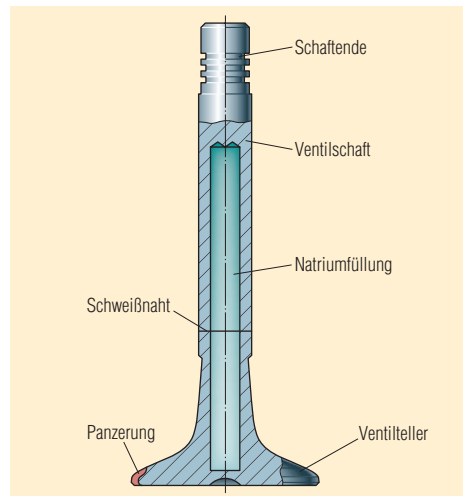


Bild 6.40 Motorventil.

Der Ventilsitzwinkel muss zum Gegenstück im Zylinderkopf passen. Er wird deshalb genau eingepasst. In Hochleistungsmotoren wird der Ventilschaft mit Natrium gefüllt. Natrium wird bei ca. 90 °C flüssig und sorgt durch seine gute Wärmeleitfähigkeit für eine verbesserte Wärmeabfuhr und Kühlung.

Ventildrehvorrichtung. Sie sorgt dafür, dass das Ventil bei jedem Öffnungsvorgang um einige Grade um die eigene Achse gedreht wird, damit sich keine einseitigen Verschleißstellen oder Ablagerungen zwischen Ventilteller und -sitz bilden können (Bild 6.41).

Zwischen Ventilfeeder und Ventilfehrung im Zylinderkopf wird eine Tellerfeder montiert. Darunter befindet sich ein Grundkörper mit Kugeln, die in einer schrägen Bahn liegen. Wenn das Ventil geöffnet wird, drücken sich die Kugeln an der schiefen Ebene zur Seite und verdrehen das Ventil. Nach dem Schließen des Ventils wird die Ventilfeeder so stark entlastet, dass die Kugeln wieder in Ruhelage gehen können und beim nächsten Öffnungsvorgang eine weitere Verdrehung ermöglichen.

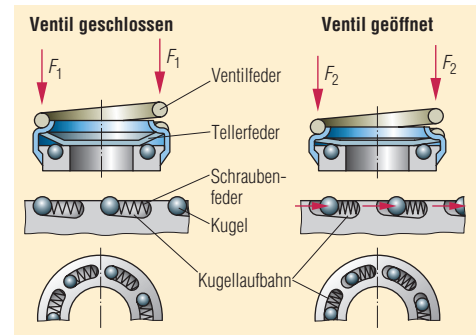
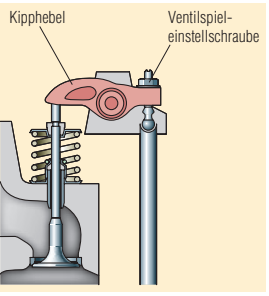
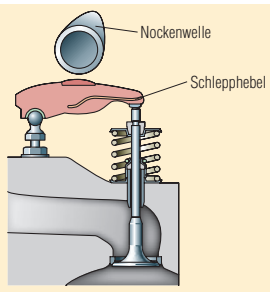
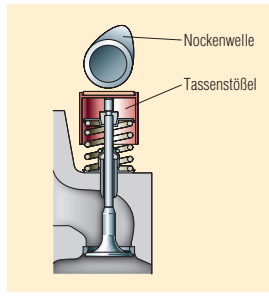
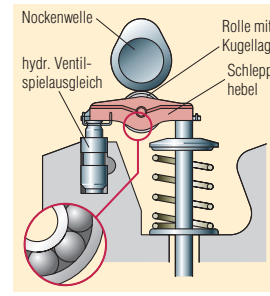


Bild 6.41 Ventildrehvorrichtung.

Betätigung der Ventile. Je nach Motorenkonzept kann die Betätigung der Ventile sehr unterschiedlich erfolgen (Tabelle 6.7). Folgende Anforderungen sollen erfüllt sein:

- geringe Masse,
- beliebige Winkellage der Ventile,
- geringe Reibung,
- gute Haltbarkeit,
- geringe Kosten.

Kipphebel	Schlepphebel	Tassenstößel	Rollenschlepphebel
			
<ul style="list-style-type: none"> • zweiseitiger Hebel, mit Gleit- oder Rollenlager • für oben oder unten liegende Nockenwellen • geringe Drehzahlen wegen großer Massenträgheit 	<ul style="list-style-type: none"> • einseitiger Hebel, Nockenwelle hat Gleitreibung mit dem Kipphebel • der Drehpunkt kann ein Ausgleichselement für das Ventilspiel aufnehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Nockenwelle wirkt über Tassenstößel direkt auf die Ventile • bei zwei Ventilreihen sind zwei Nockenwellen erforderlich • hohe Drehzahlen wegen geringer Massenträgheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktion wie Schlepphebel • Kontakt zur Nockenwelle erfolgt über Nockenrolle mit Rollenlager • sehr geringe Reibung und geringer Verschleiß
Tabelle 6.7		Betätigung der Ventile.	

Voll variabler Ventiltrieb (Valvetronic, Bild 6.42). Bei diesem System wird nicht nur die Steuerzeit der Ventile (doppelte veränderbare Nockenwellenverstellung), sondern auch der Ventilhub verändert. Daraus ergeben sich folgende Eigenschaften:

- keine Drosselklappe mehr erforderlich,
- Ansaugvolumen über den Ventilhub regelbar,
- optimale Steuerzeiten,
- sehr gute Abgaswerte,
- geringer Verbrauch.

Das System besteht im Prinzip aus zwei einseitigen Hebeln (Bild 6.43, S. 198). Der Rollenschlepphebel (erster Hebel) hat den Drehpunkt am Ventilspiel-Ausgleichselement. Darauf sitzt ein Zwischenhebel mit Drehpunkt an der Exzenterwelle. Dieser Zwischenhebel wird von der Einlassnockenwelle (Mitte) bewegt. Die Arbeitskurve am unteren Ende erzeugt die Öffnungsbewegung des Schlepphebels und damit die Ventilöffnung. Je weiter die Arbeitskurve am Zwischenhebel ausgelenkt wird, umso größer ist die Ventilöffnung, die zwischen 0,3 mm und 9,7 mm betragen kann. Die Nockenwelle erzeugt durch die Nockenform immer die gleiche Hubbewegung in der Hebelmitte. Um die notwendige unterschiedliche Bewegung der Arbeitskurve zu ermöglichen, muss der Lagerpunkt des Zwischenhebels durch eine Exzenterwelle verschiebbar

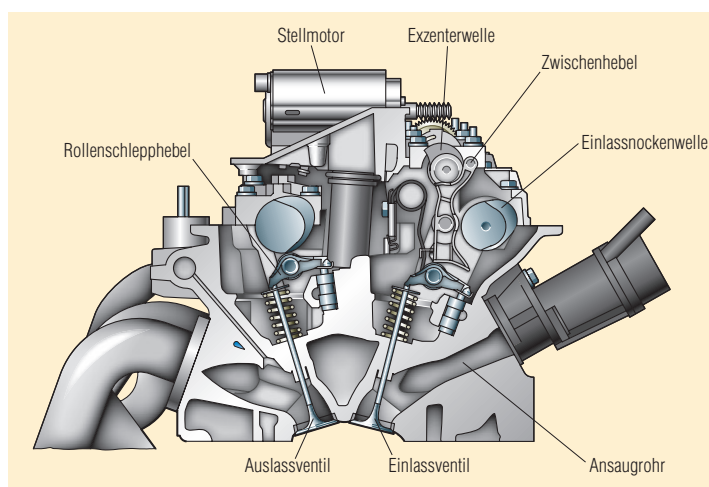


Bild 6.42 Schnitt Zylinderkopf mit Valvetronic.

sein. Dies geschieht durch ein auf der Exzenterwelle montiertes Zahnrad, das von einem Stellmotor gedreht wird. Die Ansteuerung des Stellmotors erfolgt über das Motorsteuergerät.

Ist das obere Ende des Hebels nach links verschoben, bewirkt die Nockenwelle eine kleine Bewegung des unteren Hebelteils nach links und damit einen kurzen Ventilhub und einen geringen Öffnungsquerschnitt. Bei einer Bewegung nach rechts ist der Öffnungsquerschnitt entsprechend groß.

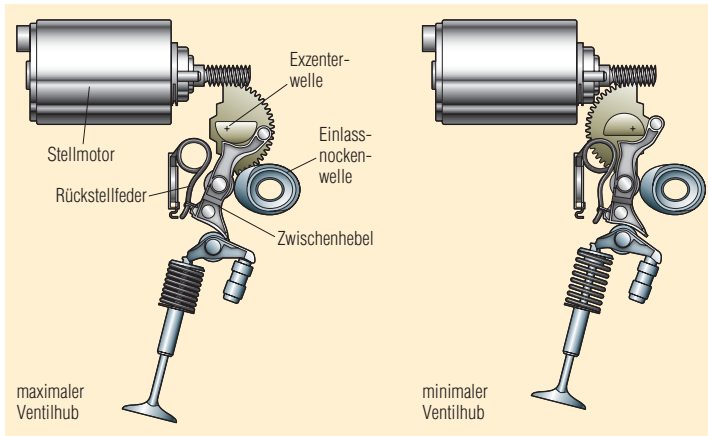


Bild 6.43 Funktionsprinzip Valvetronic.

Ventilspiel. Wegen der Wärmeausdehnung des Ventilschaftes muss zwischen Ventil und Ventilbetätigung ein Ventilspiel vorhanden sein.

Ist das Ventilspiel zu klein, öffnet das Ventil früher und schließt später, die Ventilschließzeit wird also verkürzt. Dadurch kann vor allem am Auslassventil der Ventilteller überhitzen, weil die Wärmeübertragung auf den Ventilsitz verringert ist. Bei betriebswarmem Motor besteht zusätzlich die Gefahr, dass die Ventile wegen der Wärmeausdehnung nicht mehr sauber schließen. Dies kann zu Flammrückschlägen am Einlassventil und zu verbrannten Auslassventilen und Ventilsitzen führen.

Ist das Ventilspiel zu groß, klappern die Ventile hörbar. Es ergeben sich kürzere Ventilöffnungszeiten und wegen des geringeren Ventilhubes kleinere Öffnungsquerschnitte. Daraus folgt eine schlechtere Füllung und damit auch eine geringere Leistung.

Je nach Motortyp und Art der Ventilsteuerung kann die Einstellung des Ventilspiels durch Schrauben oder Einstellscheiben vorgenommen werden (Bild 6.44).

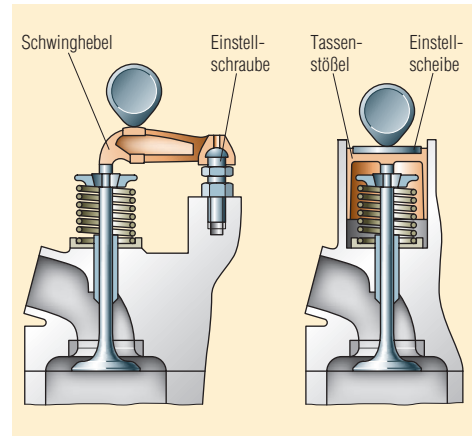


Bild 6.44 Mechanische Ventileinstellung.

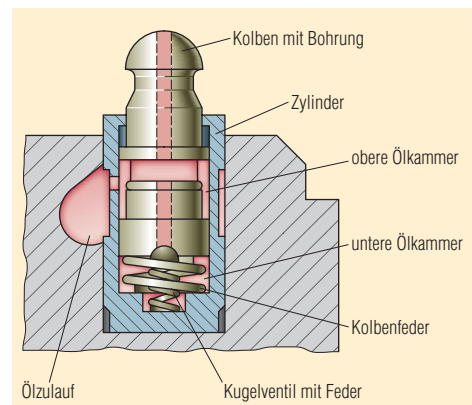


Bild 6.45 Selbstnachstellender hydraulischer Ventilspielausgleich.

Hydraulischer Ventilspielausgleich. Optimal ist der hydraulische Ausgleich, weil damit immer eine spielfreie Öffnung der Ventile in allen Betriebszuständen möglich ist (Bild 6.45). Es gibt hydraulisch selbstnachstellende Elemente als Tassenstößel auf dem Ventilschaft oder als Abstützelement eines Schleppehels. Der Tassenstößel macht die Bewegung des Ventils mit und verursacht bei höheren Drehzahlen durch seine Massenträgheit Probleme beim Schließen des Ventils. Das Abstützelement macht keine dynamische Bewegung mit und bildet das Auflager des Schleppehels.

Das System besteht aus:

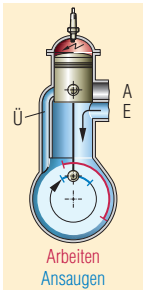
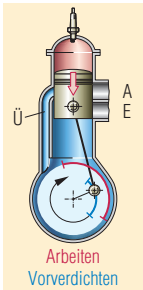
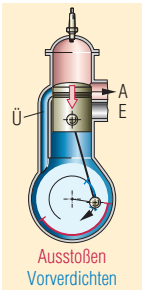
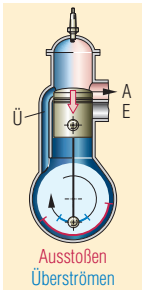
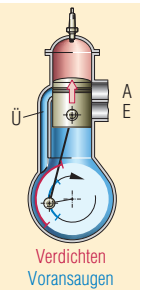
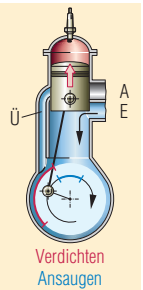
- Kolben mit Bohrung,
- Zylinder,
- Kolbenfeder,
- Kugelventil mit Feder,
- zwei Ölkammern.

Die Kolbenfeder drückt den Kolben im entlasteten Zustand so weit auseinander, dass ein spielfreier Kontakt zwischen Nockenwelle und Ventil herrscht. Sobald die Nockenwelle das Ventil öffnen soll, schließt die Kugel die untere Ölkammer. Das unter Druck stehende Öl überträgt die Kraft auf den Ventilschaft.

Die Ausgleichsfunktion beginnt, sobald das Ein- oder Auslassventil wieder geschlossen und das System drucklos ist. Fehlendes Öl kann durch den Ölzulauf nachgesaugt werden, falls sich das Volumen der unteren Ölkammer durch die Kolbenfeder vergrößert. Wenn sich durch Wärmeausdehnung des Ventils zu viel Öl in der unteren Ölkammer befindet, entweicht es an der Kugel vorbei in die Kolbenbohrung. Die Versorgung mit Öl erfolgt über den Schmierkreislauf des Motors über die obere Ölkammer.

Arbeitsaufträge

1. Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Massenträgheit bei der Motorsteuerung und der möglichen Motordrehzahl her. Berechnen Sie die Zahl der Ventilöffnungen bei Leerlaufdrehzahl (800 min^{-1}) sowie bei Höchstdrehzahl bei einem Ottomotor (6000 min^{-1}) oder einem Formel-1-Motor ($18\,000 \text{ min}^{-1}$).
2. Scharfe Nocken werden bei Rennfahrzeugen bevorzugt. Begründen Sie, warum das für ein Serienfahrzeug keine optimale Lösung wäre.
3. Oben liegende Nockenwellen gehören zur Standardkonstruktion eines Verbrennungsmotors. Begründen Sie, warum Nkw-Motoren meist unten liegende Nockenwellen haben.
4. Zahnriemen werden sehr oft in Serienmotoren verwendet. Welchen Vorteil haben sie gegenüber den anderen Antriebsarten und warum sind sie für den Kunden sehr kostspielig?
5. Die voll variable Ventilbetätigung ist sehr aufwändig in der Herstellung. Welche besondere Vorteile gibt es in Bezug auf die Umweltvorschriften?
6. Woran erkennt man, ob ein hydraulischer Ventilspielausgleich defekt ist? Welche Auswirkungen kann das auf die Mechanik und den Gaswechsel des Motors haben?
7. Untersuchen Sie die verschiedenen Motorbauarten nach störenden Massenkräften und Massenmomenten.

	Arbeiten	Arbeiten	Ausstoßen	Ausstoßen	Verdichten	
Vorgänge oberhalb des Kolbens	Zündkerze entzündet das Gemisch.	Gemisch verbrennt.	Abgas entweicht unter Druck in den Auspufftrakt.	Restgas wird vom Frischgas verdrängt (Spülung).	Frischgas wird komprimiert.	
						
	Ansaugen	Vorverdichten		Überströmen	Voransaugen	Ansaugen
Vorgänge unterhalb des Kolbens	Frischgase strömen in den Kurbelraum.	Frischgase werden im Kurbelraum komprimiert.		Vorverdichtete Frischgase strömen in den Zylinderraum.	Im Kurbelraum entsteht ein Unterdruck.	Unterdruck im Kurbelraum baut sich durch einströmendes Frischgas ab.

A = Auslasskanal, E = Einlasskanal, Ü = Überströmkanal

Tabelle 7.1 Gaswechselsteuerung beim Zweitaktmotor.

Bei der Umkehrspülung gibt es zwei seitlich angeordnete Überströmkäle (Bild 7.4). Die beiden Frischgasströme treffen sich in der Mitte des Zylinders, werden dort umgelenkt und verdrängen gemeinsam das Abgas. Durch den kürzeren Strömungsweg und den größeren Strömungsquerschnitt ergibt sich ein besserer Füllungsgrad.

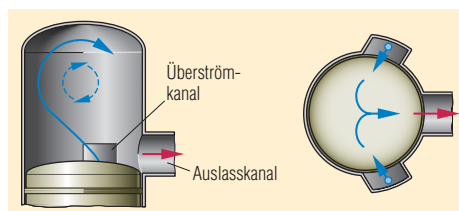


Bild 7.4 Umkehrspülung.

Als Besonderheit bei Zweitakt-Dieselmotoren gilt die Gleichstromspülung, bei der mithilfe eines Kompressors Luft eingeblasen wird (Bild 7.5). Die Frischgase werden von unten eingeblasen und die Abgase oben durch das Auslassventil ausgestoßen.

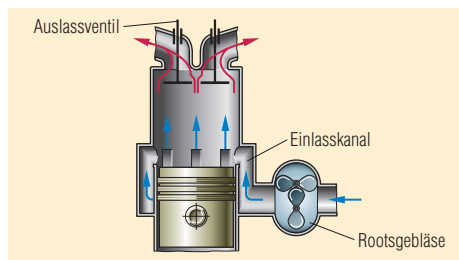
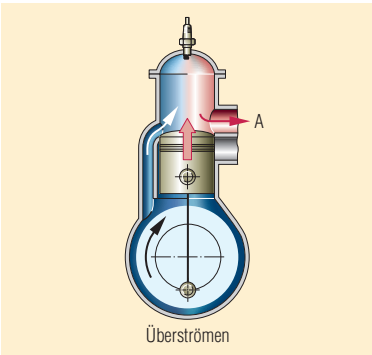
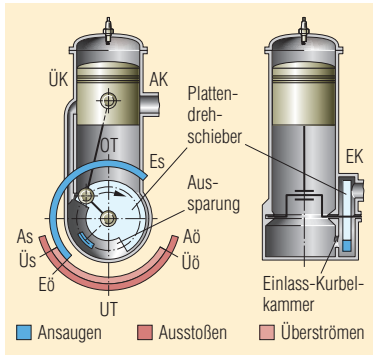
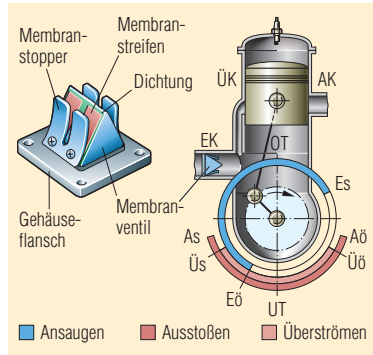


Bild 7.5 Gleichstromspülung.

Gaswechselsysteme (Tabelle 7.2, S. 202). Der Zweitaktmotor hat durch die Bauweise konstruktionsbedingt einen schlechten Füllungsgrad. Die Restgase können nicht vollständig aus dem Zylinder entfernt werden. Dies führt zu ungünstigen Abgaswerten und zu einem relativ hohen Kraftstoffverbrauch. Zur Verbesserung wurden verschiedene Gaswechselsysteme entwickelt.

Kolbensteuerung	Schiebersteuerung	Membransteuerung
 <p>Überströmen</p>	 <p>Einlass-Kurbel-kammer</p>	 <p>Gehäuse-flansch</p>
<p>Die Steuerung des Gaswechsels erfolgt durch die Lage des Kolbens, die Kanäle werden genau so weit vor den Totpunkten geöffnet, wie sie nach den Totpunkten geschlossen werden (symmetrische Steuerzeiten).</p> <p>Wirkung: schlechte Füllung, Spülverluste</p>	<p>Die Steuerung des Einlasskanals erfolgt über einen Drehschieber, der mit der Kurbelwelle verbunden ist. Dies ermöglicht unsymmetrische Steuerzeiten. Der Einlasskanal ist länger geöffnet, Ansaugen und Überströmen überschneiden sich.</p> <p>Wirkung: bessere Füllung des Kurbelraums, höheres Drehmoment</p>	<p>Der Einlasskanal kann früher durch den Kolben geöffnet werden, da das Rückströmen der Gase bei der Abwärtsbewegung des Kolbens durch ein Membranventil verhindert wird (unsymmetrische Steuerzeiten).</p> <p>Wirkung: bessere Füllung des Kurbelraums, höheres Drehmoment</p>
Tabelle 7.2	Gaswechselsysteme.	

Vor- und Nachteile. Der Zweitaktmotor hat pro Kurbelwellenumdrehung einen Arbeitstakt. Dies führt im Vergleich zum Viertaktmotor zu einer fast verdoppelten Hubraumleistung und einer gleichmäßigeren Drehmomentabgabe. Bei Kleinkraftträdern ergibt sich trotz der gesetzlichen Hubraumbeschränkung auf 50 cm³ eine ausreichende Motorleistung.

Weitere Eigenschaften des Zweitaktmotors:

- wenige bewegliche Bauteile,
- sehr leicht,
- kompakte Bauform,
- sehr kostengünstig herzustellen,
- hoher Anteil unverbrannter Kohlenwasserstoffe,
- hoher Anteil von Kohlenstoffmonoxid im Abgas.

Wegen der ungünstigen Abgaswerte werden Zweitaktmotoren nur in Fahrzeugen ohne Abgasvorschriften (z. B. Kleinkraftträder) oder in stationären Kleinmaschinen (z. B. Motorsägen) eingesetzt.

Arbeitsaufträge

1. Zweitaktmotoren haben eine viel bessere Hubraumleistung als Viertaktmotoren. Begründen Sie, warum der spezifische Kraftstoffverbrauch ebenfalls höher ist.
2. Zweitaktmotoren können die Abgasnormen seit Beginn der 1990er-Jahre nicht mehr erfüllen. Überlegen Sie, welche Hauptgründe dafür verantwortlich sind.

8 Alternative Systeme

Verbrennungsmotoren stehen wegen der vorausehbaren Kraftstoffknappheit und aus Umweltgründen unter ständiger Kritik. Die Industrie sucht daher seit Jahren nach alternativen Lösungen.

Energiequellen. Bei der Beurteilung der verschiedenen Energiequellen kann man den Gesamtaufwand betrachten, der für die Gewinnung und die Bereitstellung von Energie im Fahrzeug erforderlich ist (Bild 8.1), oder man betrachtet nur den Verbrennungsvorgang im Fahrzeug.

Wichtig für gesamtheitliche Betrachtungen sind die nicht-erschöpfbaren, erneuerbaren Energiequellen. Allerdings ist die Verfügbarkeit dieser Energie noch sehr gering. Die Erzeugung von Wasserstoff ist sehr energieaufwändig, weil er entweder durch Elektrolyse oder durch chemische Umwandlung aus Erdöl oder Erdgas gewonnen wird.

Energieverbrauch im Fahrzeug. An alternative Systeme werden folgende Anforderungen gestellt:

- keine Schadstoffemission,
- Verbrauch von Energie, die durch nachwachsende Rohstoffe bzw. Sonne, Wind usw. zur Verfügung steht.

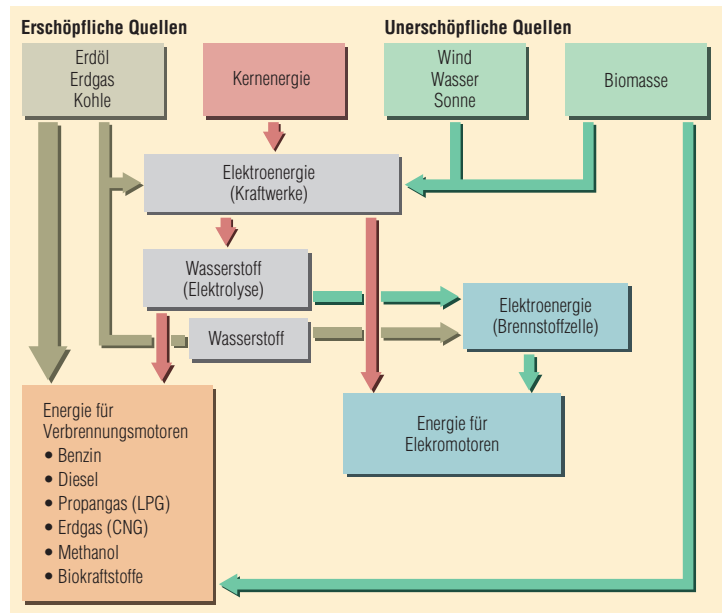


Bild 8.1 Energiequellen für Fahrzeugantriebe.

Zur Umsetzung dieser Anforderungen werden Wasserstoff, Erdgas, Methanol sowie Elektrizität aus Batterien erforscht und in Versuchsfahrzeugen erprobt. Als ein zukunftsfähiges Beispiel gilt die mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle, die einen Elektromotor antreiben kann (Bild 8.2). Als Abgas aus diesem Prozess entsteht ausschließlich Wasserdampf.

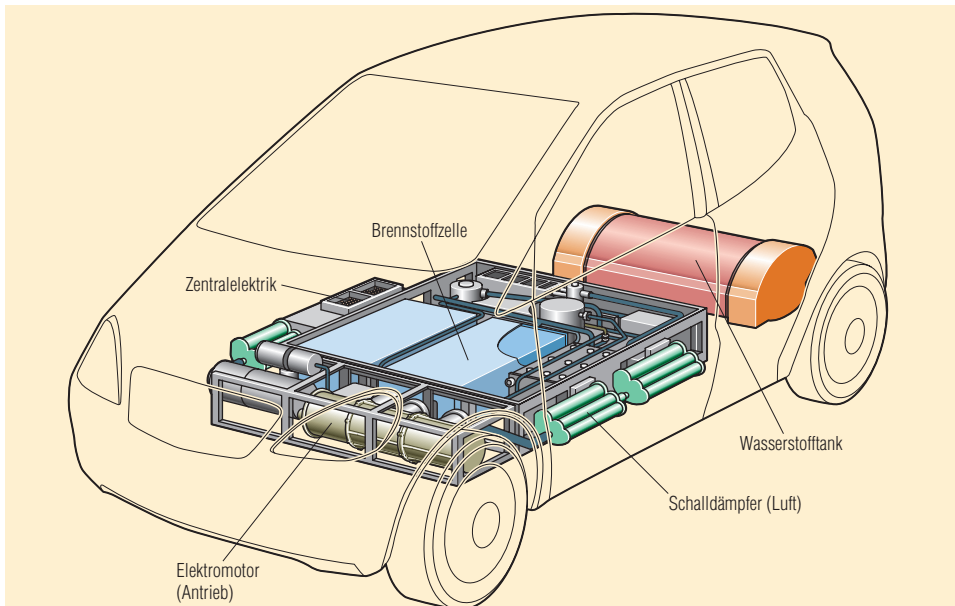


Bild 8.2 Modell eines Fahrzeuges ohne Abgasemission.

8.1 Brennstoffzelle (Fuel-Cell)

Die Brennstoffzelle kann durch eine chemische Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff chemische in elektrische Energie umwandeln, ohne dabei irgendwelche Abgase außer Wasserdampf freizusetzen. Diese Energie wird einem Elektromotor zugeführt, der anstelle des bisherigen Verbrennungsmotors das Fahrzeug antreibt. Elektroantriebe sind schon länger serienreif, allerdings gab es bisher noch keinen Energiespeicher, der die übliche Reichweite von ca. 400 km pro Tankfüllung ermöglichte. Die Brennstoffzelle liefert eine bedarfsgerechte Stromerzeugung im Fahrzeug und damit einen von Ladestationen unabhängigen Betrieb.

Grundfunktion der Brennstoffzelle. Sie entspricht der chemischen Umkehrung der Elektrolyse, bei der aus Wasser die beiden Elemente Wasserstoff und Sauerstoff getrennt werden. Bei diesem chemischen Prozess wird Energie benötigt.

In der Brennstoffzelle werden Wasserstoff und Sauerstoff zusammengeführt. Dabei werden eine elektrische Spannung und Wärme erzeugt. Wasserstoff und Sauerstoff dürfen nicht direkt zusammengebracht werden, da dabei hochexplosives Knallgas entstehen würde.

Die Brennstoffzelle (Bild 8.3) besteht aus einer PEM-Membrane, die nur Wasserstoffionen (Protonen) in einer Richtung durchlässt. Die Wasserstoffseite bildet die Anode, die Sauerstoffseite die Kathode. Die durch die Ionisierung frei werdenden Elektronen wandern über eine elektrische Leitung an die Kathode. Dort verbinden sich

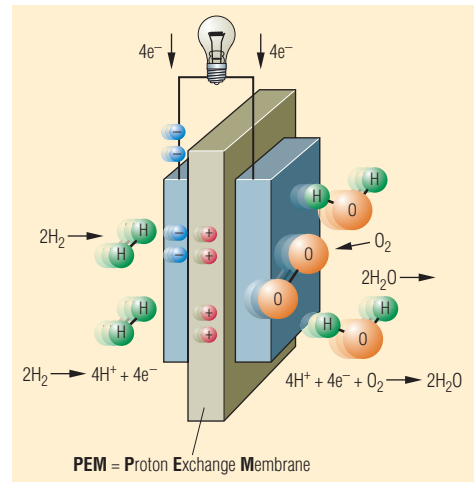


Bild 8.3 Brennstoffzelle mit Wasserstoff und Sauerstoff.

die Protonen mit den zugeflossenen Elektronen und mit dem Sauerstoff zu Wasser. Die zwischen Anode und Kathode entstehende Elektronendifferenz führt zu einer Spannung von ca. 1 Volt pro Membran. Werden mehrere Membran zu einem Paket zusammengeschaltet, entstehen Brennstoffzellen mit Spannungswerten bis zu 300 V.

Wasserstoff-Luft-Brennstoffzelle. Der Einsatz in Fahrzeugen ist nur dann sinnvoll, wenn für den chemischen Prozess statt reinem Sauerstoff Luft aus der Umgebung verwendet werden kann. Dazu wird eine spezielle PEM-Membran verwendet, die zusätzlich mit einer dünnen Platinschicht als Katalysator bedampft ist.



PEM: Proton Exchange Membrane (protonleitende Membran)

Reformer: Gerät zur Gewinnung des Wasserstoffanteils aus Erdgas oder Methanol.

8.2 Kraftstoffe für die Brennstoffzelle

Für die chemische Reaktion ist es erforderlich, dass reiner Wasserstoff zur Verfügung steht. Die technischen Möglichkeiten zur Lagerung im Fahrzeug sind sehr problematisch, da Wasserstoff nur bei ca. $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ flüssig gehalten werden kann. Im gasförmigen Zustand kann man unter Druck nur ein Viertel der Gasmenge speichern.

Als Alternative kann Erdgas eingesetzt werden. Dazu muss in einem Reformer der Wasserstoffanteil herausgefiltert werden, als Abgas entsteht CO_2 .

Die derzeit unproblematischste Energieform ist Methanol, weil

- es aus Biomasse gewonnen werden kann und
- es wie Benzin als Flüssigkeit getankt werden kann.

Da auch hier nur der Wasserstoff genutzt werden kann, muss das Methanol in einem Reformer aufbereitet werden (Bild 8.4). Als Abfallprodukt entstehen dabei CO_2 und Wasser. Ein solches System könnte in allen Fahrzeugen untergebracht werden. Ungeklärt ist allerdings, woher die dazu benötigten großen Mengen Methanol kommen sollen.

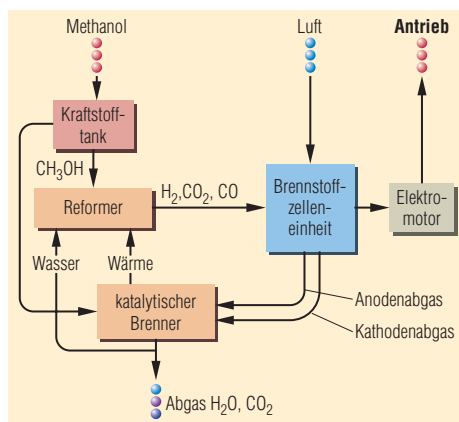


Bild 8.4 Brennstoffzelle für Methanol mit Reformer.

8.3 Anwendungen in Fahrzeugen ab 2005

Ein wichtiges Datum für alternative Systeme ist das Jahr 2005, weil in Kalifornien neue, strengere Abgasnormen in Kraft getreten sind, die auch Auswirkungen auf die europäischen Fahrzeughersteller haben. Durch das Prinzip des Flottenverbrauchs bilden Fahrzeuge mit Brennstoffzellen eine wichtige Ergänzung.

Zur Erfüllung der Norm wird es notwendig Fahrzeuge anzubieten, die ohne Abgasemissionen funktionieren. Neben den reinen Elektrofahrzeugen, die in Kleinstserien bereits auf dem Markt sind, werden verschiedene andere Systeme auf den Markt kommen. Tabelle 8.1 zeigt die wichtigsten Möglichkeiten.

Flottenverbrauch: durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch der gesamten Kfz-Modellflotte eines Herstellers in l / 100 km.

Elektromotor mit Batterien	Hybridfahrzeug: Verbrennungsmotor + Elektromotor mit Batterien	Elektromotor mit Brennstoffzelle
<p>geringe Reichweite, Batterien sehr schwer und teuer, System ist auf dem Markt.</p>	<p>große Reichweite, zusätzliche Kosten für Elektromotor und Batterien, im Elektrobetrieb keine Abgasemissionen, mechanische Koppelung des Benzin- und Elektromotors für Leistungsspitzen, Energierückgewinnung beim Bremsen, System ist auf dem Markt.</p>	<p>große Reichweite, Brennstoffzelle liefert Strom nach Bedarf, System ist in Entwicklung, nur Prototypen.</p>
<p>Tabelle 8.1</p>	<p>Alternative Fahrzeugantriebe.</p>	

Hybridantrieb:
verschiedene
Antriebe wirken
gleichzeitig oder
einzeln.

Da Brennstoffzellen wegen einiger Entwicklungsprobleme noch nicht in Serie hergestellt werden können und das Angebot an notwendigen Treibstoffen (Wasserstoff, Methanol, ...) noch nicht existiert, gibt es zur Zeit nur einen Fahrzeugtyp, der zumindest für kurze Zeit ohne Emission gefahren werden kann. Es handelt sich um ein Fahrzeug mit Hybridantrieb (Bild 8.5).

Dabei wird ein Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor gekoppelt. Als Zwischenelement dienen ein sehr leistungsfähiger Generator und eine Batterie. Bei niedrigen Geschwindigkeiten,

z. B. im Ortsverkehr, wird nur der Elektromotor aktiviert. Bei höheren Geschwindigkeiten schaltet sich der Verbrennungsmotor zu und sorgt für zusätzlichen Antrieb. Durch die Konstruktion des Verteilergetriebes kann der Benzinmotor im optimalen Drehzahlbereich arbeiten und dabei Antriebsenergie und gleichzeitig Lade-Energie für die Batterie liefern (Bild 8.6). Dies führt zu einem sehr niedrigen Verbrauch und niedrigen Emissionen, weil der Motor entweder im optimalen Drehzahlbereich läuft oder abgeschaltet ist. Bremsenergie wird über den Generator direkt an die Batterie zurückgeleitet.

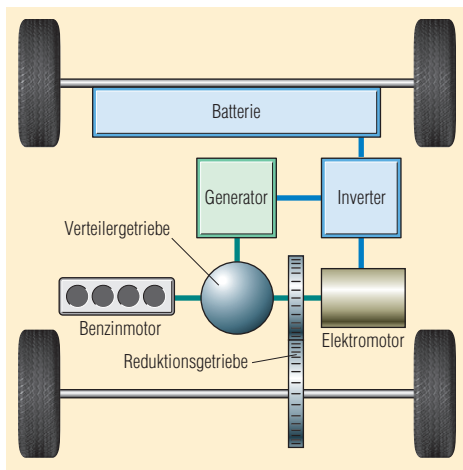


Bild 8.5 Funktionsprinzip eines Hybridfahrzeuges.

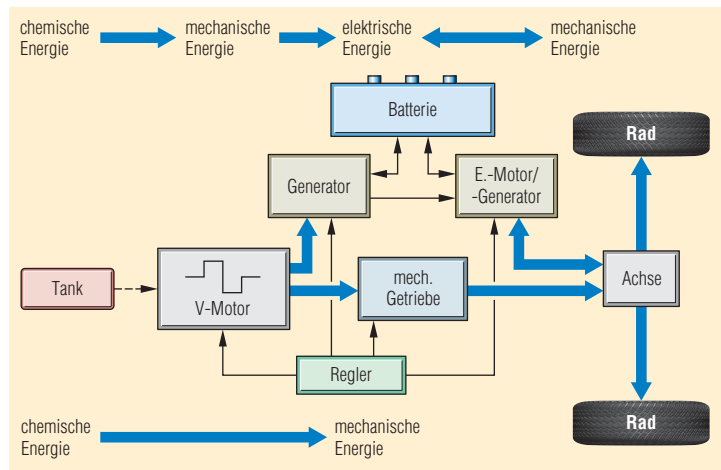


Bild 8.6 Zusammenwirken zwischen Elektro- und Benzinmotor.

Arbeitsaufträge

1. Nach welchem Prinzip arbeitet eine Brennstoffzelle?
2. Warum muss Methanol für die Verwendung in einer Brennstoffzelle „reformiert“ werden?
3. Aus welchen Teilsystemen kann ein Hybridantrieb bestehen?
4. Warum besitzen Stadtnibusse häufig einen Hybridantrieb? Welche Antriebsquellen finden dort Verwendung?
5. Sie arbeiten in der Öffentlichkeitsabteilung eines Zulieferunternehmens, das einen Hybridantrieb entwickelt hat. Für eine Pressekonferenz sollen Sie die Vorteile des neuen Systems herausstellen. Der Chef möchte aber auch über die Nachteile informiert werden. Entwerfen Sie ein entsprechendes „Papier“.

9 Kraftstoffe und Kraftstoffbereitstellung

Alle Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren bestehen aus einer großen Anzahl von verschiedenen Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Diese Moleküle unterscheiden sich in ihrer Struktur und Größe, was zu unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen Kraftstoffe führt (Bild 9.1). So

besitzen beispielsweise kettenförmige Moleküle eine niedrigere Zündtemperatur als ringförmige. Daher werden für sehr klopfeste Kraftstoffsor-ten größere Anteile von ringförmigen Molekü- len verwendet, für Dieselmotoren mehr ketten- förmige.

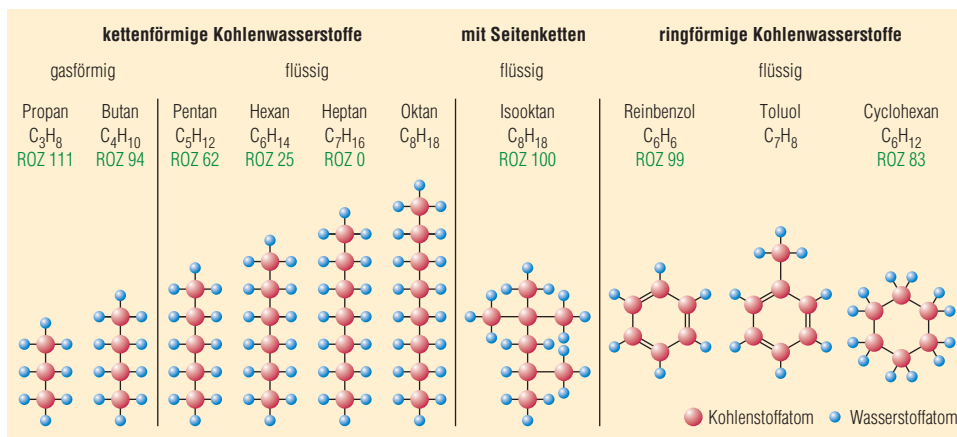


Bild 9.1 Kohlenwasserstoff-Moleküle.

9.1 Kraftstoffherstellung

Rohstoff für die Kraftstoffgewinnung ist überwiegend Erdöl, da es zur Zeit als einziger Rohstoff in ausreichend großen Mengen zur Verfügung steht. Weitere Ausgangsstoffe sind Erdgas, Kohle oder Pflanzenöle.

Im Erdöl sind sehr viele Kohlenwasserstoffe enthalten, die zur Verwendung als Kraftstoff nicht geeignet sind. Daher werden die verwendbaren Anteile durch Destillation vom Rest getrennt (Bild 9.2). Dazu wird das Erdöl in einem ersten Schritt unter Atmosphärendruck destilliert. Die dabei gewonnenen Produkte können direkt weiterverarbeitet werden. Der zurückbleibende Bodensatz aus schwer flüchtigen Bestandteilen wird in einer zweiten Stufe (Vakuumdestillation) in die Grundstoffe für Schmieröle, Fette und Bitumen aufgeteilt.

Anschließend werden die nicht direkt verwendbaren Reste und Teile der in der Destillation gewonnenen Moleküle chemisch zu nutzbaren Kraftstoffen umgewandelt (z. B. durch Cracken und Reforming).

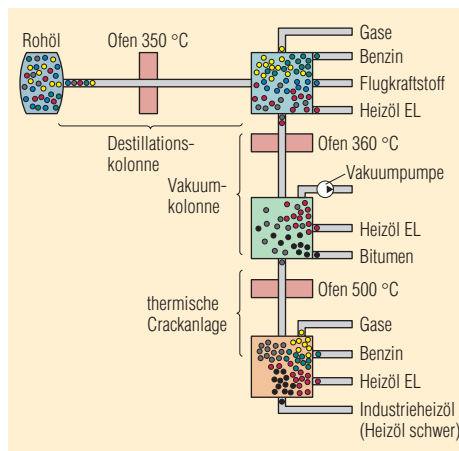


Bild 9.2 Grundprodukte der Erdöldestillation.

Destillation:
Trennung von Stoffen durch Verdampfung und anschließende Wiederverflüssigung.

Cracken (engl.):
zerlegen

Reforming (engl.):
wieder zusammensetzen

9.2 Kraftstoffarten

9.2.1 Ottokraftstoff

klopfende Verbrennung → S. 265

Ottokraftstoffe müssen eine hohe Klopfestigkeit besitzen, da es sonst zu unkontrollierten Verbrennungsvorgängen kommen kann (**Klopfen**). Daher haben sie eine hohe Zündtemperatur (Selbstentzündungstemperatur).

Oktanzahl OZ. Sie ist ein Maß für die Klopfestigkeit eines Ottokraftstoffs. Die Oktanzahl wird mithilfe verschiedener Prüfverfahren in einem Prüfmotor mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis ermittelt (Tabelle 9.1). Dazu wird der Prüf-

kraftstoff mit einem Eichkraftstoff verglichen, der aus einer Mischung aus Isooktan (Oktanzahl = 100) und Heptan (Oktanzahl = 0) besteht. Das Mischungsverhältnis des Eichkraftstoffs wird so lange verändert, bis sein Klopfverhalten dem des Prüfkraftstoffs entspricht. Der prozentuale Anteil an Isooktan ist die Oktanzahl. Je nach Prüfverfahren unterscheidet man:

- die Research-Oktanzahl (ROZ),
- die Motor-Oktanzahl (MOZ).

ROZ	MOZ
Die ROZ-Prüfung erfolgt bei 600 min^{-1} und einer Ansauglufttemperatur von 52°C . Der ROZ-Wert ist ein Maß für die Neigung zum Beschleunigungsklopfen.	Die MOZ-Prüfung erfolgt bei 900 min^{-1} und 149°C Gemischtemperatur. Der MOZ-Wert ist ein Maß für die Neigung zum Hochdrehzahlklopfen.
Tabelle 9.1	Ermittlung der Oktanzahl.

Siedebereich. Ottokraftstoff muss einerseits bei niedrigen Temperaturen leicht verdampfen, darf andererseits aber nicht zu leicht siedend, da es sonst bei hohen Temperaturen im Motorraum zu Dampfblasenbildung im Kraftstoffsystem kom-

men kann (erschwert den Heißstart). Dies wird erreicht durch die Kombination verschiedener Kohlenwasserstoff-Moleküle mit unterschiedlichen Siedepunkten. Daher besitzt Ottokraftstoff einen weiten Siedebereich (Tabelle 9.2).

Kraftstoff	Dichte kg/dm^3	Siedebereich $^\circ\text{C}$	Zündtemperatur $^\circ\text{C}$	Luftbedarf kg/kg	Zündgrenze (max) λ	Zündgrenze (min) λ	Oktan-/Cetanzahl ROZ/MOZ
Diesel	0,81 – 0,85	150 – 360	350	14,5	0,6	6,5	CZ 45
Normalbenzin	0,72 – 0,75	25 – 210	450	14,8	0,6	1,8	91/82,5
Superbenzin	0,73 – 0,78	25 – 210	480	14,7	0,6	1,8	95/85
Tabelle 9.2	Eigenschaften von Otto- und Dieseldkraftstoffen.						

9.2.2 Dieseldkraftstoff

Zündverzögerung → S. 240

Anders als Ottokraftstoff muss der Dieseldkraftstoff eine möglichst niedrige Zündtemperatur haben um eine Verbrennung mit geringem **Zündverzögerung** zu ermöglichen.

Cetanzahl CZ. Sie ist das Maß für die Zündwilligkeit von Dieseldkraftstoff. Ähnlich wie beim Ottokraftstoff wird sie mithilfe eines Eichkraftstoffs

ermittelt. Dieser besteht aus dem sehr zündwilligen n-Hexadecan, auch Cetan genannt (Cetanzahl = 100) und α -Methylnaphthalin (Cetanzahl = 0).

Winterdieseld. Dieseldkraftstoff muss auch bei niedrigen Temperaturen fließfähig bleiben. Normalerweise kristallisieren die Paraffinanteile im

Dieselmotorkraftstoff unterhalb von -5°C . Dann setzen sie das Kraftstofffilter zu, was zu einer Unterbrechung der Kraftstoffversorgung führt. Abhängig von der Jahreszeit werden daher Zusätze beigemischt, die den Dieselmotorkraftstoff bis -22°C flüssig halten und das Filter vor Verstopfung schützen. Eine zu hohe Konzentration verschlechtert allerdings die Wirkung. Auch durch die Zugabe von Petroleum oder Normalbenzin wird die Fließfähigkeit verbessert.

9.2.3 Additive

Additive sind Zusätze im Kraftstoff, die spezielle Eigenschaften sicherstellen (Tabelle 9.3). Der Gesamtanteil aller Additive liegt zwar unter 1 %, eine nicht ausreichende Beimischung führt jedoch zu erheblichen Problemen am Motor wie z. B.:

- Ablagerungen am Einlassventil (Bild 9.3),
- Verunreinigungen der Einspritzventile (Bild 9.4).

Selbst geringe Mengen von Ablagerungen an den Motorventilen oder den Einspritzelementen können zu falschem Kraftstoff-Luft-Verhältnis, unruhigem Leerlauf, höherem Verbrauch und höheren Schadstoffmengen führen. Verunreinigungen an den Einspritzelementen führen dazu, dass der Einspritzstrahl unregelmäßig oder die Einspritzmenge zu gering ist. Dies kann durch den Einsatz von Reinigungszusätzen (Detergents) verhindert werden.

Reinigungszusätze im Dieselmotorkraftstoff wirken vor allem auf die Düsenoberfläche im Verdichtungs-



Bild 9.3 Ablagerungen am Einlassventil.

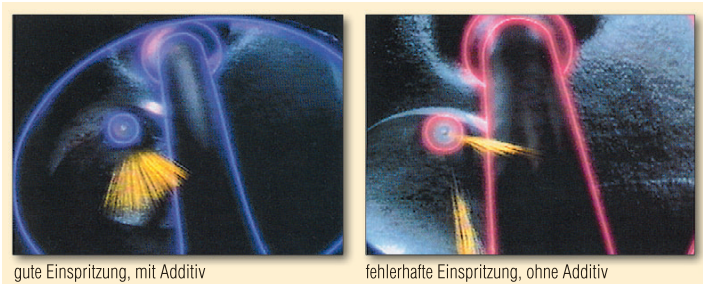


Bild 9.4 Abspritzbilder mit und ohne Additiv.

raum, wo sie eine Verkokung der Einspritzdüsen vermindern.

Ein weiteres Additiv für Dieselmotorkraftstoffe ist die Schaumbremse. Beim Tanken bildet sich ein stabiler Schaum aus Dieselmotorkraftstoff, der mehrere Minuten braucht, bis er sich wieder verflüssigt. Dadurch verzögert sich der Tankvorgang. Außerdem tankt man nicht voll, was zu einer unnötigen Verkürzung der Reichweite führt. Anti-Schaum-Additive ermöglichen eine Betankungsgeschwindigkeit wie beim Ottomotorkraftstoff, weil der Dieselmotorkraftstoff flüssig bleibt.

Klopfbremse	Rückstand- umwandler (Depositmodifier)	Korrosions- schutzzusätze	Vereisungshemmer (De-Icer)	Reinigungszusätze (Detergents)	Fließverbesserer (Diesel)
zur Erhöhung der Oktanzahl (ein höherer Anteil ergibt eine höhere Oktanzahl).	fördern die Verbrennung von Ablagerungen im Brennraum.	verhindern die Korrosion im Verbrennungsraum durch Wasser bzw. Wasserdampf.	vermindern die Gefahr einer Vereisung des Kraftstoff-Luft-Gemisches hinter der Drosselklappe.	halten den Ansaugweg für das Kraftstoff-Luft-Gemisch sauber.	verhindern eine Paraffinausscheidung bei niedrigen Temperaturen.
Tabelle 9.3		Additive bei Kraftstoffen.			

9.2.4 Alternative Kraftstoffe

CO₂-Bilanz: Die Pflanzen verbrauchen beim Wachsen CO₂, welches bei der Verbrennung freigesetzt wird.

In Dieselmotoren kann ein aus Rapsöl hergestellter Kraftstoff (Raps-Methylester/RME) eingesetzt werden, wenn eine Herstellerfreigabe vorliegt. Dieser auch als Biodiesel bezeichnete Kraftstoff wird aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, sodass die CO₂-Bilanz ausgeglichener ist als bei herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff. Außerdem ist Biodiesel frei von Schwefelverbindungen und setzt bei der Verbren-

nung weniger Kohlenstoffmonooxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe frei.

Weitere flüssige Alternativkraftstoffe bieten die Alkohole, z.B. Methanol. Neben den flüssigen sind auch gasförmige Kraftstoffe in Fahrzeugmotoren einsetzbar (Tabelle 9.4). Sie bestehen ebenfalls aus Kohlenwasserstoff-Molekülen. Als Probleme gelten die Lagerung und Betankung sowie die nicht ausreichende Verfügbarkeit.


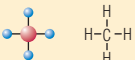
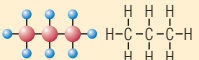
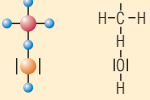
	Wasserstoff H ₂	Methan (Erdgas) CH ₄	Propan C ₃ H ₈	Methanol (Methylalkohol) CH ₃ OH
chemische Zusammensetzung				
Speicherform im Fahrzeug	flüssig bei -273 °C oder gasförmig bei 200 bar	flüssig bei -162 °C oder gasförmig bei 200 bar	flüssig bei 3 bar	flüssig bei Atmosphärendruck
Zündtemperatur	530 °C	645 °C	510 °C	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> wird aus Kohle, Erdöl oder Erdgas oder durch Elektrolyse gewonnen sehr aufwändig herzustellen teuer 	<ul style="list-style-type: none"> ist in sehr großen Mengen verfügbar sehr gute Abgaswerte Hochdrucktanks brauchen sehr viel Platz 	<ul style="list-style-type: none"> sehr gute Abgaswerte zusätzlicher Drucktank zum Benzin-tank erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> kann aus Erdöl und aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden sehr gute Abgaswerte sehr hohe Oktanzahl (140 ROZ) kein Hochdruck-tank erforderlich
Einsatzbereich	in Brennstoffzellen (guter Wirkungsgrad)	in Fahrzeugen mit Ottomotoren (Fahrzeuge haben einen Benzin- und Gasdrucktank) Vorteil: in Ballungsgebieten schon jetzt ausreichende Tankstellenzahl	wie Erdgasfahrzeuge	in Südamerika verbreitet in Europa keine Tankstellen

Tabelle 9.4

Alternative Kraftstoffe.

9.3 Kraftstoffversorgungssystem

Das Kraftstoffversorgungssystem hat die Aufgabe, das Gemischaufbereitungssystem des Motors unter allen Betriebsbedingungen ausreichend mit Kraftstoff zu versorgen. Das Gesamtversorgungssystem besteht aus mehreren Einzelsystemen, die wie in Bild 9.5 dargestellt zusammenwirken.

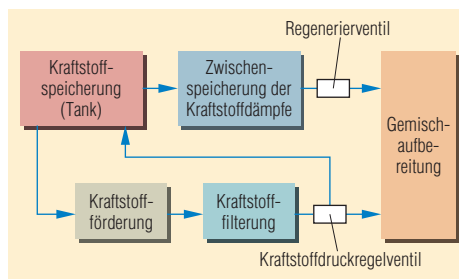


Bild 9.5 Stofffluss im Kraftstoffversorgungssystem.

9.3.1 Kraftstoffspeicherung

Kraftstoffbehälter werden meist aus Kunststoff (PE) gefertigt (Bild 9.6). Aus diesem Werkstoff lassen sich auch komplizierte Formen wirtschaftlich herstellen, sodass der Tank den zur Verfügung stehenden Raum für ein möglichst großes Tankvolumen optimal ausnutzen kann.

Einfach geformte Kraftstoffbehälter können aus Stahlblech gefertigt werden, das mit einer Korrosionsschutzschicht versehen werden muss.

Der Tank wird vorzugsweise außerhalb des Heckdeformationsbereiches eingebaut, damit für möglichst viele Unfallarten eine Beschädigung ausgeschlossen werden kann.

Bei schnellen Kurven- oder Geländefahrten verlagert sich der Kraftstoff einseitig im Behälter. Auch in diesen Fahrsituationen muss ausreichend Kraftstoff von der Kraftstoffpumpe angesaugt werden können. Dies wird erreicht durch:

- Schlingerwände (gelochte Trennwände) im Tank. Die hierdurch gebildeten abgegrenzten Räume lassen in kurzer Zeit nur kleine Kraftstoffverlagerungen zu.
- Schwalltopf (Catch-Tank). Dieser kleine Topf bleibt auch in extremen Fahrsituationen ständig mit Kraftstoff gefüllt. Deshalb sind hier meist die Füllstandsanzeige und die In-Tank-Kraftstoffpumpe (s. S. 212) eingebaut.

Der Kraftstoffbehälter muss aus folgenden Gründen be- und entlüftet werden:

- Belüftung: Wird Kraftstoff von der Pumpe aus dem Tank angesaugt, entsteht ein Unterdruck. Dieser muss durch nachströmende Außenluft ausgeglichen werden.
- Entlüftung: Beim Abstellen des Fahrzeuges in der Sonne dehnt sich der Kraftstoff aus. Die aufsteigenden Kraftstoffdämpfe werden im Aktivkohlebehälter zwischengespeichert.

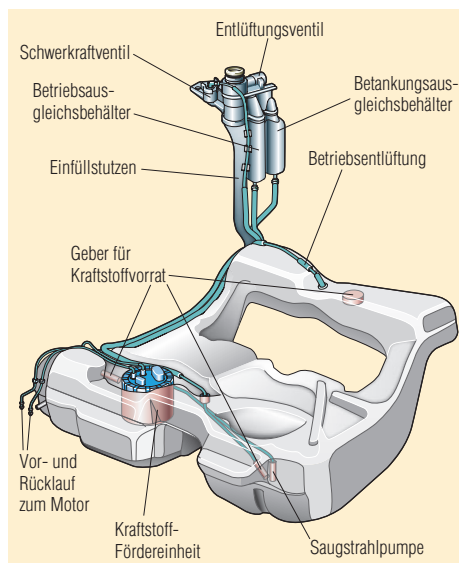


Bild 9.6 Kraftstoffbehälter aus Kunststoff.

PE = Polyethylen

9.3.2 Kraftstoffförderung

Die Kraftstoffförderpumpe kann mechanisch oder elektrisch angetrieben sein. Mechanisch angetriebene Pumpen werden am Motor (ausschließlich bei Vergasern) angeflanscht.

Elektrische Kraftstoffförderpumpen können an einer beliebigen Stelle zwischen Motor und Kraftstofftank (In-Line-Pumpe) oder im Tank selber (In-Tank-Pumpe) eingebaut sein. Motoren mit Einspritzanlagen haben immer elektrische Kraftstoffförderpumpen, damit die Fördermenge und der Förderdruck unabhängig von der Motordrehzahl konstant bleiben. Diese Aufgabe übernimmt das Kraftstoff-Druckregelventil.

Zwischenspeicherung der Kraftstoffdämpfe → S. 214

In-Tank-Pumpen. Die häufig verwendeten In-Tank-Pumpen (Innentankpumpen) werden durch das ständige Umspülen mit Kraftstoff stets gleichmäßig gekühlt und sind vor mechanischen Beschädigungen geschützt. Im Falle einer Reparatur ist ihr Ausbau meist aufwändig. Nach Art des Förderelementes, welches für den Druckaufbau verantwortlich ist, werden drei Pumpenbauarten unterschieden (Tabelle 9.5).

Die zweistufige In-Tank-Pumpe ist ein komplexes Bauteil, das aus mehreren Einzelelementen besteht (Bild 9.7):

- die Seitenkanalpumpe saugt den Kraftstoff an und baut einen Vordruck auf,
- die Innenzahnradpumpe sorgt für den eigentlichen Druckaufbau,
- ein Geberэлемент liefert das Eingangssignal für die Kraftstoffvorratsanzeige.

Der Kraftstoff wird über die Seitenkanalpumpe vom Tankboden angesaugt und über einen Kanal in den Pumpenspeicher gefördert. Dort übernimmt die Innenzahnradpumpe den Druckaufbau und die Förderung zur Einspritzanlage. Beide Pumpen werden von der gleichen Welle

angetrieben, die elektrischen Teile des Motors sind von Kraftstoff umgeben. Da sichergestellt ist, dass die Druckstufe nie trocken läuft, kann es wegen der geringen elektrischen Leitfähigkeit auch keine Kurzschlüsse geben.

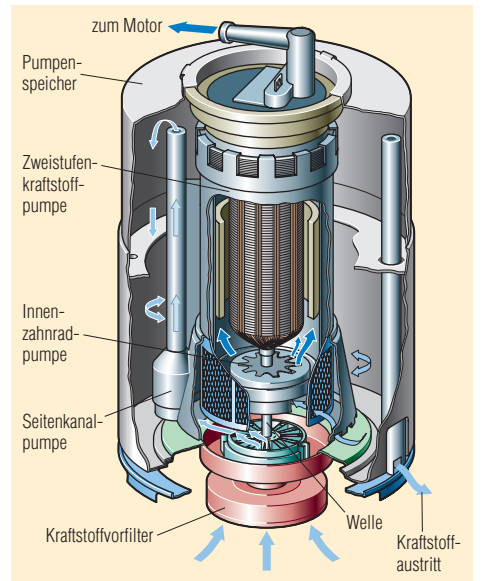


Bild 9.7 Zweistufige In-Tank-Pumpe.

Pumpenbauart	Förderelement	Funktion	Förderdruck
Zahnringpumpe	Über ein elektrisch angetriebenes und außen verzahntes Innenrad wird ein innen verzahntes Außenrad mitgedreht.	Zwischen den Zahnlücken beider Räder entstehen Kammern, die sich mit fortschreitender Drehbewegung verkleinern. Sie sind mit der Auslassöffnung verbunden.	bis 6,5 bar
Schraubenpumpe	Zwei ineinander greifende, gegenläufig drehende Spindeln sind in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet.	Die Schraubenverzahnungen bilden Förderkammern, in denen der Kraftstoff durch die Drehbewegung kontinuierlich axial zur Austrittsseite gedrückt wird.	bis 4,0 bar
Kolbenzellenpumpe	Eine exzentrisch gelagerte Läuferscheibe mit außen eingesetzten Rollen dreht sich in einem Gehäuse. Bei der Drehbewegung wandern die Rollen nach außen und drücken gegen das Gehäuse (Abdichtung).	Zwischen jeweils 2 Rollen und der Läuferscheibe bildet sich ein Förderraum, dessen Volumen im Laufe einer Umdrehung zunächst kleiner wird (Druckerzeugung) und sich dann vergrößert (Ansaugen).	bis 6,5 bar

Tabelle 9.5 Übersicht der gebräuchlichsten In-Tank-Pumpen.

9.3.3 Kraftstofffilterung

Die Bauteile des Gemischaufbereitungssystems müssen vor Schmutzpartikeln geschützt werden, die vom Kraftstoff mitgeführt werden können. Größere Partikel als ca. 5 µm beschädigen die Anlage und verringern die Haltbarkeit. Als schädliche Bestandteile gelten:

- Staubpartikel,
- metallische Oxidationsteilchen (z. B. Rost),
- organische Stoffe,
- Wasser.

Deshalb muss der Kraftstoff gefiltert werden. Entsprechend der Einbaustelle unterscheidet man folgende Filtertypen:

- Kraftstoff-Filterelemente sind in einem Gehäuse eingesetzt, das am Motor angebaut

ist (beim Austausch wird nur das Element gewechselt),

- Wechselfilter besitzen ein eigenes Gehäuse und können nur komplett ausgetauscht werden,
- Leitungsfiler sind in die Kraftstoffleitung eingebaut und müssen komplett gewechselt werden (In-Line-Filter).

Kraftstofffilter unterscheiden sich in ihrer Filterleistung, die für den Einsatzbereich ausschlaggebend ist. Die Leistung hängt im Wesentlichen vom Filtermaterial ab. Den Zusammenhang zwischen Filtermaterial, Filterleistung und Einsatzbereich zeigt Tabelle 9.6.

Filtermaterial/ Filteraufbau	Filz	Papierstern	Papierwickel	Sieb
				
Filterleistung	12 µm bis 15 µm	2 µm bis 12 µm	2 µm bis 5 µm	50 µm bis 200 µm
Einsatzbereich	Vorfilter bei Stufenfilteranlagen	Benzinmotoren mit Einspritzanlage und Dieselmotoren	Dieselmotoren mit Hochdruckeinspritzung	Benzinmotoren mit Vergaser
Tabelle 9.6	Zusammenhang zwischen Filterleistung, -material und Einsatzbereich.			

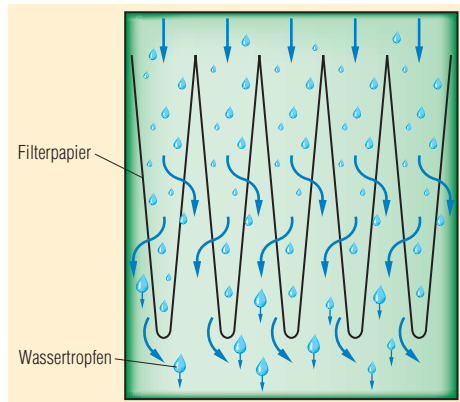


Bild 9.8 Wasserabscheidung im Papierfilter.

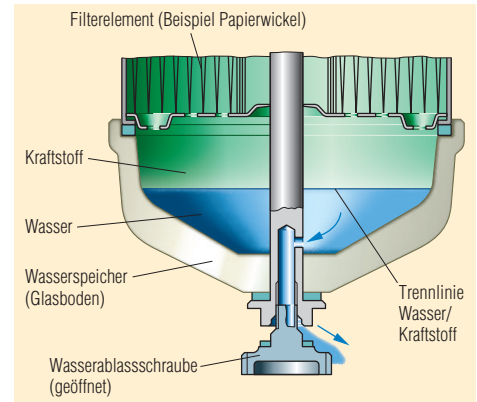


Bild 9.9 Wasseransammlung im Filter.

Dieselmotoren benötigen Kraftstofffilter mit Wasserabscheidung, da Wasser im Dieselmotorkraftstoff fein verteilt gebunden ist (Bild 9.8). Während des Filtervorganges bleibt es am Papier haften und bildet dort Tropfen, die durch ihre

größere Dichte nach unten sinken und sich im Wasserspeicher sammeln (Bild 9.9). Das Wasser muss bei Wartungsarbeiten regelmäßig durch eine Ablassschraube entfernt werden.

9.3.4 Zwischenspeicherung der Kraftstoffdämpfe im Aktivkohlesystem

Durch wechselnde Temperaturen entstehen im Kraftstoffbehälter Dämpfe, die über das Belüftungssystem ins Freie gelangen könnten. Da diese Emission gesetzlich verboten ist, muss der Kraftstoffdampf gesammelt und der Verbrennung im Motor zugeführt werden (Bild 9.10). Dazu wird eine Verbindung zwischen dem Kraftstoffbehälter und einem Aktivkohlebehälter hergestellt. Die Kraftstoffdämpfe wandern durch die Schlauchverbindung zum Aktivkohlefilter und lagern sich dort an. Durch den Saugrohrunterdruck werden die Kraftstoffteilchen abgesaugt und der Verbrennung im Motor zugeführt.

Die Absaugung erfolgt nicht ständig. Ein Taktventil (Regenerierventil) wird vom Steuergerät so geschaltet, dass in Abhängigkeit vom Drosselklappen- und **Lamdbasonden**-Signal eine regelmäßige Entleerung des Aktivkohlebehälters sichergestellt ist. Bei Motortemperaturen von unter 60°C bleibt das Ventil geschlossen, um eine **Überfettung** zu vermeiden.

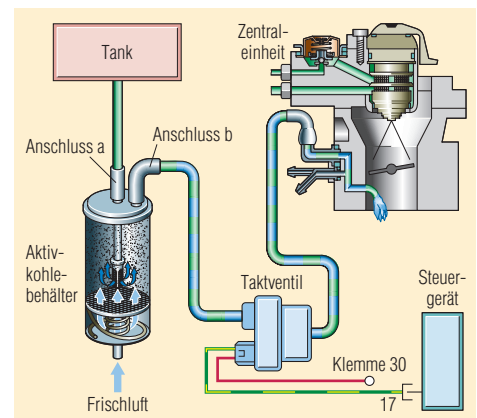


Bild 9.10 Kraftstoffverdampfungssystem.

Lamdbasonde →
S. 291

fettes Gemisch
→ S. 227

Arbeitsaufträge

1. Welche Hauptprodukte werden aus dem Rohöl-Raffinierungsvorgang gewonnen?
2. Aus welchen chemischen Elementen sind Benzin und Diesel zusammengesetzt?
3. Welche Unterschiede ergeben sich bezüglich Zündtemperatur und Zündgrenze zwischen Benzin und Diesel und den Einsatzmöglichkeiten in den verschiedenen Motorarten?
4. Überlegen Sie, welche Probleme durch das Verwechseln von Diesel- oder Ottokraftstoff beim Tanken entstehen können. Welche Maßnahmen sollen das verhindern? Was muss in der Werkstatt geschehen, wenn ein Kunde den falschen Kraftstoff getankt hat?
5. Was können Additive in Kraftstoffen bewirken? Stellen Sie die wichtigsten Funktionen zusammen.
6. Unterscheiden Sie die Kennzahlen ROZ, MOZ und CZ bei den Kraftstoffen.
7. Unterscheiden Sie Brenngase bezüglich Verfügbarkeit, Speicherung und Abgasverhalten.
8. Beschreiben Sie die Aufgabe und Funktion des Aktivkohlefilterbehälters.
9. Warum ist es besonders wichtig, dass die Wasseranteile aus dem Dieseldieselkraftstoff vollständig herausgefiltert werden?
10. Welche Vorteile ergeben sich durch den Einsatz von In-Tank-Pumpen?
11. Warum gibt es bei In-Tank-Pumpen kein Explosionsrisiko, obwohl ein Elektromotor im Tank ohne Abschirmung gegenüber dem Kraftstoff benutzt wird?

10 Luftzufuhrsysteme

Der Motor benötigt für den Verbrennungsablauf Frischluft, die ihm über ein komplexes System zugeführt wird (Bild 10.1). Dies muss mehrere Funktionen erfüllen:

- Reinigung der Ansaugluft,
- Messung der zugeführten Luft,
- Optimierung des Liefergrades der Ansaugluftmenge,
- geregelte Beimischung von Abgasen zur Erfüllung der gesetzlichen Abgaswerte.

Liefergrad:

Verhältnis der tatsächlich angesaugten zur theoretisch möglichen Ansaugluftmenge.

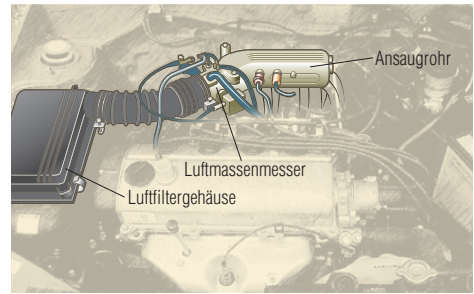


Bild 10.1 Luftzufuhrsystem eines Verbrennungsmotors.

10.1 Luftfilterung

Die angesaugte Luft enthält Staubpartikel, die ihr nach Möglichkeit vollständig entzogen werden müssen um einen vorzeitigen Verschleiß des Motors und Störungen bei der Luftmengenmessung zu verhindern. Der durchschnittliche Staubgehalt beträgt auf Landstraßen ca. $0,001 \text{ g/m}^3$ Luft, auf Baustellen dagegen bis ca. $0,2 \text{ g/m}^3$ Luft. Für die Luftfilterung stehen verschiedene Filtersysteme zur Verfügung.

Trockenluftfilter. Beim Trockenluftfilter (Bild 10.2) werden Wegwerf-Papierpatronen verwendet, die in ein Filtergehäuse eingesetzt werden. Je nach Ausführung ist die Patrone rechteckig oder rund. Das Spezialpapier ist gefaltet um

die Filteroberfläche zu vergrößern. Hierdurch wird der durchströmenden Luft ein geringerer Widerstand entgegengesetzt. Zudem kann eine größere Oberfläche mehr Staub aufnehmen und die Wechselintervalle verlängern sich.

Die mikrofeinen Fasern ermöglichen einen Reinheitsgrad der Luft von 99,9 % (Bild 10.3). Je größer die Staubteilchen sind, desto höher ist der Anteil der im Luftfilter zurückgehaltenen Partikel. Um eine lange Haltbarkeit des Filterpapiers zu erreichen, muss es folgende Eigenschaften aufweisen:

- hohe mechanische Festigkeit,
- Beständigkeit gegen Öle,
- unempfindlich gegen Feuchtigkeit.

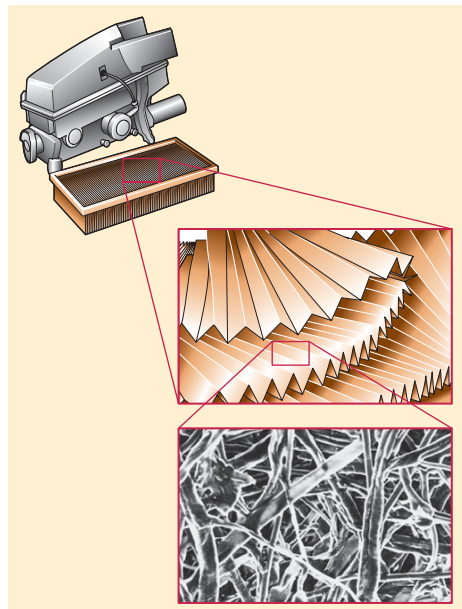


Bild 10.2 Trockenluftfilter.

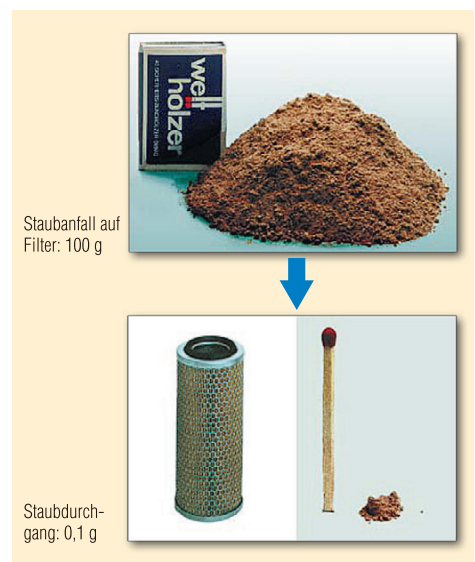


Bild 10.3 Mögliche Filterleistung eines Trockenluftfilters.

Ölbadluftfilter (Bild 10.4). Hierbei wird die Luft durch ein Ölbad gesogen. Dabei bleiben ca. 70 % der Staubpartikel im Ölbad hängen und lagern sich dort ab. Die restlichen Teilchen werden zusammen mit dem Öldampf in der Filterpatrone zurückgehalten und tropfen anschließend zurück in das Öl. Die Reinigungswirkung liegt bei maximal 98 %. Das Dauerfilter wird nicht ausgetauscht, sondern nach Serviceplan mit Benzin gereinigt. Das verschlammte Filtrieröl muss entsprechend den gesetzlichen Vorschriften entsorgt werden.

Zweistufenfilter (Bild 10.5). Dieser Filtertyp eignet sich für den Einsatz in sehr staubiger Umgebung. Durch einen tangential ausgeführten Einströmkanal wird die Luft an die Außenwand des Gehäuses gedrückt.

Die Staubpartikel bleiben dort zu ca. 70 % haften und gelangen somit nicht in den eigentlichen Filterbereich (Vorabscheidung). Anschließend strömt die Luft durch ein zweites Papierfilter, das die restlichen Staubteilchen aufnimmt (Hauptfilter). In einer staubreichen Umgebung kann das Filtersystem mit einem zusätzlichen Filter (Sekundärfilterelement) versehen sein, das beim Wechsel des Hauptfilters auf der Motorseite eingebaut bleibt. Neben der zusätzlichen Filterwirkung verhindert es vor allem, dass beim Filterwechsel Staub in den Ansaugkanal gelangt.

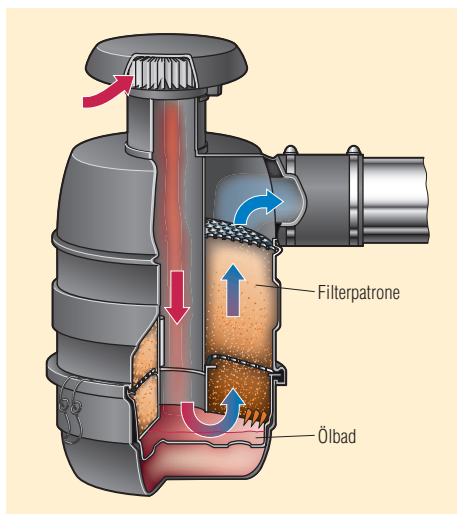


Bild 10.4 Ölbadluftfilter.

Tangente: Gerade (Ansaugkanal), die eine Kurve (Filtergehäuse) in einem Punkt berührt.

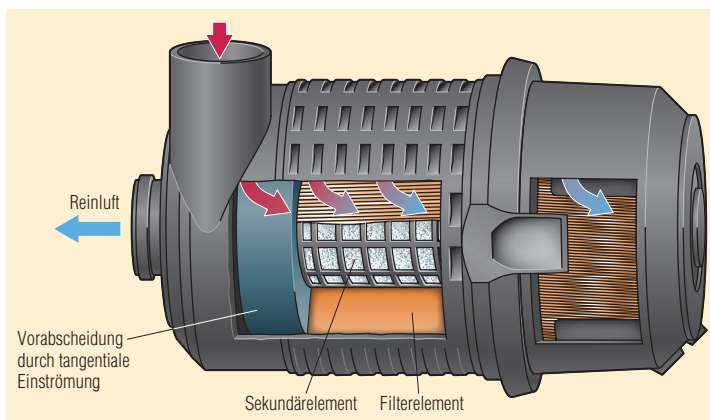


Bild 10.5 Zweistufenfilter.

10.2 Systeme zur Messung der zugeführten Luft

10.2.1 Luftmengenmesser

Im Gehäuse des Luftmengenmessers befindet sich die Stauklappe, die ihrerseits fest mit einer Kompensationsklappe verbunden ist (Bild 10.6). Beide Klappen sind über eine Welle mit einem Drehpotenziometer verbunden. Die durchströmende Luft verdreht die Stauklappe in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit gegen eine Feder. Der Drehwinkel wird von dem Potenziometer erfasst und in ein analoges Spannungssignal umgewandelt, welches an das Steuergerät weitergeleitet wird.

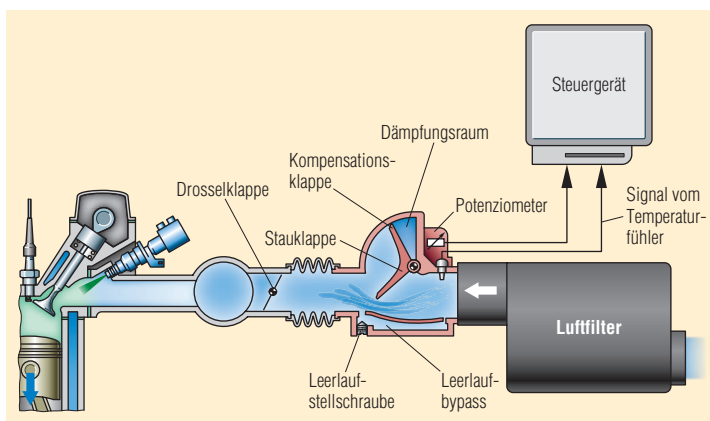


Bild 10.6 Luftmengenmesser.

Der gemeldete Wert ist eine direkte Information über die Luftmenge, die dem Motor zugeführt wird. Da die Luftmengenmessung unmittelbar vor der Drosselklappe erfolgt, verfügt das Steuergerät jederzeit über die richtige Information des Lastzustandes (z. B. Beschleunigung) und kann die Gemischbildung entsprechend anpassen.

Bei Auslenkung der Stauklappe wird die Kompensationsklappe um den gleichen Winkel in das Dämpfungsgehäuse geschwenkt. Das dort vorhandene Luftpolster kann nur langsam durch einen engen Luftspalt zwischen Klappe und Gehäuse hinausgedrückt werden. Dadurch werden die Bewegungen der Klappen gedämpft, die Schwingungen der Luft im Ansaugsystem bleiben ohne Einfluss auf die Klappenstellung. Im Leerlauf ist die Klappe geschlossen, über einen Bypass strömt die Luft an der Klappe vorbei.

Ältere Systeme verfügen noch über eine Stellschraube für den Bypass. Da die dort vorbeiströmende Luft nicht gemessen wird, kann mit der Stellschraube eine Leerlaufgrundeinstellung erfolgen.

10.2.2 Luftmassenmesser

Der Luftmengenmesser bestimmt die angesaugte Luftmenge über die Strömungsgeschwindigkeit. Luftdichte, Luftdruck und Lufttemperatur bleiben unberücksichtigt. Für die Ermittlung des benötigten Kraftstoff-Luft-Gemischs wäre eine Information über die angesaugte Luftmasse daher sehr viel genauer. Dies leistet ein Luftmassenmesser.

Er besteht aus einem zylindrischen Gehäuse mit eingebauter Elektronik zur Luftmassenbestimmung. Ein beidseitiges feines Gitter schützt den Innenraum gegen Staubpartikel. Die angesaugte Luft strömt durch das Gehäuse an der elektronischen Messstelle vorbei. Dabei wird ein Hitzdraht oder Heißfilm abgekühlt. Die Elektronik sorgt dafür, dass die Temperatur des Sensors bzw. der Sensoroberfläche gleich bleibt. Der dazu benötigte Heizstrom wird erfasst und als Messsignal an das elektronische Steuergerät geleitet. Im Vergleich zum Luftmengenmesser ergeben sich folgende Vorteile:

- schnelles Ansprechen,
- kein Messfehler beim Fahren in großer Höhe,
- keine bewegten Teile.

Hitzdraht-Luftmassenmesser (Bild 10.7). Im Ansaugkanal ist ein dünner, beheizter Platindraht gespannt. Seine elektronisch geregelte Temperatur liegt stets um 100 °C über der angesaugten Lufttemperatur. Wird der Hitzdraht von der vorbeiströmenden Luft abgekühlt, muss dieser durch Stromzufuhr wieder auf seine Ausgangstemperatur erhitzt werden. Ein Temperaturdifferenzfühler erfasst den Temperaturunterschied zwischen angesaugter Luft und dem Hitzdraht. In einer Brückenschaltung werden die Werte zusammengeführt und der notwendige Heizstrom ermittelt. Der zur Erwärmung des Hitzdrahtes notwendige Heizstrom wird an einem Präzisionswiderstand als Spannungswert abgegriffen. Dieser dient dem Steuergerät als Information über die angesaugte Luftmasse.

Das System misst ca. 1000-mal pro Sekunde, die Regelgeschwindigkeit liegt im Millisekundenbereich. Da sich mikrofeine Partikel an dem heißen Draht festsetzen können, besteht die Gefahr von Fehlmessungen. Daher wird nach dem Abschalten des Motors der Hitzdraht automatisch auf Glüh Temperatur erhitzt, damit alle angelagerten Partikel verbrennen (Freibrennen).

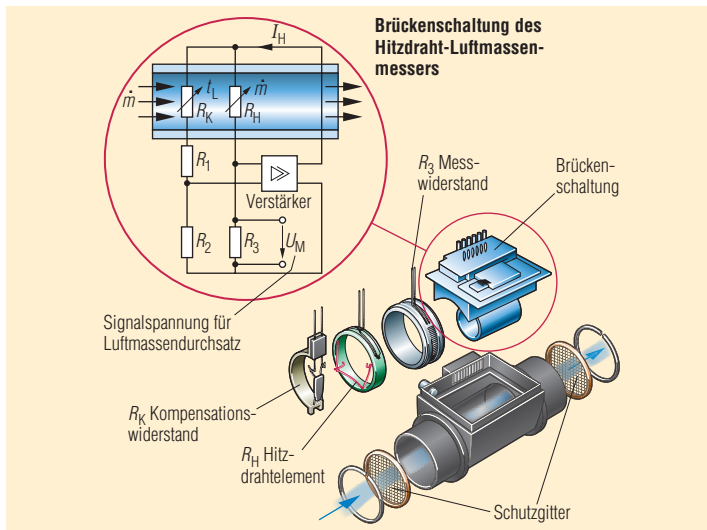


Bild 10.7 Hitzdraht-Luftmassenmesser.

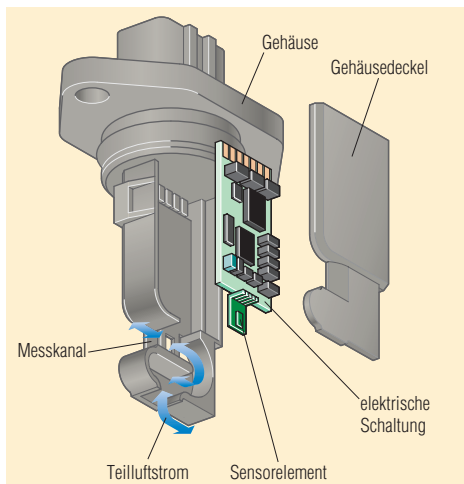


Bild 10.8 Heißfilm-Luftmassenmesser.

Heißfilm-Luftmassenmesser (Bild 10.8). Das Funktionsprinzip ist vergleichbar mit dem des Hitzdraht-Luftmassenmessers. Das Heizelement besteht hierbei aber aus einer elektrisch leitfähigen Kunststoffolie. Die Temperatur des Heizelementes wird 160 °C über der Ansauglufttemperatur gehalten. Dazu ist im Gehäuse eine Regelektronik untergebracht, die über einen Sensorwiderstand die notwendige Temperaturanhebung erkennt. Die einsetzende Regelspannung dient dem Steuergerät als Information über die angesaugte Luftmasse. Dieses System hat gegenüber dem Hitzdraht-Luftmassenmesser folgende Vorteile:

- unempfindlich gegen Partikel in der Ansaugluft,
- kein Freibrennen erforderlich.

Heißfilm-Luftmassenmesser mit Rückstromerkennung (Bild 10.9). Einige Fahrzeughersteller verwenden Heißfilm-Luftmassenmesser mit Rückstromerkennung. Weil zurückströmende Luft eine höhere Temperatur und damit eine geringere Dichte als Frischluft hat, kann mit deren Erfassung die angesaugte Luftmasse noch genauer bestimmt werden.

In einem Messkanal befindet sich ein beheizter Glasträger mit zwei Temperatursensoren. Ohne Luftstrom ist die Luft über dem Glasträger zwischen den beiden Temperatursensoren gleich warm. Durch den Luftstrom wird der jeweils erste Sensor stärker abgekühlt als der zweite. Daher kann das Motorsteuergerät feststellen, ob eine Rückströmung vorliegt.

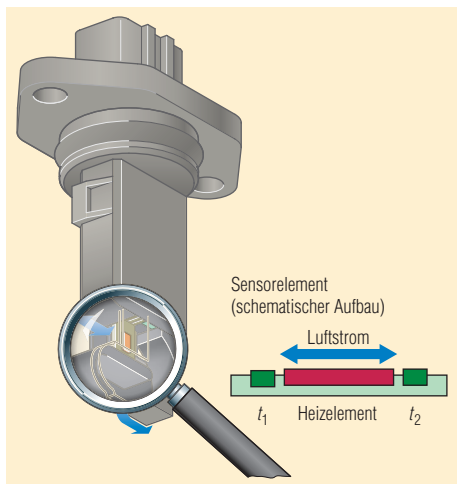


Bild 10.9 Rückstromerkennung.

10.2.3 Saugrohrdrucksteuerung

Anstelle eines Luftmengen- oder Luftmassenmessers wird bei einigen Systemen ein Drucksensor verwendet (Bild 10.10). Dieser erfasst den Unterdruck im Ansaugrohr. Ein zweiter Sensor bestimmt die Lufttemperatur. Aus beiden Werten ermittelt das Steuergerät die Information über die angesaugte Luftmenge.

Das System kann die Luftmenge nicht sehr genau erfassen, ist aber sehr preisgünstig. Undichtigkeiten im Ansaugsystem führen zu Fehlern bei der Gemischberechnung, weil der Drucksensor falsche Werte liefert.

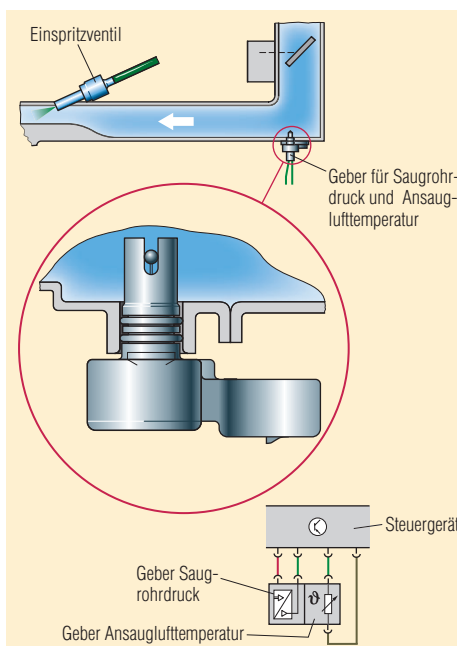


Bild 10.10 Saugrohrdruckmessung im Ansaugkanal.

10.3 Systeme zur Verbesserung des Liefergrades

Die Gestaltung des Ansaugweges beeinflusst Leistungs- und Drehmomentverlauf sowie den Kraftstoffverbrauch wesentlich. Die Innenwand des Ansaugrohres sollte möglichst glatt sein, damit die Luftströmung nicht gebremst wird. Dies ermöglicht einen hohen Liefergrad. Dazu werden die Innenwände nachträglich poliert. Bei der Druckgussherstellung von Aluminium- oder Magnesium-Legierungen können die Oberflächen so glatt hergestellt werden, dass eine Nachbehandlung nicht erforderlich ist. Bei Kunststoffen wird durch Spritzguss in Metallformen eine glatte Innenwand erzielt. Für eine weitere Verbesserung des Liefergrades können Aufladungssysteme eingesetzt werden.

10.3.1 Schwingrohraufladung

Die Funktion der Schwingrohraufladung verdeutlicht die Bildfolge 10.11. Beim Öffnen des Einlassventils ist der Kolben auf seinem Weg in Richtung UT. Durch den sich aufbauenden Unterdruck im Zylinder entsteht eine Unterdruckwelle vor dem Einlassventil, die sich mit Schallgeschwindigkeit in Richtung Drosselklappe bewegt. Schließt das Einlassventil, wird die beschleunigte Gassäule davor verdichtet. Die Unterdruckwelle wird in eine Druckwelle gleicher Stärke umgewandelt, die sich dann wieder mit Schallgeschwindigkeit zum Einlassventil bewegt.

Im Idealfall bildet sich bei laufendem Motor eine Luftschwingung, deren Druckwelle genau dann auf das Einlassventil trifft, wenn es sich gerade öffnet. Der Füllungsgrad erhöht sich und damit das Drehmoment und die Leistung des Motors. Es entsteht ein Schwingungssystem, dessen Frequenz und erzeugter Druck von der Länge des Schwingrohres (Saugrohres) abhängen. Bei fester Rohrlänge hat jeder Motor nur einen engen Drehzahlbereich, in dem die Druckwelle genau auf das geöffnete Einlassventil trifft. Dieser kann durch Gestaltung des Ansaugrohres festgelegt werden.

10.3.2 Schaltsaugrohre

Die Druckschwingung im Ansaugrohr kann durch Schaltsaugrohre verbessert werden. Die beste Lösung wäre eine stetige Veränderung des Ansaugweges entsprechend der Drehzahl. Es

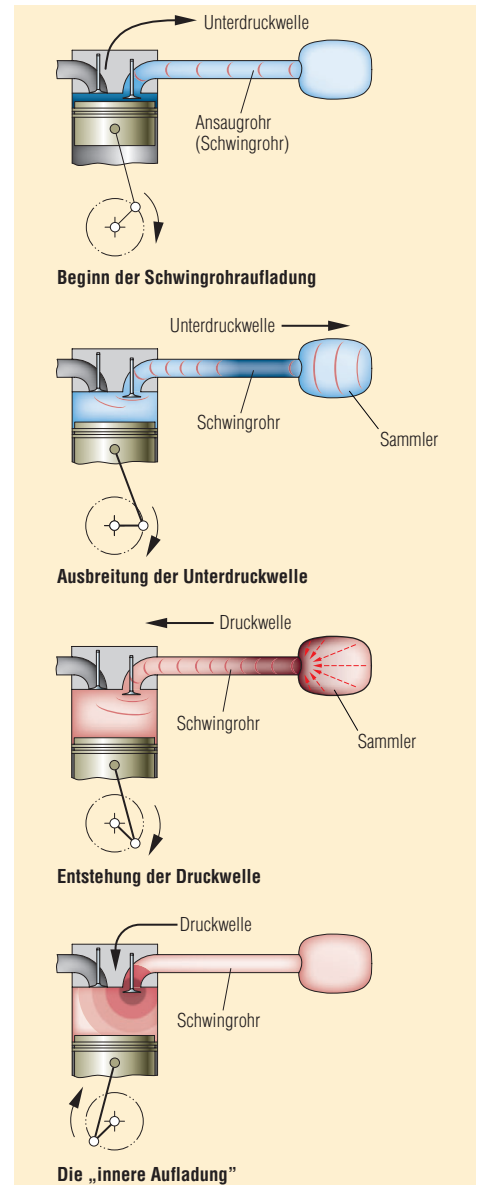


Bild 10.11 Bildung von Unterdruck und Druckwelle im Ansaugrohr.

gibt je nach Fabrikat und Preisniveau des Fahrzeuges verstellbare Saugrohranlagen, die den Ansaugweg in Stufen oder stufenlos verändern können.

Saugrohranlage mit Umschaltklappen. Dabei werden die Ansaugwege durch Klappen in zwei Längen geteilt (Bild 10.12). Der lange Luftweg ist für niedrige Drehzahlen optimal und ermöglicht hohe Drehmomente. Der kurze Weg ermöglicht eine hohe Motorleistung bei hohen Drehzahlen (Bild 10.13).

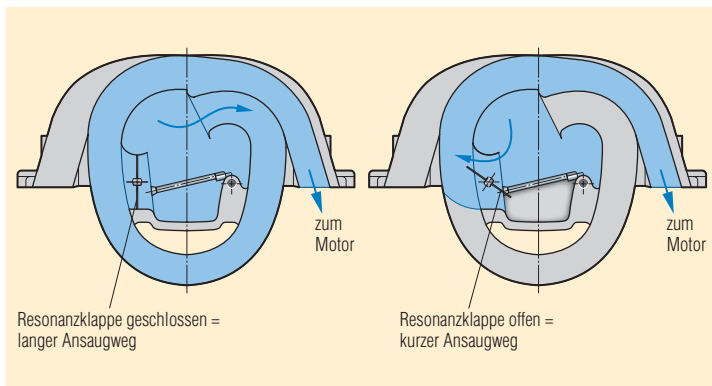


Bild 10.12 Schaltsaugrohr mit zwei Stufen.

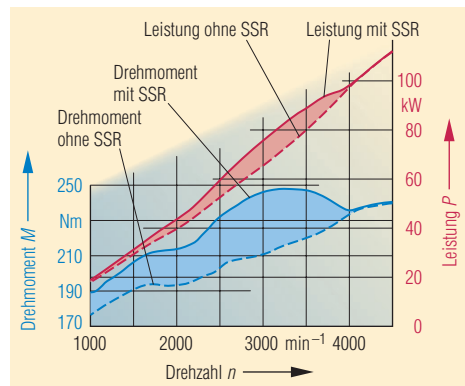


Bild 10.13 Leistungs- und Drehmomentvergleich für einen Motor mit und ohne Schaltsaugrohr (SSR).

Eine weitere Möglichkeit der Schaltsaugrohrgestaltung zeigt Tabelle 10.1. Hierbei teilen zwei Luftklappen die Ansauglänge des Saugrohrs in drei Teillängen ein. Damit ergibt sich in drei Drehzahlbereichen eine Verbesserung des Liefergrades verbunden mit besserer Leistung oder höherem Drehmoment. Optimal ist die voll variable Sauganlage (Bild 10.14). Ein Steuergerät ermittelt für die jeweiligen Lastzustände und Drehzahlen die richtige Saugrohlänge. Ein Stellmotor verdreht den Drehschieber stufenlos in die entsprechende Position.

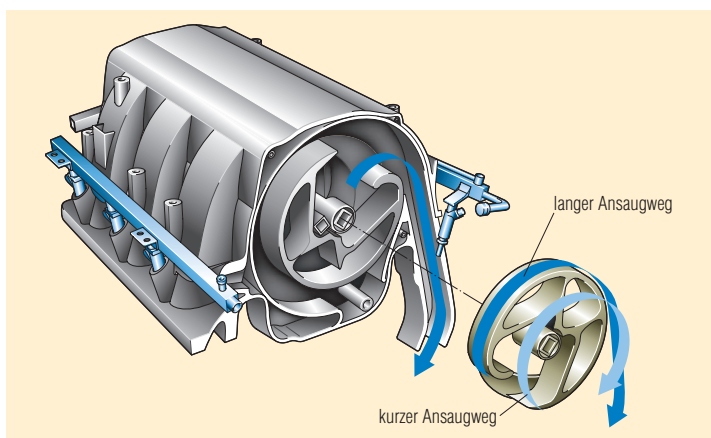


Bild 10.14 Voll variable Sauganlage.

langer Ansaugweg	mittlerer Ansaugweg	kurzer Ansaugweg
niedrige Drehzahl bis 3000 min ⁻¹	mittlere Drehzahl 3000 bis 5200 min ⁻¹	hohe Drehzahl ab 5200 min ⁻¹
langes Saugrohr	mittleres Saugrohr	kurzes Saugrohr

Tabelle 10.1

Verbesserung des Drehmoments durch dreistufiges Schaltsaugrohr.

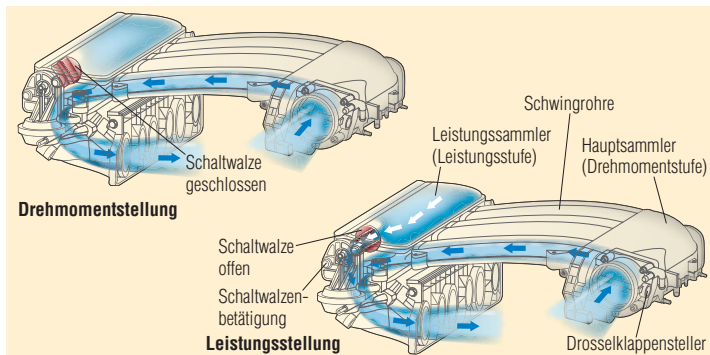


Bild 10.15 Schaltsaugrohr mit Luftsammler.

Benzindirekteinspritzung → S. 235

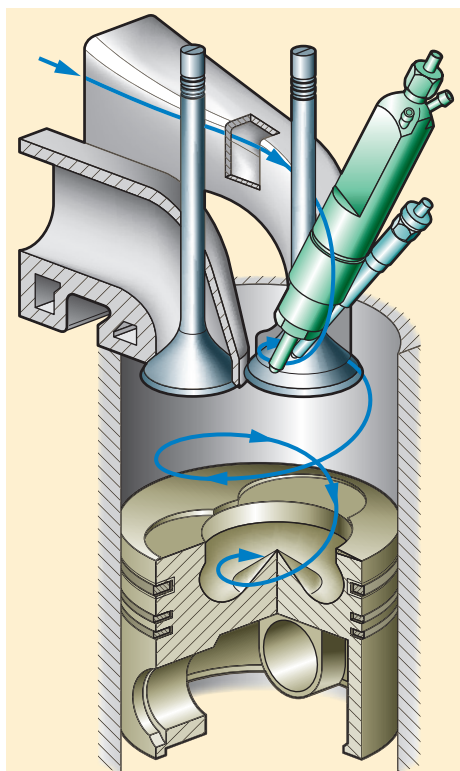


Bild 10.16 Drallkanal im Ansaugweg.

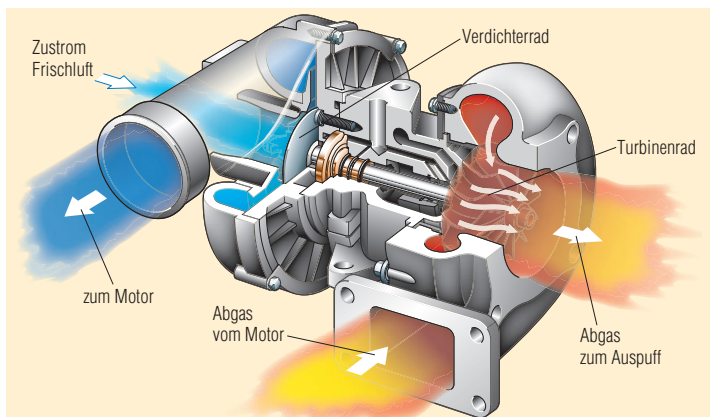


Bild 10.17 Abgasturbolader.

Luftsammler. Für die Schwingrohranladung wird ein Luftsammler verwendet (Bild 10.15). Die Luft strömt über den Hauptsammler in einem langen Rohr (ca. 770 mm) zum Einlassventil. Diese Länge führt zu einer günstigen Druckschwingung der Luftsäule bei niedrigen und mittleren Drehzahlen bis ca. 4000 min⁻¹. Bei höherer Drehzahl öffnet sich die Schaltwalze zum Leistungssammler. Dieser liegt in ca. 450 mm Entfernung zum Einlassventil und wird über diejenigen Schwingrohre mit Luft versorgt, deren Zylinder gerade nicht ansaugen. Der zusätzliche kurze Ansaugweg bewirkt bei hohen Drehzahlen einen verbesserten Füllungsgrad.

10.3.3 Ansaugrohr mit Drallkanal

Bei Motoren mit innerer Gemischbildung (**Direkt-einspritzer**) werden Ansaugrohre mit Drallkanälen verwendet (Bild 10.16). Sie führen zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Luft im Zylinder und besserer Vermischung mit dem Kraftstoff. Dabei wird die Luft im Ansaugrohr in eine Drallbewegung versetzt, die sich bis zur Einspritzung und der einsetzenden Verbrennung fortsetzt. Der Verbrennungsablauf wird optimiert.

10.3.4 Aufladung

Durch eine externe Aufladung der Ansaugluft kann man den Liefergrad beliebig erhöhen. Technische Grenzen ergeben sich

- durch zu hohe Verbrennungsdrücke verbunden mit einer zu großen mechanischen Belastung,
- beim Ottomotor durch die Klopfgrenze,
- beim Dieselmotor durch zu hohe Verbrennungstemperaturen.

Abgasturbolader (Bild 10.17). Mit ihm kann die Leistung ohne Veränderung des Hubraums oder der Motordrehzahl gesteigert werden. Dies geschieht durch zwei Turbinenräder, die über eine Welle miteinander verbunden sind. Beide Räder laufen in abgeschlossenen Gehäusen. Die Abgase strömen durch das Turbinengehäuse und beschleunigen das Turbinenrad auf ca. 100 000 min⁻¹. Die Drehbewegung überträgt sich auf das zweite Rad (Verdichterrad), wodurch die Ansaugluft mit geringem Überdruck durch das Verdichtergehäuse zum Einlassventil gefördert wird. Da das Turbinenrad vom Abgasstrom

angetrieben wird, liefert es die Antriebsenergie für die Verdichterseite ohne zusätzliche Energiezufuhr. Die eingesparte Antriebsenergie beträgt im Vergleich zu Kompressoren bis ca. 20 kW.

Viele Hersteller schreiben eine Begrenzung des Ladedruckes vor, da dieser mit steigender Motordrehzahl immer höher werden würde. Dazu wird ein Regelventil verwendet, das eine Bypassklappe im Abgasstrom steuert (Bild 10.18). Wird die Klappe geöffnet, strömt ein Teil der Abgase direkt in den Auspuff. Die Drehzahl des Abgasturboladers sinkt. Bei geschlossener Klappe wirkt der volle Abgasstrom auf das Turbinenrad. So erreichen Turbinendrehzahl und Ladedruck ihren Maximalwert. Die Beschleunigung des Turbinenrades erfordert eine Mindestmenge an Abgasen, die je nach Motor erst oberhalb von ca. 1800 min^{-1} vorliegen. Daher bleibt ein Abgasturbolader unterhalb dieser Drehzahl ohne Wirkung.

Abgasturbolader mit Ladeluftkühlung. Wenn die Ansaugluft durch das Verdichtergehäuse des Abgasturboladers strömt, erwärmt sie sich. Eine anschließende Kühlung der Luft ergibt folgende Vorteile:

- höhere Luftdichte verbunden mit einem besseren Liefergrad,
- bessere innere Kühlung des Verbrennungsraums durch die Ansaugluft.

Die verdichtete Ansaugluft wird über einen besonderen Kühler zum Motor geführt (Bild 10.19). Die Vorteile verstärken sich, wenn die Luft aus der Abgasrückführung ebenfalls gekühlt wird. Dazu wird entweder ein zusätzlicher Luftkühler verwendet oder beide Kühler sind in einem Gehäuse integriert. Dies führt zu einem geringeren Platzbedarf im Motorraum (Bild 10.20).

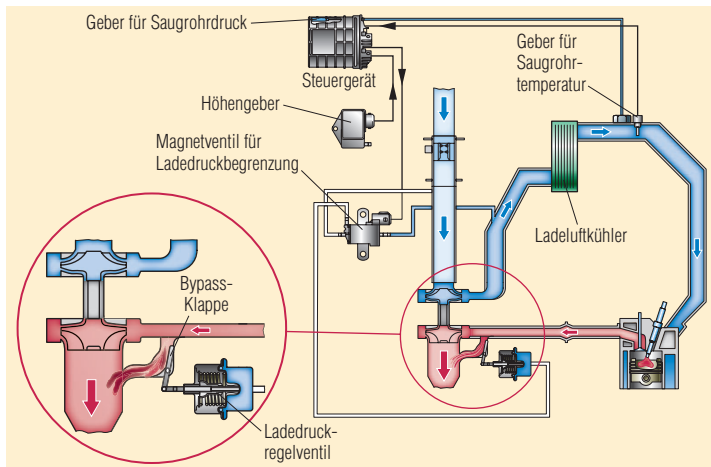


Bild 10.18 Ladedruckregelung.

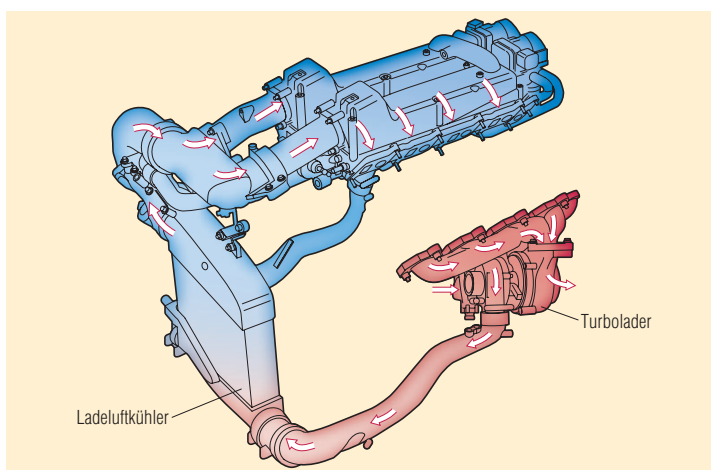


Bild 10.19 Ladeluftkühlung.

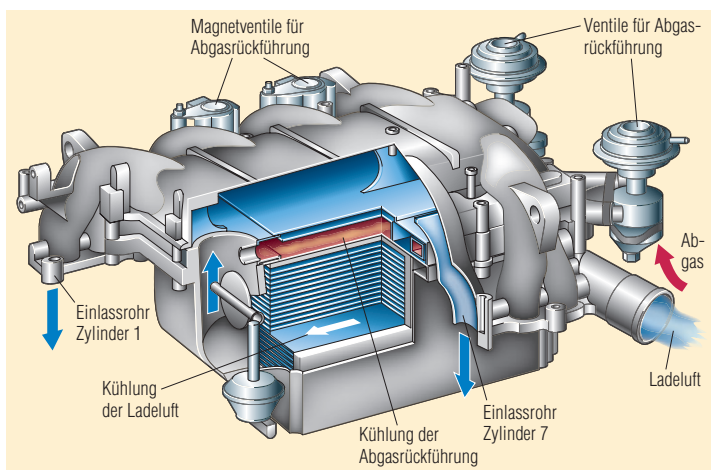


Bild 10.20 Kühlung von Lade- und Abgasrückführungsluft.

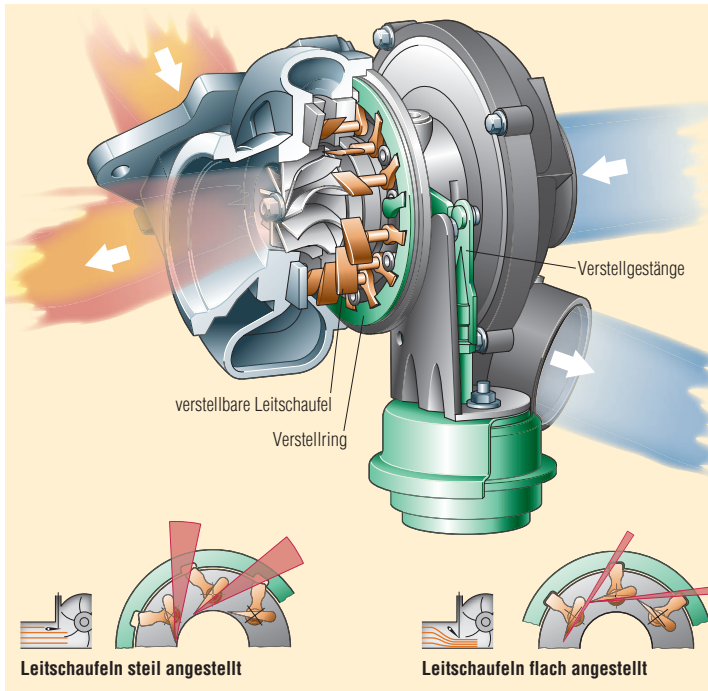


Bild 10.21 VTG-Lader.

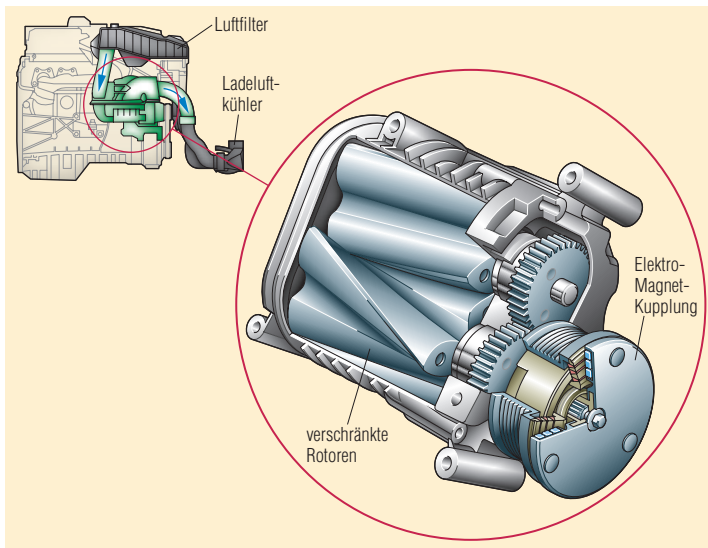


Bild 10.22 Roots-Verdichter.

VTG: variable Turbinengeometrie

Verstellbare Turbinen (VTG). Verstellbare Leitschaufeln am Turbinenrad ermöglichen eine direkte Ladedruckregelung durch veränderbare Turbinendrehzahl (Bild 10.21).

Ein Stellring verdreht die Leitschaufeln, wodurch sich der Strömungswinkel der Abgase verändert. Werden die Leitschaufeln „flach“ angestellt, verengt sich der Strömungsquerschnitt, die Strömungsgeschwindigkeit steigt und das Turbinenrad wird stark beschleunigt. Sobald der erforderliche Ladedruck erzeugt ist, werden die Leitschaufeln „steil“ gestellt, bis der im Kennfeld des Motorsteuergerätes abgelegte Druck erreicht ist. Durch die variablen Leitschaufeln kann der volle Ladedruck sehr schnell erreicht und über den gesamten Drehzahlbereich auf dem gewünschten Niveau gehalten werden.

Der Verstellring ist mit allen Leitschaufeln verbunden. Er wird entweder über Unterdruck des Ladedruckregelventils oder durch einen elektrischen Stellmotor verdreht. Beide Aktoren werden über das Motorsteuergerät geregelt.

Mechanische Lader. Im Gegensatz zum Abgas-turbolader werden diese über einen Riemen von der Kurbelwelle angetrieben. Sie haben folgende Eigenschaften:

- schnelle Bereitstellung des Ladedrucks,
- gute Wirkung bei niedrigen Drehzahlen,
- Energieverlust durch den Antrieb.

Für die Aufladung werden Kompressoren, Stern- oder Drehkolben-(Roots-)gebläse oder G-Lader verwendet. Bei einem Roots-Verdichter (Bild 10.22) z.B. werden zwei sternförmige Walzen ineinander gedreht. Der Antrieb erfolgt über eine regelbare Magnetkupplung.

10.4 Abgasrückführungssysteme

Abgasrückführungssysteme sollen im Wesentlichen den Gehalt von NO_x im Abgas vermindern und zu einer Kraftstoffeinsparung führen. Wegen der unterschiedlichen Arbeitsweise von Otto- und Dieselmotor sind die Rückführungssysteme verschieden aufgebaut.

10.4.1 Abgasrückführung beim Ottomotor

Beim Ottomotor wird der Ansaugluft bis zu 18 % Abgas beigemischt. Ein elektrisch oder pneumatisch betätigtes Abgasrückführungsventil (AGR-Ventil) gibt die teilweise Rückströmung frei (Bild 10.23).

Im Teillastbereich wird das Abgas hinter der Drosselklappe eingeleitet und mit der Frischluft vermischt. Hierdurch kann die Drosselklappe weiter geöffnet werden, ohne dass eine zu große Frischluftmenge angesaugt wird. Die weiter geöffnete Drosselklappe verursacht geringere Verwirbelungen und damit geringere Ansaugverluste. Diese führen dann zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch. Durch die Abgasrückführung wird dem Motor weniger Sauerstoff zugeführt. Insgesamt ergeben sich folgende Wirkungen:

- Senkung der Verbrennungs- und Abgastemperatur,
- Senkung der NO_x -Werte,
- Senkung des Verbrauchs durch geringere Ansaugverluste.

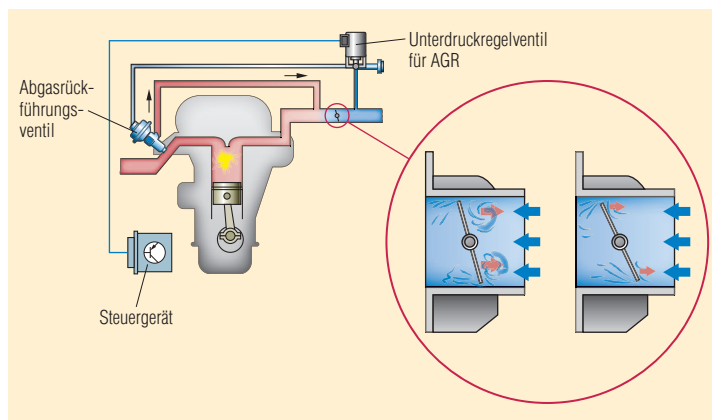


Bild 10.23 Abgasrückführung beim Ottomotor.

Partikel: Rußteilchen im Abgas

Abgaszusammensetzung → S. 289

10.4.2 Abgasrückführung beim Dieselmotor

Beim Dieselmotor wirkt sich die Abgasrückführung (Bild 10.24) vor allem positiv auf die NO_x -Werte und die Partikelmenge aus. Der Anteil der zurückgeführten Abgasmenge beträgt höchstens 30 %, weil ein zu geringer Sauerstoffanteil in der angesaugten Luft die CO- und HC-Werte unerwünscht anheben würde.

Durch die Kühlung des Abgases in einem speziellen Kühler kann die Abgaszusammensetzung zusätzlich verbessert werden. Dadurch werden NO_x - und Partikelmenge weiter vermindert.

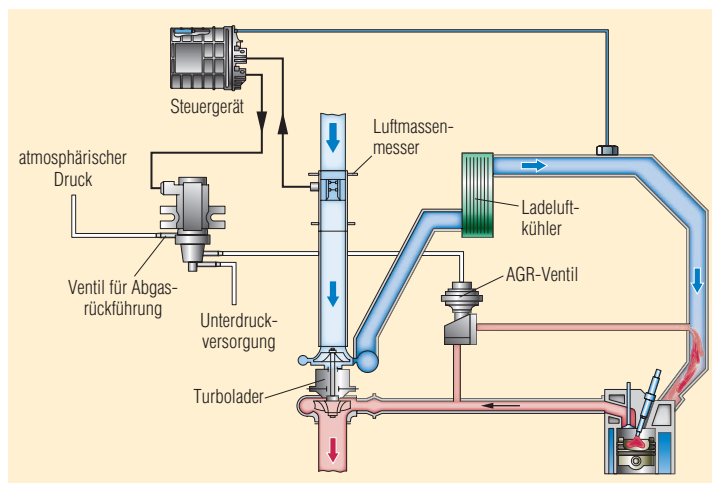


Bild 10.24 Abgasrückführung beim Dieselmotor.

10.5 Werkstattpraxis

- Der Sollwert für die Spannung, die ein Luftmengen- oder Massenmesser liefern muss, ist vom jeweiligen Fahrzeug abhängig. Der Istwert kann in jedem System mit dem Multimeter ermittelt werden. Falls er über den Diagnosetester direkt erfasst werden kann, dienen diese Daten als Information, welche Werte das Steuergerät erhält.
- Für alle Fahrzeuge mit Saugrohrdrucksteuerung ist die Sichtkontrolle des Ansaugsystems wichtig, weil bei möglichen Undichtigkeiten das Steuergerät falsche Werte über den Lastzustand erhält.
- Abgasrückführungssysteme neigen zu Verschmutzungen im Bereich des AGR-Ventils. Bei schlechtem Kaltstartverhalten empfiehlt sich eine Kontrolle bzw. eine Reinigung.

Arbeitsaufträge

1. Welche Auswirkungen hat ein total verstaubtes Luftfilter auf die Abgaswerte bei einer anschließenden AU-Prüfung?
2. Erklären Sie, warum die Veränderung des Ansaugweges durch „Bastler“ problematisch ist.
3. Welche negativen Folgen für das Laufverhalten eines Motors sind bei Veränderungen des Ansaugweges möglich?
4. Wie kann man schnell und ohne jegliches Werkzeug prüfen, ob der Hitzdraht-Luftmassenmesser mit Spannung versorgt wird?
5. Warum liefert der Luftmengenmesser im Gegensatz zum Luftmassenmesser in großen Höhen einen Messfehler?

11 Gemischaufbereitung bei Verbrennungsmotoren

Um bei Verbrennungsmotoren eine vollständige Verbrennung zu ermöglichen, muss im Brennraum ein bestimmtes Verhältnis von Luft zu Kraftstoff bereitgestellt werden. Bei der Verbrennung dieses idealen (stöchiometrischen) Kraftstoff-Luftgemischs entstehen theoretisch

lediglich Kohlenstoffdioxid (CO_2), Wasser (H_2O) und Stickstoff (N_2). Das ideale Luft-Kraftstoff-Verhältnis hängt von der jeweiligen Kraftstoffart und -qualität ab (Tabelle 11.1).

Stöchiometrie: mengenmäßige Zusammensetzung chemischer Verbindungen und deren Berechnungen.

Kraftstoffart	theoretischer Luftbedarf kg Luft pro 1 kg Kraftstoff	Dichte kg/dm ³	Liter Luft für einen Liter Kraftstoff bei $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$
Ottokraftstoff Normal	14,8	0,72	8490
Ottokraftstoff Super	14,7	0,75	8586
Diesekraftstoff	14,5	0,83	9667

Tabelle 11.1 Stöchiometrisches Gemisch.

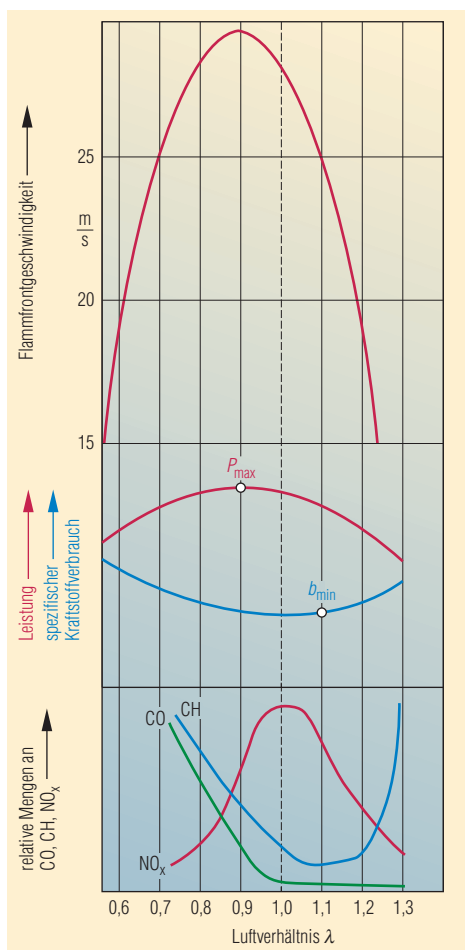


Bild 11.1 Flammfrontgeschwindigkeit, Leistung, Verbrauch und Abgaszusammensetzung in Abhängigkeit von der Luftzahl λ .

Das Verhältnis der zugeführten Luftmenge zum theoretischen Luftbedarf heißt Luftzahl λ .

$$\text{Luftzahl } \lambda = \frac{\text{zugeführte Luftmenge}}{\text{theoretischer Luftbedarf}}$$

In Abhängigkeit von der Luftzahl λ (Lambda) verändern sich die Flammfrontgeschwindigkeit, die Leistung, der Kraftstoffverbrauch und die Abgaszusammensetzung (Bild 11.1). Die wichtigsten Schadstoffe (NO_x , CO und HC) werden bei $\lambda = 1$ optimal im Katalysator umgewandelt.

Das stöchiometrische Mischungsverhältnis wird in Abhängigkeit von Last, Temperatur und Drehzahl des Motors verändert. Ein Gemisch mit höherem Kraftstoffanteil heißt fett, eines mit niedrigerem Kraftstoffanteil heißt mager.

Wird das Gemisch zu fett oder zu mager, kann der Kraftstoff nicht mehr gezündet werden. Diese Zündgrenzen nennt man Fett- und Magergrenze (Bild 11.2).

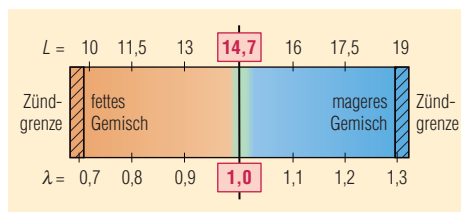


Bild 11.2 Zündgrenzen.

NO_x: Stickoxide (NO , NO_2 , NO_3 , NO_4)

CO: Kohlenstoffmonooxid

HC: unverbrannte Kohlenwasserstoffe

Katalysator
→ S. 289

fett: Luftmangel oder Kraftstoffüberschuss
→ $\lambda < 1$

stöchiometrisch:
→ $\lambda = 1$

mager: Luftüberschuss oder Kraftstoffmangel
→ $\lambda > 1$

11.1 Benzinmotoren

Zur Bildung eines zündfähigen Kraftstoff-Luft-Gemischs muss der Kraftstoff in den gasförmigen Zustand übergehen (verdampfen). Außer bei direkt einspritzenden Motoren geschieht dies beim Ottomotor vor allem im Ansaugkrümmer, d. h. das Kraftstoff-Luft-Gemisch hat sich bereits überwiegend gebildet, wenn es in den Zylinder gelangt. Man spricht hier von äußerer Gemischbildung. Im Gegensatz dazu wird bei der inneren Gemischbildung (Direkteinspritzer) das Kraftstoff-Luft-Gemisch vollständig im Brennraum gebildet.

Die Herstellung des Kraftstoff-Luft-Gemischs erfolgt entweder im Vergaser oder mithilfe einer Einspritzanlage.

11.1.1 Vergaser

Der Vergaser stellt die älteste Methode der äußeren Gemischbildung dar (Bild 11.3). Er wird noch verwendet, wenn keine Abgasvorschriften eine genaue Gemischbildung vorschreiben, z. B. bei Zweirädern, Bootsmotoren und Rasenmähern.

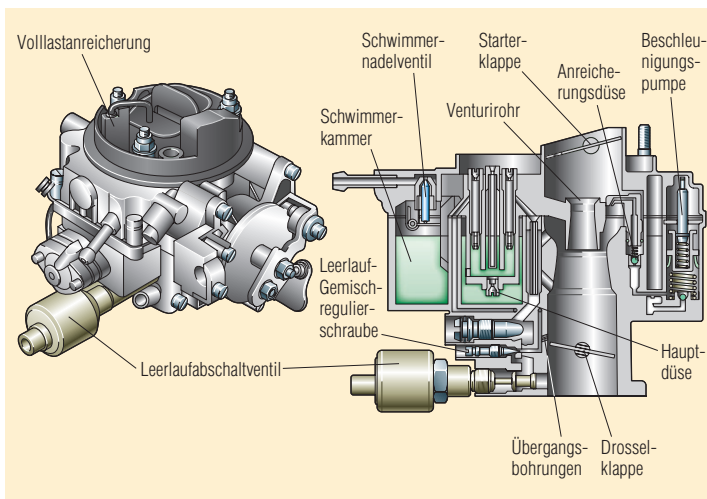


Bild 11.3 Vergaser mit Zusatzeinrichtungen.

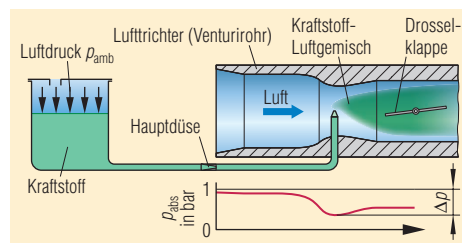


Bild 11.4 Vergaserprinzip.

Prinzip. Beim Vergaser wird der Querschnitt des Ansaugrohrs an einer Stelle verengt (Venturirohr). Da die Menge der durchströmenden Luft gleich ist, muss an der Engstelle die Strömungsgeschwindigkeit größer werden. Gleichzeitig sinkt der Luftdruck ab und saugt über das Austrittsrohr Kraftstoff an (Bild 11.4). Die richtige Kraftstoffmenge wird durch eine Düse bestimmt (Hauptdüse), die in Abhängigkeit vom Unterdruck eine bestimmte Menge Kraftstoff in den Luftkanal fließen lässt.

Die angesaugte Kraftstoff-Luft-Gemischmenge hängt von einer Drosselklappe ab. Der Fahrer bestimmt mit dem Gaspedal den Drosselklappenwinkel und verändert dadurch den Strömungsquerschnitt. Für die verschiedenen Betriebszustände gibt es Zusatzeinrichtungen, die einen optimalen Betrieb des Motors in allen Lastzuständen sicherstellen (Tabelle 11.2 und Bild 11.3).

Schiebervergaser (Bild 11.5). Sie werden häufig in Zweitaktmotoren mit geringem Hubraum verwendet, wie sie in Mofas und sonstige Kleinkraft-rädern verbaut werden.

Prinzip. Der Ansaugkanal wird von einem zylindrischen Gasschieber durch eine Feder geschlossen. An diesem Schieber hängt eine kegelförmige Düsennadel. Bei Betätigung des Gaszuges wird der Schieber gemeinsam mit der Nadel hochgezogen. Dadurch gibt die Düsennadel eine bestimmte Kraftstoffmenge frei, die sich mit der Luft vermischt und vom Motor angesaugt wird. Je weiter der Schieber aus dem Ansaugkanal herausgezogen wird, umso größer wird die angesaugte Luftmenge. Gleichzeitig wird der Spalt zwischen Düsennadel und Düse größer und es kann mehr Kraftstoff angesaugt werden.

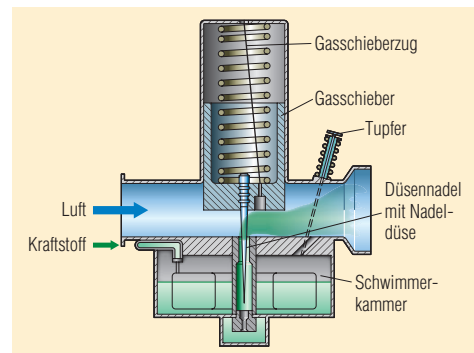
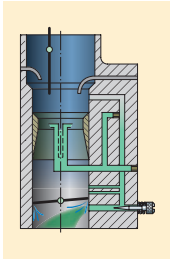
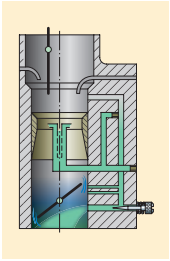
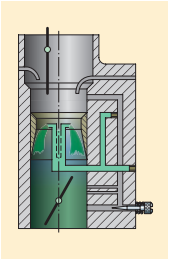
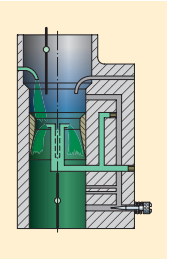
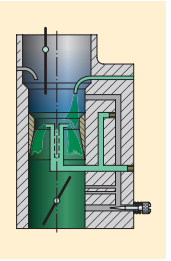
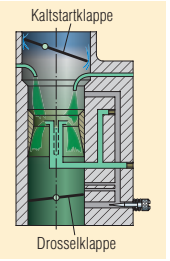


Bild 11.5 Schiebervergaser.

Leerlauf	Übergang	Teillast	Volllast	Beschleunigung	Kaltstart
					
Drosselklappe geschlossen, Kraftstoff strömt unterhalb durch eine einstellbare Schraubdüse in den Luftstrom.	Drosselklappe leicht geöffnet, zusätzliche Übergangsbohrungen werden frei, weitere Kraftstoffmenge gelangt in den Luftstrom.	Drosselklappe teilweise offen, der Unterdruck ist im Bereich der Hauptdüse so groß, dass die notwendige Kraftstoffmenge herausströmt, Leerlaufbohrung nicht mehr aktiv.	Drosselklappe voll geöffnet, die Hauptdüse liefert maximale Kraftstoffmenge, zusätzliche Anreicherung durch das Beschleunigungsventil oder durch Anreicherungs-düse.	Beschleunigungs-pumpe fördert beim Durchtreten des Gaspedals eine einmalige zusätzliche Kraftstoffmenge in den Ansaug-kanal, dadurch ruckfreies Beschleunigen.	Kaltstartklappe über dem Ansaugtrichter geschlossen, trotz geringer Ansaugmenge Unterdruck im Hauptsystem und Aktivierung der Hauptdüse, sehr fettes Gemisch.
Tabelle 11.2		Betriebsarten eines Vergasers.			

11.1.2 Kontinuierliche Benzineinspritzung (KE-Jetronic)

Bei der kontinuierlichen Benzineinspritzung (Bild 11.6) gelangt eine genau ermittelte Kraftstoffmenge an die Einspritzdüsen. Die Düsen sind

vor den Einlassventilen montiert und sprühen den Kraftstoff auf das warme Einlassventil. Der Kraftstoff verdampft.

kontinuierlich = stetig

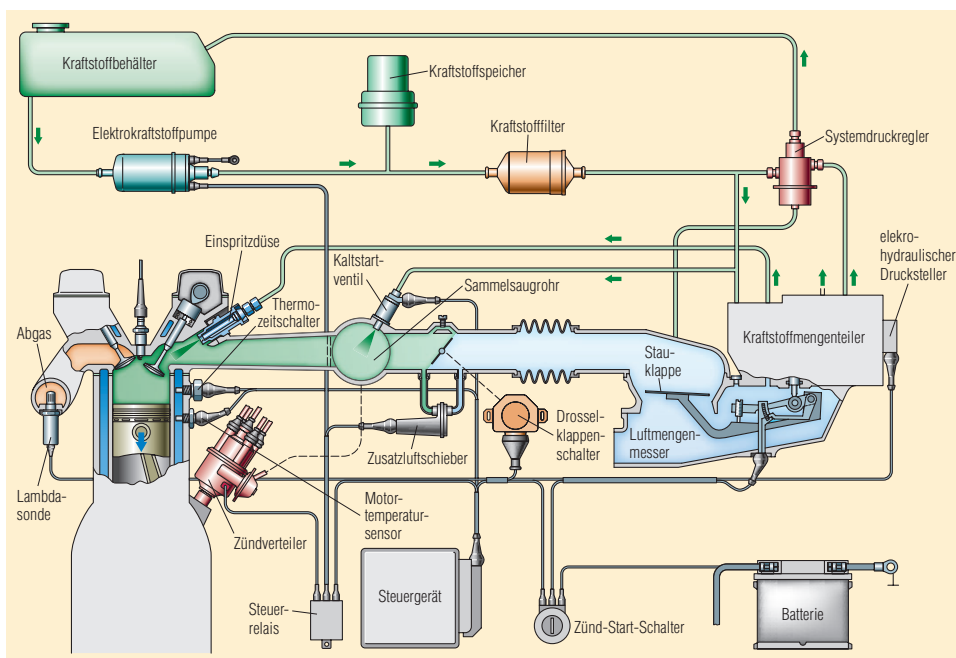


Bild 11.6 Übersicht KE-Jetronic.

Die beschriebenen Funktionen gelten im Wesentlichen auch für eine rein mechanische K-Jetronic. Deshalb ist bei der KE-Jetronic ein Notlauf des Motors auch bei einem Ausfall der Elektronik/des Steuergeräts möglich.

Kraftstoffsystem. Eine elektrische Pumpe fördert den Kraftstoff über einen Kraftstoffspeicher, der eine Dampfblasenbildung verhindert, durch einen Filter. Ein Systemdruckregler hält den Kraftstoffdruck bei ca. 6 bar konstant. Durch den Kraftstoffmengenteiler gelangt die optimale Kraftstoffmenge an die Einspritzdüsen.

Luftsystem (Bild 11.7). Bei laufendem Motor strömt die angesaugte Luft an einer beweglichen Stauklappe vorbei durch einen Trichter zum Ansaugrohr des Motors (Luftmengenmesser). Je größer die angesaugte Luftmenge, umso weiter wird die Stauklappe aus dem Trichter gehoben, damit die Luft vorbeiströmen kann. Diese Grundfunktion kann durch die Form des Trichters verändert werden, um das Kraftstoff-Luft-Verhältnis an die Betriebsbedingungen Leerlauf, Teillast und Vollast anzupassen. Je größer die Steigung des Lufttrichters, desto weiter wird die Stauklappe bei gleichbleibender Luftmenge ausgelenkt.

Differenzdruckventile (Bild 11.7). Im Kraftstoffmengenteiler gibt es für jeden Zylinder ein Differenzdruckventil aus Ober- und Unterkammer und einer dazwischen liegenden Membran. Sie halten die Druckdifferenz zwischen Ober- und Unterkammerdruck stets konstant auf ca. 0,1 bar. Der höhere Druck in der Oberkammer entsteht dabei durch die in der Unterkammer eingebaute Schraubenfeder. Eine Änderung des Unterkammerdrucks bewirkt immer auch eine Änderung des Oberkammerdrucks.

Einspritzregelung (Bild 11.7). Der Kraftstoff fließt im Kraftstoffmengenteiler durch den Steuerschlitz in die Oberkammer des Differenzdruckventils und von dort zu den Einspritzdüsen. Die Einspritzmenge hängt einerseits von der Öffnung des Steuerschlitzes und andererseits von der Druckdifferenz zwischen Systemdruck und Oberkammerdruck ab.

In der Grundfunktion bestimmt die Stellung der Stauklappe direkt die Stellung des Steuerkolbens und damit die Größe des Steuerschlitzes. Je höher der Kolben durch die Stauklappe gedrückt wird, umso größer ist die Öffnung des Steuerschlitzes und dadurch die zu den Einspritzdüsen geförderte Kraftstoffmenge.

Die Gemischmenge, die durch diese Grundfunktion bereitgestellt wird, kann zur genaueren Gemischanpassung zusätzlich verändert werden. Dies geschieht mithilfe der Differenzdruckventile. Durch Änderung des Unterkammerdrucks ändern sich auch der Oberkammerdruck und die Druckdifferenz zwischen konstantem Systemdruck und Oberkammerdruck. Bei sinkendem Unterkammerdruck fließt somit mehr Kraftstoff über den Steuerschlitz in die Oberkammer und umgekehrt. Weiterhin wölbt sich die Membran zwischen Ober- und Unterkammer abhängig von den Druckverhältnissen und gibt eine mehr oder weniger große Öffnung zum Einspritzventil frei.

Elektronische Regelung der KE-Jetronic. Die Änderung des Unterkammerdrucks erfolgt durch einen elektrohydraulischen Drucksteller (Bild 11.7). Dazu verändert das Steuergerät über einen Elektromagneten die Position einer Prallplatte und damit den Kraftstoffzufluss in die Unterkammer der Differenzdruckventile. Bei geringerem Kraftstoffzufluss sinkt der Unterkammerdruck. Dadurch steigt die Druckdifferenz zwischen Systemdruck und Oberkammerdruck und gleichzeitig senkt sich die Membran ab, das Gemisch wird fetter. Umgekehrt erfolgt bei steigendem Unterkammerdruck eine Abmagerung.

Der elektrohydraulische Drucksteller ermöglicht eine λ -Regelung und damit den Betrieb eines geregelten Katalysators.

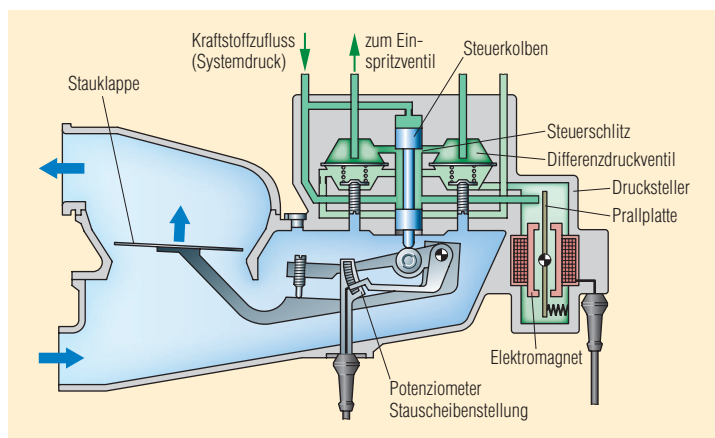


Bild 11.7 Einspritzregelung der KE-Jetronic.

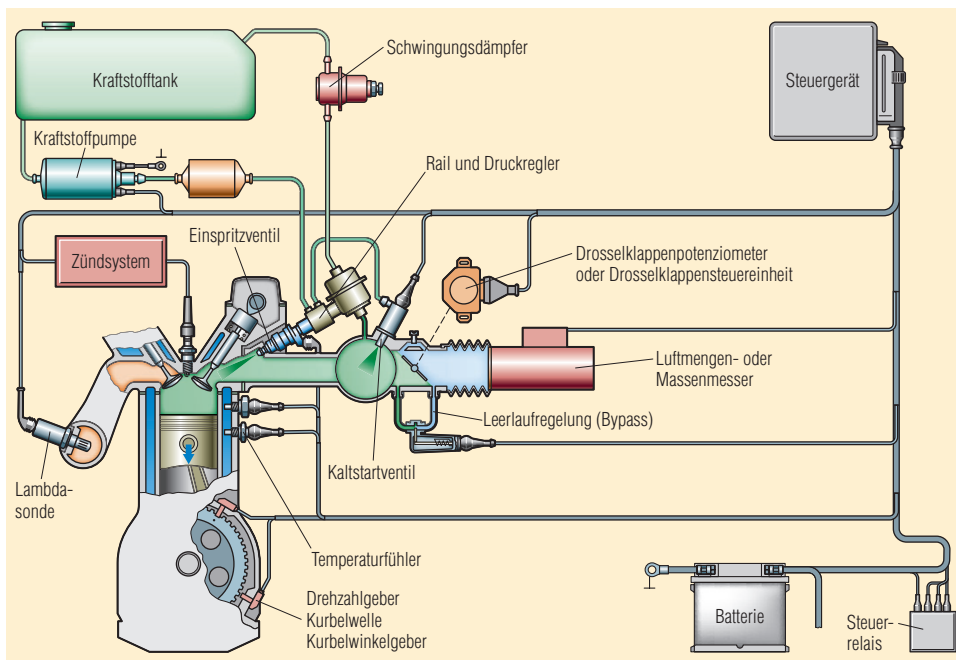


Bild 11.8 Übersicht L-Jetronic.

11.1.3 Intermittierende Benzineinspritzung: Multipoint- / L-Jetronic

Bei der intermittierenden Einspritzung wird die eingespritzte Kraftstoffmenge über die Öffnungszeit der Einspritzventile verändert. Die Einspritzventile können bankweise oder zylinderselektiv angesteuert sein.

Das Gesamtsystem besteht aus der Kraftstoffversorgung, den elektromagnetisch betätigten Einspritzventilen, dem Steuergerät und den Sensoren (Bild 11.8).

Grundfunktion. Der Fahrer verstellt die Drosselklappe (Lastwunsch), wodurch mehr oder weniger Luft angesaugt wird. Dies wird vom **Luftmengen- oder Luftmassenmesser** erfasst und an das Steuergerät gemeldet.

Das Steuergerät errechnet die benötigte Kraftstoffmenge und Einspritzzeit und steuert abhängig von der Motordrehzahl die Einspritzventile an. Diese Grundeinspritzdauer kann durch verschiedene Faktoren je nach Ausstattung des Systems mit Sensoren (z.B. Lambdasonde oder Motortempersensor) angepasst werden.

Für eine optimale Funktion müssen alle Sensor-signale verfügbar sein. Falls einige Signale ausfallen, kann das Motorsteuergerät Ersatzwerte bilden, damit das Fahrzeug im Notlaufprogramm noch die nächste Werkstatt erreichen kann.

Kraftstoffsystem (Bild 11.9). Eine elektrische Kraftstoffpumpe fördert das Benzin durch ein Filter bis zu einem Verteilerrohr. Das dort eingebaute Druckregelventil sorgt für eine konstante Druckdifferenz zwischen Kraftstoffdruck und Saugrohrdruck von 2,5 bar bis 3 bar (je nach Fahrzeugtyp). Dadurch wird die Menge des ins Saugrohr eingespritzten Kraftstoffs nur von der Öffnungszeit des Einspritzventils bestimmt. Der überschüssige Kraftstoff fließt über den Rücklauf zurück in den Kraftstoffbehälter.

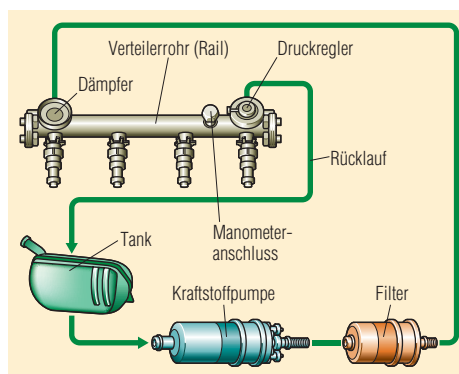


Bild 11.9 Kraftstoffsystem der L-Jetronic.

intermittierend = zeitweise aussetzend

Multipoint: Für jeden Zylinder gibt es ein eigenes Einspritzventil.

Bankweise Einspritzung: Die Einspritzung erfolgt bei allen Ventilen gleichzeitig für die gleiche Dauer.

Zylinderselektive Einspritzung: Das Steuergerät öffnet jedes Einspritzventil einzeln.

Luftmengen- oder Luftmassenmesser
→ S. 217, 218

Einspritzventile. Die Düsennadel wird elektromagnetisch um ca. 0,1 mm angehoben, wodurch die Einspritzung beginnt. Der kegelförmige Strahl trifft auf das Einlassventil und vermischt sich mit der Ansaugluft. Bei Ventilen mit Luftumfassung wird Luft um den Einspritzzapfen herumgespült (Bild 11.10). Dies führt zu einer besseren Vermischung mit der Luft und damit zu einer verbesserten Verbrennung und einer günstigeren Abgaszusammensetzung.

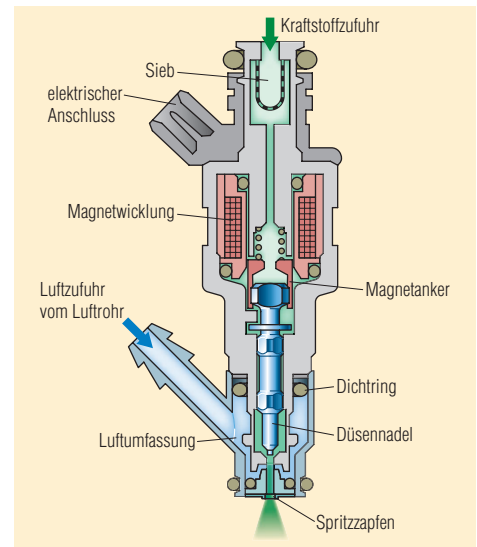


Bild 11.10 Einspritzventil mit Luftumfassung.

Singlepoint: Zentraleinspritzung

11.1.4 Intermittierende Benzineinspritzung: Singlepoint

Die Grundfunktion dieses Systems (Bild 11.11) entspricht der Multipointeinspritzung. Die gesamte Anlage besteht allerdings aus weniger Teilen, z. B. fehlt eine Luftmengen- oder Luftmassenmessung. Es gibt nur ein Einspritzventil, das sich vor der Drosselklappe befindet (Bild 11.12). Der Kraftstoff wird auf die Drosselklappe gespritzt und vermischt sich ab dort mit der angesaugten Luft. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird in alle Kanäle des Saugrohrs verteilt.

Drosselklappenansteller (Bild 11.11). Er setzt die Signale des Steuergerätes um und verstellt die Drosselklappe. Dadurch ist z. B. eine Leerlaufstabilisierung möglich. Die Stellung der Drosselklappe wird vom Drosselklappenpotenziometer erfasst (Lastsignal).

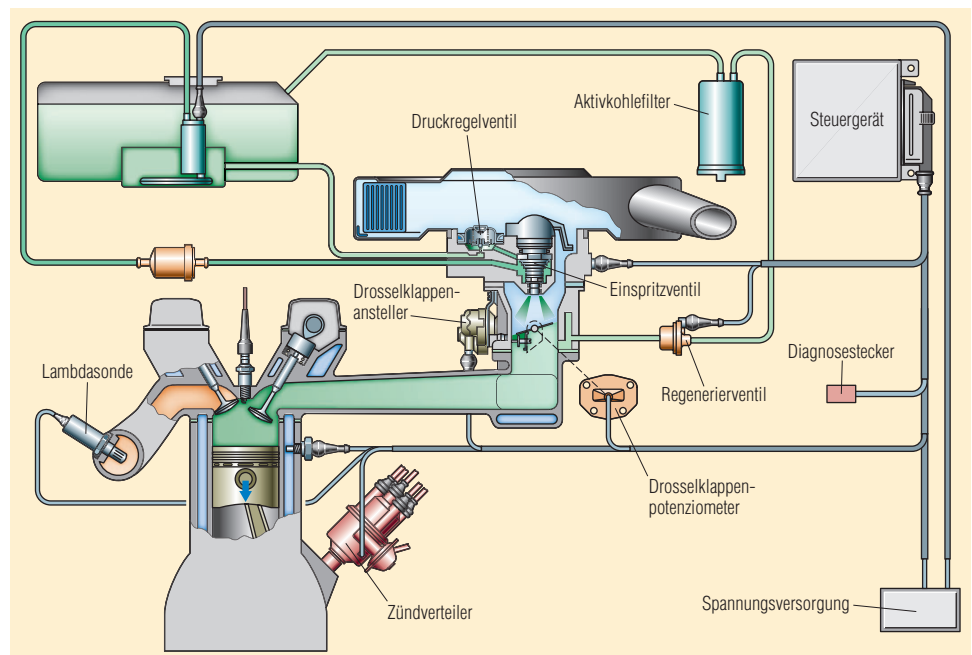


Bild 11.11 Übersicht System Singlepoint.

Die **Mengenregelung** erfolgt durch die Veränderung der Ventilöffnungszeit. Diese richtet sich nach der Gaspedalstellung und der Motordrehzahl (α/n -Regelung). Zusätzliche Hilfsgrößen sind die Motortemperatur und die Ansauglufttemperatur sowie das λ -Sondensignal.

Kraftstoffsystem. Der Kraftstoff wird über ein Filter zum Einspritzventil gefördert. Ein Druckregelventil hält einen konstanten Druck von ca. 1 bar. Zu viel geförderter Kraftstoff fließt über den Rücklauf in den Kraftstoffbehälter zurück.

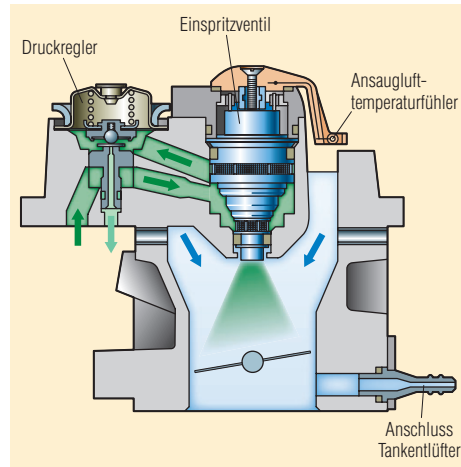


Bild 11.12 Einspritzeinheit der Singlepoint-Einspritzung.

α/n -Regelung: Nutzung des Drosselklappenwinkels und der Motordrehzahl für die Motorsteuerung.

11.1.5 Intermittierende Benzineinspritzung mit integrierter Zündsteuerung (Motronic)

Die Motronic besteht aus einer Einspritzanlage nach dem Multi- oder Singlepointprinzip (Bild 11.13, S. 234). Zusätzlich berechnet das Motronic-Steuergerät den Zündzeitpunkt und steuert die Zündspulen an, um den Verbrennungsvorgang einzuleiten. Die Systemintegration in einem einzelnen Steuergerät ermöglicht die gemeinsame Nutzung von Sensorsignalen durch die beiden Teilsysteme. Dies verringert den baulichen Aufwand und erhöht die Ausfallsicherheit.

Funktionsprinzip. Der Fahrer übermittelt dem Steuergerät über die Gaspedalstellung seinen Lastwunsch, er fordert demnach ein bestimmtes Motormoment an. Das Steuergerät versucht, das angeforderte Motormoment zur Verfügung zu stellen, indem es:

- die Zylinderfüllung mit Luft verändert,
- die Masse des eingespritzten Kraftstoffs verändert,
- den Zündwinkel verändert.

Elektronische Drosselklappensteuerung. Damit das Steuergerät die Zylinderfüllung aktiv beeinflussen kann, muss das Gaspedal mechanisch von der Drosselklappe entkoppelt werden (E-Gas, Bild 11.14). Die Gaspedalstellung wird über zwei gegenläufige Potenziometer erfasst und an das Steuergerät übermittelt. In der Drosselklappensteuereinheit übernimmt ein Stellmotor die Regelfunktion, indem er den gewünschten Öffnungswinkel herstellt. Gleichzeitig übermittelt

die Drosselklappensteuereinheit mithilfe von zwei Sensoren den tatsächlichen Öffnungswinkel der Drosselklappe zurück an das Steuergerät.

Die Verwendung von zwei Sensoren ermöglicht die ständige Eigendiagnose des Systems und erhöht damit die Betriebssicherheit (Redundanz).

Motronic: Integration von Einspritz- und Zündregelung in einem System.

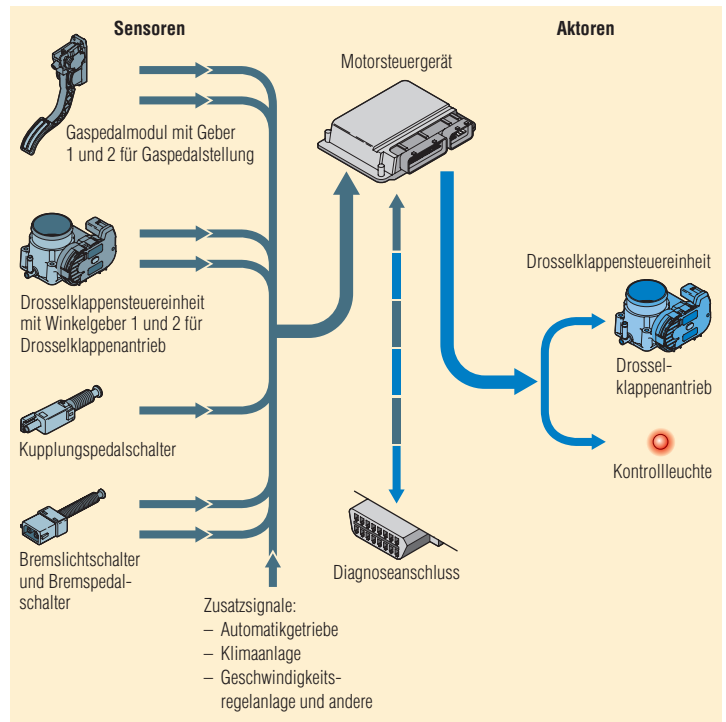


Bild 11.14 Drosselklappensteuereinheit mit E-Gas.

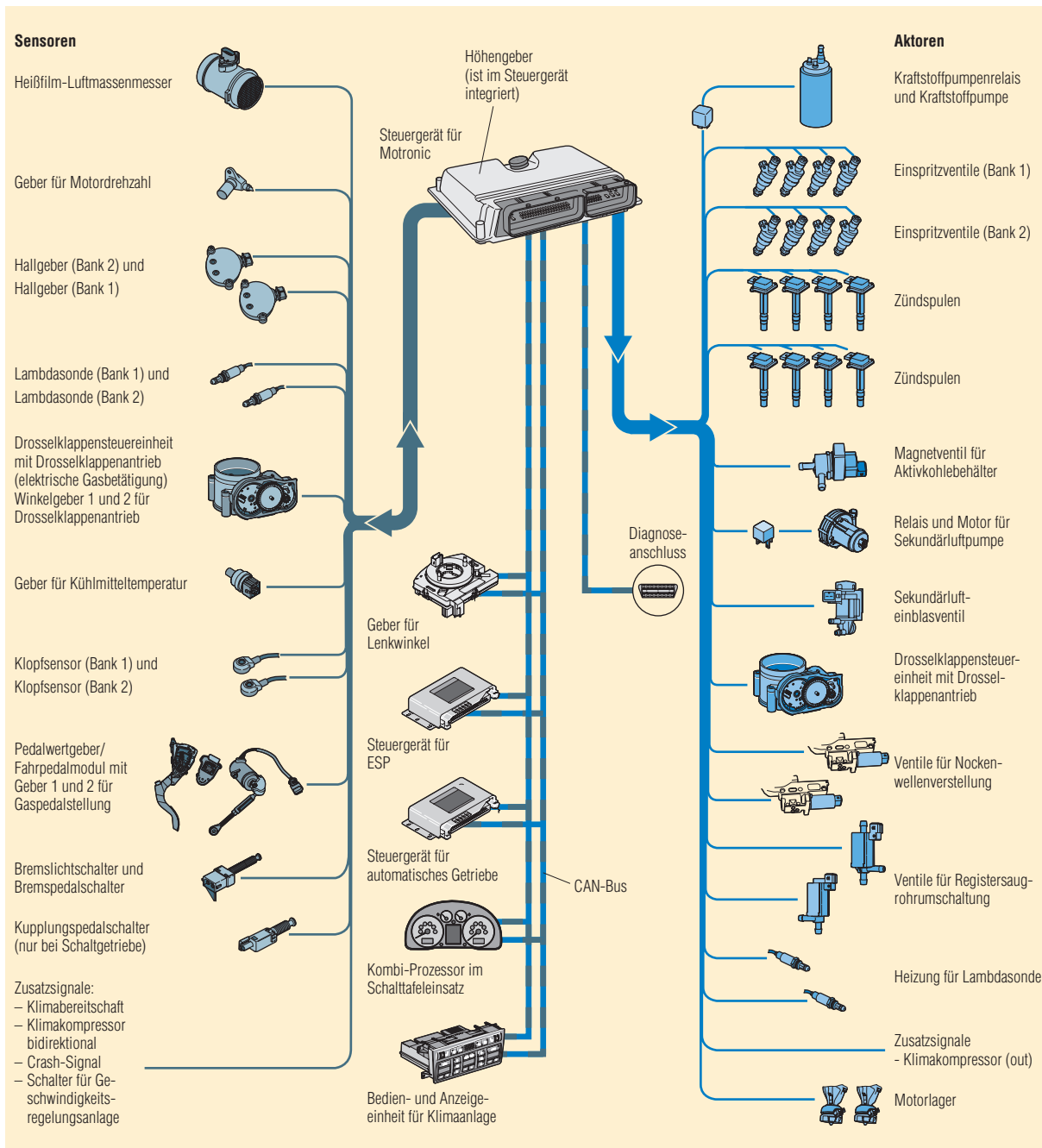


Bild 11.13 Systemübersicht Motronic.

λ -Regelung → S. 292
 Klopfregelung → S. 275
 Kraftstoffverdampfungssystem → S. 214
 Abgasrückführung → S. 225

Zusatzfunktionen. Der Wunsch nach Reduzierung der Abgasemission bei gleichzeitiger Senkung des Kraftstoffverbrauchs erfordert den Einsatz weiterer Steuerungs- und Regelungsfunktionen, die in der Motronic integriert sein können:

- Leerlaufdrehzahlregelung,
- Lambdaregelung,
- Klopfregelung,
- Steuerung des Kraftstoffverdampfungssystems,
- Abgasrückführung,
- Sekundärlufteinblasung,
- Geschwindigkeitsregelanlage,
- Steuerung des Turboladers,
- Steuerung der Schaltsaugrohre,
- Steuerung der Nockenwellenverstellung.

Datenverknüpfung mit anderen Systemen. Zur Erhöhung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit nehmen verschiedene Teilsysteme des Kraftfahrzeugs direkten Einfluss auf die Motorsteuerung. Diese Systeme tauschen wichtige Daten über den CAN-Bus aus. Dadurch verringert sich die Anzahl der Sensoren und der Ausnutzungsgrad der Teilsysteme wird erhöht. Beispiele dafür sind:

- Änderung des Motormoments bei Schaltvorgängen des Automatikgetriebes,
- Abschalten der Klimaanlage bei hoher Momentananforderung des Fahrers (Beschleunigung),
- Rücknahme des Motormoments bei zu großem Radschlupf sowohl bei Antrieb als auch bei Schub,
- Rücknahme des Motormoments bei blockierenden Rädern (ABS),
- Rücknahme des Motormoments zur Fahrdynamikregelung (ESP).

11.1.6 Benzindirekteinspritzung

Bei der Benzindirekteinspritzung wird der Kraftstoff direkt in den Brennraum eingespritzt und erst dort mit der angesaugten Luft gemischt. Das Gesamtsystem besteht aus folgenden Baugruppen (Bild 11.15):

- Hochdruckpumpe,
- Drosselklappe für Homogenbetrieb,
- Verteilerrohr mit Einspritzventilen,
- speziell geformte Kolben,
- 3-Wege-Katalysator,
- NO_x -Katalysator (Speicherkatalysator),
- Steuergerät.

Bei der Benzindirekteinspritzung gibt es zwei Betriebsarten (Bild 11.16):

- Homogenbetrieb und
- Magerbetrieb.

Der Übergang vom Mager- auf den Homogenbetrieb erfolgt abhängig von Motordrehzahl und Fahrpedalstellung.

Homogenbetrieb. Die Luft wird angesaugt und verdichtet wie beim herkömmlichen Ottomotor. Der Kraftstoff wird während des gesamten Ansaugtaktes direkt in den Brennraum eingespritzt, wodurch im Zylinder ein gleichmäßig verteiltes Gemisch aus eingespritztem Kraftstoff und angesaugter Luft entsteht. Die Mengenbestimmung der Ansaugluft erfolgt über eine elektronische Drosselklappe (E-Gas). Die Ver-

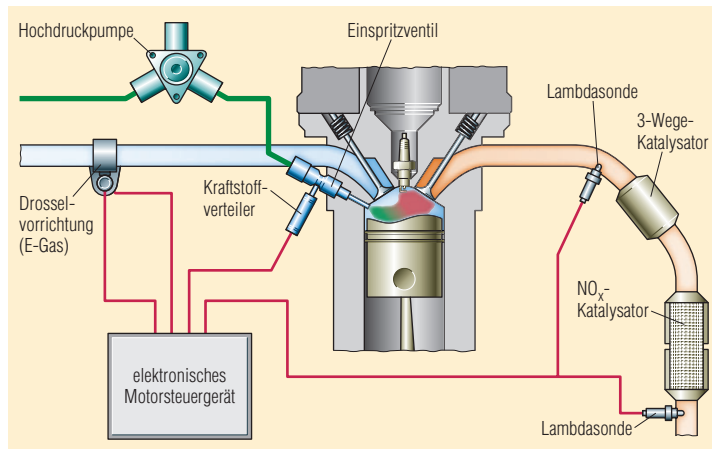


Bild 11.15 Überblick Benzindirekteinspritzung.

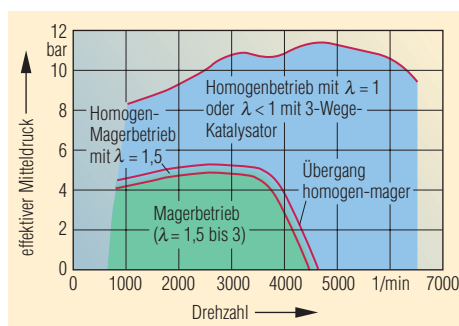


Bild 11.16 Betriebszustände bei der Benzindirekteinspritzung.

brennung findet im gesamten Brennraum statt. Diese Betriebsart wird bei hohen Drehzahlen und großem Leistungsbedarf benutzt.

Magerbetrieb. Im Magerbetrieb ist die Drosselklappe weitest gehend geöffnet, sodass die Luft fast ungedrosselt in den Brennraum strömen kann. Dadurch wird die Ladungswechselarbeit und damit der Kraftstoffverbrauch reduziert. Die Einspritzung erfolgt erst kurz vor dem Zündzeitpunkt direkt in die verdichtete Luft. Die Gemischzusammensetzung ergibt sich aus der eingespritzten Kraftstoffmenge, wodurch auch das Motormoment angepasst wird (Bild 11.17, S. 236).

Auf den gesamten Brennraum bezogen wird im Magerbetrieb der Motor mit λ -Werten bis zu 3 betrieben. Damit trotz dieses sehr mageren Kraftstoff-Luft-Gemischs eine Verbrennung stattfinden kann, wird im Bereich um die Zündkerze ein zündfähiges Gemisch erzeugt, während eine Schicht, die diesen Bereich umgibt, im Idealfall nicht an der Verbrennung teilnimmt und als isolierende Hülle wirkt.

CAN-Bus → S. 535

E-Gas → S. 233

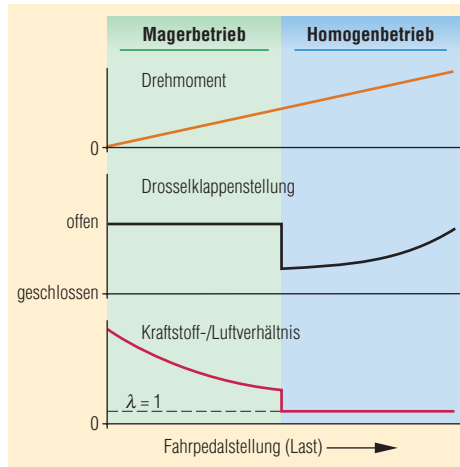
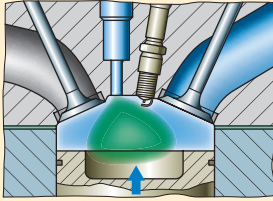
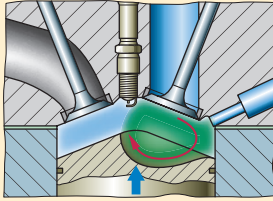
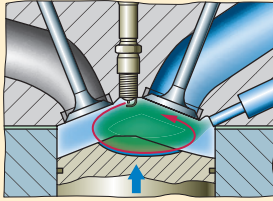


Bild 11.17 Umschaltung von Mager- auf Homogenbetrieb.

Der Magerbetrieb erfordert wegen des Einspritzzeitpunkts eine besondere Gestaltung des Brennraums und der Ansaugwege, denn für die Mischung mit der Luft bleibt nur eine sehr kurze Zeit, bis die Zündkerze die Verbrennung einleitet. Entscheidend ist dabei, wie das zündfähige Gemisch an die Zündkerze herangeführt wird (Tabelle 11.3).

Kraftstoffsystem. Der Kraftstoff gelangt vom Kraftstofftank mithilfe einer elektrischen Kraftstoffpumpe durch einen Feinfilter zur Hochdruckpumpe. Diese Pumpe ist an der Stirnseite der Nockenwelle angebaut und liefert einen Druck von ca. 50 bar bis 100 bar (je nach Hersteller). Der Kraftstoff wird über ein Verteilerrohr zu den elektromagnetisch betätigten Einspritzventilen geführt, die direkt im Verdichtungsraum montiert sind. Der Kraftstoffdruck im Verteilerrohr wird mit einem Drucksensor gemessen und über ein Drucksteuerventil eingestellt, indem der Kraftstoff vom Verteilerrohr zum Niederdruckteil des Systems gefördert wird.

strahlgeführt	wandgeführt	luftgeführt
 <ul style="list-style-type: none"> • Kraftstoff wird in unmittelbarer Umgebung der Zündkerze eingespritzt • sehr schnelle Gemischbildung mit guter Zündwirkung möglich • keine Verluste durch Kondensation • geringe Änderungen im Strahlbild führen zu Fehlfunktionen • hohe Wärmewechselbelastung der Zündkerze • derzeit praktisch nicht nutzbar 	 <ul style="list-style-type: none"> • Gemischbildung erfolgt am Kolbenboden und/oder an der Zylinderwand • Kraftstoff verdampft am heißen Kolbenboden und wird als Gemisch der Zündkerze zugeführt • direktes Ansprühen des Kolbens kann zu Kondensation oder Ablagerungen am Kolbenboden führen 	 <ul style="list-style-type: none"> • Luft wird durch eine spezielle Strömungsführung so eingeleitet, dass der Kraftstoff sich mit der Luft mischt ohne sich an einer Brennraumwand anzulagern • eine zündfähige Schichtladung bildet sich an der Zündkerze, die Einspritzdüse ist so angebracht, dass die Zündkerze nicht direkt angespritzt wird • geringer Verschleiß der Kerze
Tabelle 11.3		Brennverfahren Benzindirekteinspritzung.

Luftsystem. Die Luftführung ist bei allen Systemen von großer Bedeutung. So werden häufig Schaltsaugrohre eingesetzt. Zusätzlich kann die Luft durch Öffnen und Schließen bestimmter Teile des Ansaugweges im Magerbetrieb anders geführt werden als im Homogenbetrieb.

Abgassystem. Der hohe Luftüberschuss im Magerbetrieb hat eine erhöhte NO_x -Emission zur Folge, die nicht den Abgasvorschriften entspricht. Daher wird neben dem motornahen 3-Wege-Katalysator ein zusätzlicher NO_x -Speicherkatalysator eingebaut (Bild 11.18). Im Magerbetrieb werden die NO_x -Emissionen im Speicherkatalysator zwischengespeichert. Die Speicherkapazität ist jedoch begrenzt. Ein hinter dem Speicherkatalysator angebrachter NO_x -Sensor erfasst dessen Sättigung und meldet sie dem Steuergerät. Dieses leitet die Regeneration ein. Dazu wird alle 60 bis 90 Sekunden für ca. 2 Sekunden in den Homogenbetrieb geschaltet. Durch die entstehende Anfeuchtung kommt es zu einer Temperaturerhöhung und die Stickoxide werden in unschädlichen Stickstoff umgewandelt.

Um das Problem der hohen NO_x -Emission zu umgehen, werden moderne Fahrzeuge häufig nur noch im Homogenbetrieb gefahren.

Der Schwefelgehalt im Kraftstoff ist ein Problem für die Funktion des Speicherkatalysators. Da der Schwefel ebenfalls gespeichert wird, die gebildeten Sulfate aber chemisch stabiler sind und daher bei der Stickoxidregeneration nicht zerfallen, wird die Sättigung des Speicherkatalysators in immer kürzeren Abständen erreicht. Sobald ein festgelegter Wert überschritten wird, kommt es zu einer Schwefelregeneration. Dazu wird durch geeignete Maßnahmen (z. B. längeres Umschalten in den Homogenbetrieb, Zündzeitpunktverstellung, Doppeleinspritzung in Kompressions- und Arbeitstakt im Magerbetrieb) die Betriebstemperatur des Katalysators auf über 650°C erhöht. Der gespeicherte Schwefel wird zu Schwefeldioxid verbrannt.

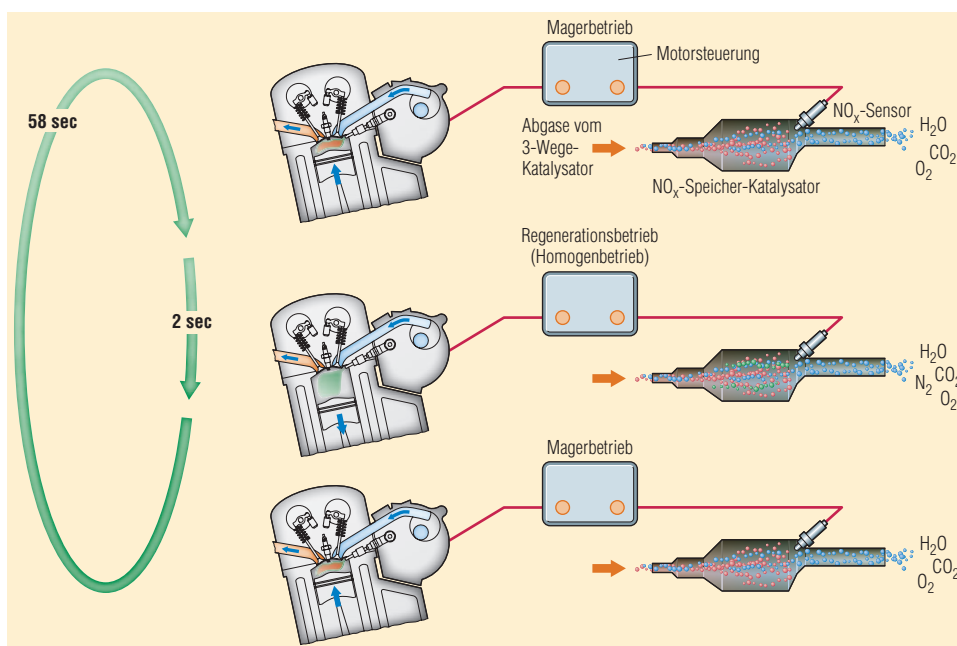


Bild 11.18 Abgasanlage mit NO_x -Speicherkatalysator und NO_x -Regenerierung.

11.1.7 Werkstattpraxis

Problem	Fehler	Beseitigung
Vergaser		
Motor hat keine Leistung, unruhiger Motorlauf, Motor stottert beim Beschleunigen oder stirbt ab	verstopfte Düsen, undichte Drosselklappenwelle, Beschleunigungspumpe defekt	reinigen, abdichten, Beschleunigungspumpeinsatz ersetzen
KE-Jetronic		
unregelmäßiger Leerlauf, Übergangsprobleme/Teillast-Ruckeln	Ölablagerungen auf der Stauscheibe, undichte Einspritzdüse luftseitig	reinigen und anschließend Grundeinstellung, Dichtringe erneuern
L-Jetronic		
unregelmäßiger Leerlauf	Verkockung der Luftklappe, Potenziometer der Luftklappe nicht in der Leerlaufposition	reinigen der Klappe, Potenziometer neu justieren
Zentraleinspritzung		
Leerlaufprobleme, Leistungsmangel, Übergangsprobleme	Verunreinigung der Steckverbindungen am Einspritzelement, Gummiflansch der Einspritzeinheit undicht	reinigen, erneuern
Tabelle 11.4	Fehlerbehebung bei Gemischaufbereitungssystemen für Benzinmotoren.	

Arbeitsaufträge

1. Bei einer Abgasuntersuchung zeigt das Abgasmessgerät einen λ -Wert von 1,18 an. Sie sollen feststellen, ob das Gemisch fett oder mager ist. – Begründen Sie Ihre Antwort.
2. Warum kann bei einem Vergasermotor das Gemisch sehr fett sein, obwohl die Startdrehzahl sehr gering ist?
3. Warum läuft ein Motor mit einer KE-Jetronic auch ohne Steuergerät? – Welche Funktion des Systems fällt dann aus?
4. Bei einem L-Jetronic-System ohne elektrische Drosselklappe entspricht die Leerlaufdrehzahl nicht den Sollwerten. Überlegen Sie, ob eine Stell-schraube existiert und welche weiteren Fehlerquellen infrage kommen.
5. Welche Daten braucht das Steuergerät unbedingt, damit ein Motor mit intermittierender Einspritzung noch laufen kann?
6. Erklären Sie die beiden möglichen Betriebszustände eines Systems mit Benzindirekteinspritzung.
7. Wie kann bei einem System mit Benzindirekteinspritzung das Problem der zu hohen NO_x -Werte gelöst werden?

11.2 Dieselmotoren

Dieselmotoren sind sehr vielseitig einsetzbar. Neben Pkw, Nkw und Baufahrzeugen werden sie auch in Schiffen und zum stationären Antrieb verwendet (Tabelle 11.5). Für all diese Anwendungsbereiche wurden spezielle Lösungen entwickelt.

Beim Dieselmotor wird reine Luft angesaugt und durch die Verdichtung auf eine Temperatur von ca. 800 °C erwärmt. Kurz vor OT des Verdichtungsaktes wird der Dieselmotorkraftstoff in die heiße Luft gespritzt, die Verbrennung beginnt (Bild 11.19). Die Einspritzung hat den gleichen Effekt wie ein Zündfunke beim Ottomotor. Für den Verbrennungsvorgang ergeben sich jedoch einige Besonderheiten.

Mit Einspritzen des Kraftstoffs in den Brennraum beginnt die innere Gemischbildung. Damit der Kraftstoff verbrennen kann, muss er in der heißen Luft in sehr kurzer Zeit verdampfen. Dazu ist es notwendig, den Dieselmotorkraftstoff möglichst fein zu zerstäuben, um seine Oberfläche zu vergrößern und ihn gut mit der Luft zu vermischen. Denn viele kleine Kraftstoffteilchen bilden eine größere Oberfläche, die mit der heißen Luft in Berührung kommt. Dies erreicht man durch hohe Einspritzdrücke und kleinste Düsenöffnungen.

OT, UT → S. 176

Zylinderzahl	Drehzahlbereich	Leistungsbereich	Arbeitsprinzip
1 → 16	50 min ⁻¹ → 5000 min ⁻¹	1 kW → 10 000 kW	2-Takt-Prinzip 4-Takt-Prinzip
Pumpenantrieb → Schiffsantrieb	Schiffsdiesel → Pkw	Kleinmotoren → Schiffsdiesel	2-Takt: Schiffsdiesel, Nkw 4-Takt: Pkw, Nkw, Lokomotiven, ...
Tabelle 11.5		Einsatzbereiche von Dieselmotoren.	

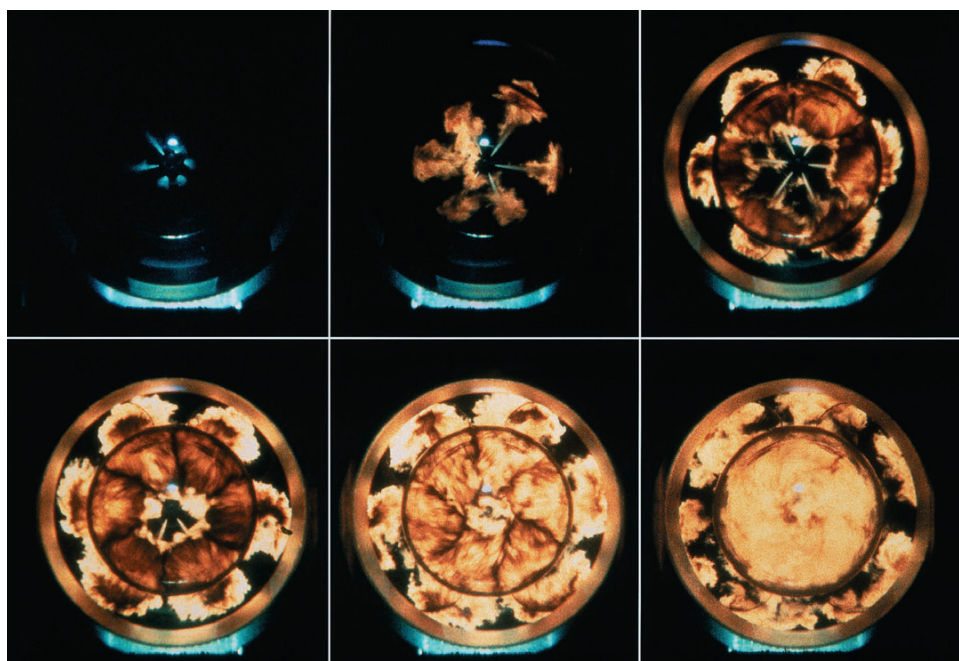


Bild 11.19 Phasen der Verbrennung beim Dieselmotor.

Cetanzahl → S. 208

Schusskanal:

Tangentiale Überleitung der Luft zwischen Wirbelkammer und Zylinderraum.

Zündverzug:

Zeit zwischen Einspritzbeginn und Zündung des Kraftstoffes.

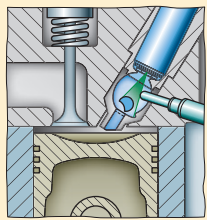


Bild 11.20
Vorkammerverfahren.

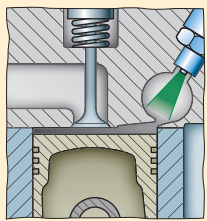


Bild 11.21
Wirbelkammerverfahren.

Zapfendüse
→ S. 242

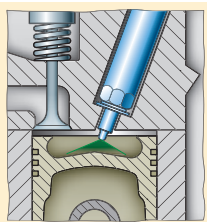


Bild 11.22
Direkteinspritzung.

Der verdampfende Kraftstoff entzieht der Luft zwar Wärme, dies wird aber durch die zunehmende Verdichtung kompensiert. Nach dem Verdampfen vermischt sich der Kraftstoff mit der heißen Luft, wird durch die weiter zunehmende Verdichtung auf Zündtemperatur gebracht und entzündet sich schließlich wegen seiner hohen Zündwilligkeit (**Cetanzahl**) und seiner niedrigen Zündtemperatur selbst.

Im Gegensatz zum Ottomotor beginnt die Verbrennung nicht nur an einer Stelle, sondern weitestgehend im kompletten Brennraum gleichzeitig (Bild 11.19). Dadurch entsteht ein großer Druckanstieg, der als hartes Verbrennungsgeräusch wahrgenommen wird.

Der Zeitraum zwischen Einspritzbeginn und Entzündung des Kraftstoffes heißt Zündverzug. Ein großer Zündverzug deutet darauf hin, dass der Kraftstoff nicht gut mit der Luft vermischt wurde, sodass es zu schlagartig verbrennenden Kraftstoffanhäufungen kommt (als so genanntes „Nageln“ zu hören). Weitere Gründe für einen großen Zündverzug sind schlechte Kraftstoffqualität (zu geringe Cetanzahl), eine zu geringe Motortemperatur (Kaltstart) oder zu geringe Verdichtung (Motorschäden).

11.2.1 Gemischbildungsverfahren

Dieselmotoren für Pkw müssen hohe Anforderungen erfüllen:

- geringe Motorgeräusche,
- hohe Beschleunigungsfähigkeit,
- großer Drehzahlbereich (bis ca. $5\,000\text{ min}^{-1}$),
- geringer Verbrauch,
- saubere Verbrennung.

Damit der Dieselmotor im Kraftfahrzeug diese Anforderungen erfüllen kann, wurden verschiedene Gemischbildungsverfahren entwickelt. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen den Nebenbrennraumverfahren (Vorkammer- und Wirbelkammerverfahren) und der direkten Einspritzung.

Vorkammerverfahren. Um den harten Verbrennungsablauf zu mildern wird der Brennraum geteilt (Bild 11.20). Die verdichtete Luft wird zum größten Teil in die Vorkammer gedrückt. Dort befinden sich die Einspritzdüse und ein Glühstift. Bei kaltem Motor wird zusätzlich der Glühstift

elektrisch erhitzt (Vorglühen) und erwärmt die verdichtete Luft auf Zündtemperatur. Der Strahl aus fein zerstäubtem Dieselmotorkraftstoff entzündet sich beim Durchströmen der heißen Luft und leitet die Verbrennung ein. Das Gemisch dehnt sich durch die Verbrennung aus und strömt durch kleine Bohrungen aus der Vorkammer in den Zylinderraum. Es entsteht eine zweistufige, weichere Verbrennung, die Geräuscentwicklung ist geringer.

Die Glühstifte werden ca. 1 min nach dem Kaltstart abgeschaltet, damit eine störungsfreie Verbrennung im aufgewärmten Motor stattfinden kann.

Wirbelkammerverfahren. Wie beim Vorkammerverfahren gibt es einen zweigeteilten Brennraum (Bild 11.21). Die Verbindung zwischen dem Zylinderraum und der Wirbelkammer besteht jedoch aus einem Schusskanal, der die Luft beim Verdichten tangential in die Wirbelkammer leitet. Durch diese spezielle Führung wird die Luft stark verwirbelt. In diesen Luftwirbel wird der Dieselmotorkraftstoff eingespritzt. Dabei vermischt sich der Kraftstoff gut mit der heißen Luft, entzündet sich und wird in den Hauptbrennraum gedrückt. Auch hier ergibt sich eine weichere Verbrennung mit niedrigeren Verbrennungsgeräuschen. Das Wirbelkammerverfahren hat gegenüber dem Vorkammerverfahren folgende Vorteile:

- geringere Strömungsverluste,
- weniger schädliche Abgase,
- besserer Wirkungsgrad,
- geringerer Kraftstoffverbrauch.

Nachteilig wirkt sich bei beiden Nebenbrennraumverfahren die vergrößerte Brennraumoberfläche aus. Dies führt zu einem größeren Wärmeverlust und damit zu einem geringeren Wirkungsgrad und erhöhtem Kraftstoffverbrauch.

Bei den Nebenbrennraumverfahren werden zur Kraftstoffeinspritzung **Zapfendüsen** verwendet.

Direkteinspritzung. Eine besonders geformte Mulde im Kolbenboden (Omega-Kolben) übernimmt die Funktion des Verdichtungsraumes (Bild 11.22). Der Kraftstoff wird direkt in diese Mulde gespritzt. Die Ansaugluft wird über einen besonders geformten Drallkanal so geleitet, dass sie auch während des Verdichtungsakts in Bewegung bleibt und sich besser mit dem eingespritzten Kraftstoff vermischt.

Durch den Wegfall des Nebenbrennraums ist die Oberfläche des Verdichtungsraumes kleiner und es entstehen im Vergleich zu den Nebenbrennraumverfahren geringere Verluste durch Abkühlung. Der Wirkungsgrad ist größer und der Kraftstoffverbrauch geringer. Wegen der geringeren Wärmeverluste ist außerdem das Kaltstartverhalten besser.

Nachteil der Direkteinspritzung ist die hohe Geräuschentwicklung. Um die Geräusche zu dämpfen, wurden Einspritzverfahren entwickelt, die eine geringe Menge Kraftstoff voreinspritzen (Piloteinspritzung) bevor die Hauptmenge nachgeliefert wird. Durch die Piloteinspritzung erhält man den niedrigen Geräuschpegel der Verfahren mit Nebenbrennraum, verbunden mit den Verbrauchsvorteilen des Direkteinspritzers.

11.2.2 Glühanlage beim Dieselmotor

Dieselmotoren besitzen eine Glühanlage, die bei kaltem Motor ein gutes Startverhalten mit geringeren Motorgeräuschen und reduziertem Schadstoffausstoß ermöglicht. Dazu verwendet man für jeden Zylinder Glühstiftkerzen (Bild 11.23), die über ein eigenes Glühzeitsteuergerät bzw. über ein Lastrelais und das Steuergerät der elektronischen Einspritzsteuerung geschaltet werden.

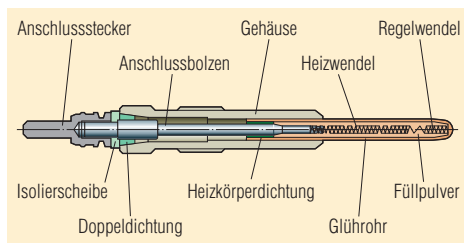


Bild 11.23 Glühstiftkerze.

Die Glühstiftkerze besteht aus in Reihe geschalteten Heiz- und Regelwendeln, die in ein mit Isolierpulver gefülltes Glührohr gebettet sind. Das Glührohr ist in einem Kerzengehäuse gasdicht eingepresst. Die Heizwendel, die masseseitig am Glührohr angeschweißt ist, hat einen nahezu gleich bleibenden, von der Temperatur unabhängigen, elektrischen Widerstand. Der Widerstand der Regelwendel dagegen nimmt mit steigender Temperatur zu (PTC). Somit fließt in kaltem Zustand ein großer Strom und die beiden Wen-

deln erhitzen sich sehr rasch. Mit zunehmender Erwärmung der Regelwendel steigt auch deren Widerstand, dadurch verringert sich die Stromstärke und die Temperatur nähert sich dem so genannten Beharrungszustand, d. h. sie bleibt gleich.

Die Schaltung der Glühzeitsteuerung über ein Glühzeitsteuergerät zeigt Bild 11.24. Nach Einschalten des Glüh-/Startschalters werden die Glühstiftkerzen mit Strom versorgt und die Anzeigelampe leuchtet, bis nach kurzer Zeit (max. 4 s) ausreichend vorgeglüht wurde und der Motor gestartet werden kann. Nach dem Starten wird noch einige Zeit (max. 180 s) nachgeglüht und anschließend die Stromversorgung der Glühstiftkerzen ausgeschaltet. Durch das Nachglühen werden Schadstoff- und Geräuschemissionen während der Warmlaufphase verringert.

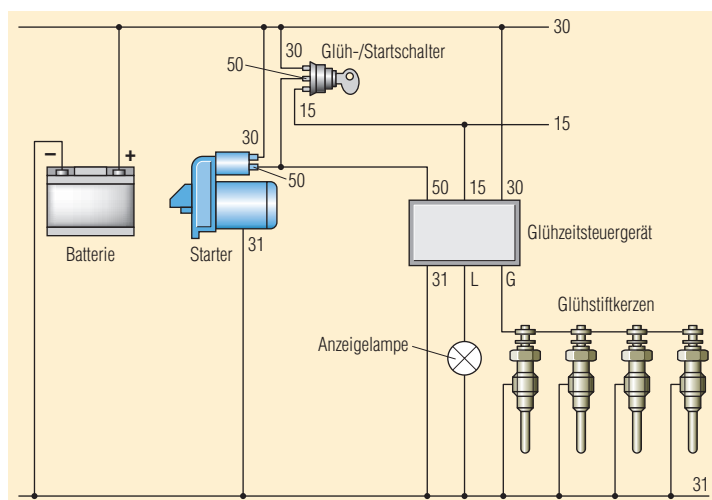


Bild 11.24 Schaltung einer Glühzeitsteuerung.

Die Glühzeitsteuerung ist meist eigendiagnosefähig. Eventuelle Fehler werden dem Fahrer über die Kontrolllampe angezeigt.

Bei Nutzfahrzeugen werden als Starthilfsanlagen auch Flammkerzen oder elektrische Heizflanschanlagen zur Erwärmung der Ansaugluft im Sammelrohr verwendet. Diese werden ebenfalls über ein Glühzeitsteuergerät geschaltet.

Bei der Flammkerze (Bild 11.25) wird der Kraftstoff durch einen Glühstift entzündet. Dieser wird der Flammkerze über ein Magnetventil dosiert zugeführt. Bei der Heizflanschanlage wird das Sammelrohr durch darin eingebaute Heizdrähte erwärmt.

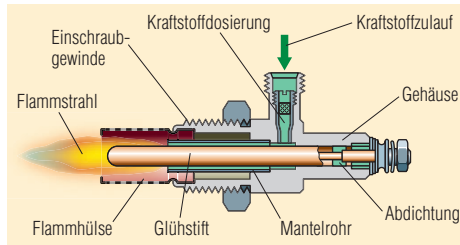


Bild 11.25 Flammkerze.

11.2.3 Einspritzdüsen

Alle Einspritzdüsen werden durch den Einspritzdruck geöffnet (Bild 11.26). Ein Kolben (Düsennadel) wird von einer starken Feder nach unten gedrückt und dichtet die Düsendruckkammer gegen den Verdichtungsraum ab. Der Kraftstoff strömt mit Einspritzdruck über die Zulaufbohrung bis zum Kegelsitz. Durch die kegelförmige Druckschulter der Düsennadel ergibt sich eine vergrößerte wirksame Fläche. Es entsteht eine Kraft, die den Kolben gegen die Federkraft anhebt. Der Kraftstoff kann über den entstandenen Öffnungsspalt in den Verdichtungsraum strömen, die Verbrennung wird eingeleitet.

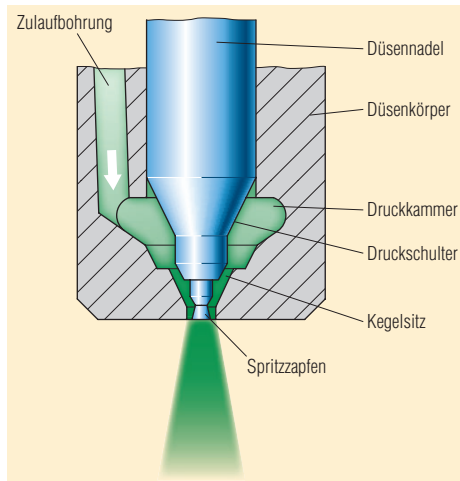


Bild 11.26 Öffnungsvorgang einer Einspritzdüse.

Zapfendüsen. Bei Motoren mit Nebenbrennraumverfahren werden Zapfendüsen verwendet. Der Kraftstoffdruck hebt die federbelastete Düsennadel ab einem Öffnungsdruck von ca. 100 bar bis 200 bar an und der Kraftstoff strömt an Dichtsitz und Spritzzapfen vorbei in die Vor- oder Wirbelkammer. Dabei entsteht ein kegelförmiger Strahl mit sehr feinen Kraftstoff-Tröpfchen, die eine weiche Verbrennung ermöglichen (Bild 11.26).

Das System Zapfendüse (Bild 11.27) besteht aus dem Düsenkörper und der Düsennadel. Diese Baugruppe ist in einem Düsenhalter montiert, der folgende Bauteile enthält:

- Kraftstoffzulauf und -rücklauf,
- Montageeinheit,
- Feder zum Schließen der Düsennadel.

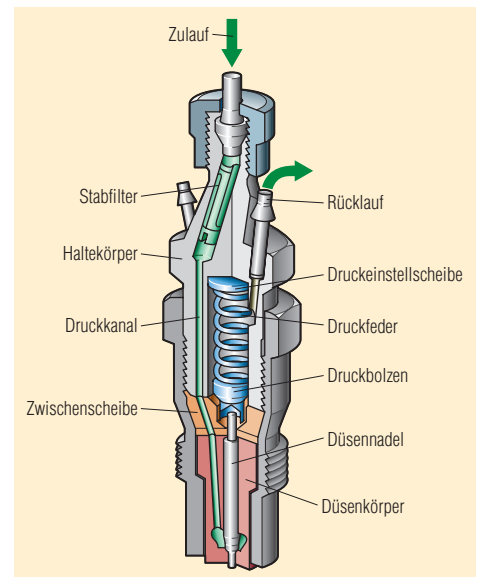


Bild 11.27 Zapfendüse mit Halter.

Lochdüsen. Direkt einspritzende Dieselmotoren haben meist Lochdüsen (Bild 11.28). Öffnung und Einspritzung erfolgen im Prinzip wie bei der Zapfendüse. Die Düsennadel und der Düsenkörper sind erheblich länger, weil die Düse in den Verdichtungsraum hineinragen muss. Die kegelförmige Druckschulter befindet sich in der Mitte, die Dichtkante am unteren Ende der Düsennadel. In der Spitze des Düsenkörpers sind mehrere mikrofeine Bohrungen von ca. 0,02 mm in unterschiedlichen Winkeln angebracht. Wenn der Kraftstoff durch diese Mikro-Bohrungen gepresst wird, entstehen mehrere Strahlen feinsten Tröpfchen, die sich an der heißen Luft entzünden.

Einspritzdüsen mit Nadelbewegungsmelder.

Diese Lochdüsenbauart wird bei Dieselmotoren mit elektronischer Regelung verwendet. Im Düsenhalter sind zwei Federn mit unterschiedlicher Federkraft eingebaut (Bild 11.29). Zunächst drückt der Kraftstoff die Düsenadel bis zum ersten Anschlag und bewirkt dadurch eine Voreinspritzung. Steigt der Einspritzdruck weiter, wirkt die Düsenadel auch gegen die zweite Feder und ermöglicht die Hauptförderung. Durch die Voreinspritzung wird der Brennraum konditioniert, wodurch der Zündverzögerung der Haupteinspritzung verringert wird. Es entsteht ein weicherer Verbrennungsablauf, die Geräusch- und Schadstoffemissionen des Motors werden verringert.

Im Düsenhalter ist zusätzlich ein Nadelbewegungssensor eingebaut. Der Induktionsgeber meldet dem Steuergerät, wann das Einspritzventil tatsächlich öffnet. Daraus wird der richtige Einspritzzeitpunkt ermittelt.

Werkstatthinweise.

- Bei allen Arbeiten an Einspritzdüsen ist auf extreme Sauberkeit zu achten.
- Die Düsenadel an der geläpften Fläche nicht mit Fingern berühren.
- Düsenadel und Düsenkörper nur gemeinsam auswechseln.
- Vom Hersteller vorgeschriebene Drehmomente beachten.
- Der Öffnungsdruck ist vom Hersteller festgelegt und kann mit einem Düsenprüfgerät kontrolliert werden. Zur Einstellung werden Druckeinstellscheiben unterschiedlicher Dicke eingebaut, um die Vorspannung der Düsenfeder zu ändern.

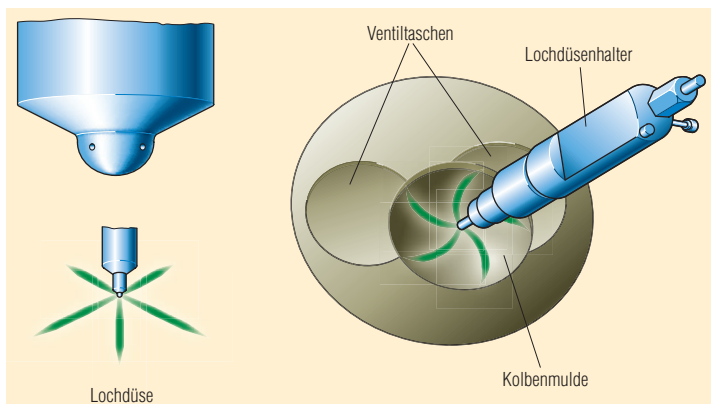


Bild 11.28 Einspritzung mit einer Fünf-Lochdüse.

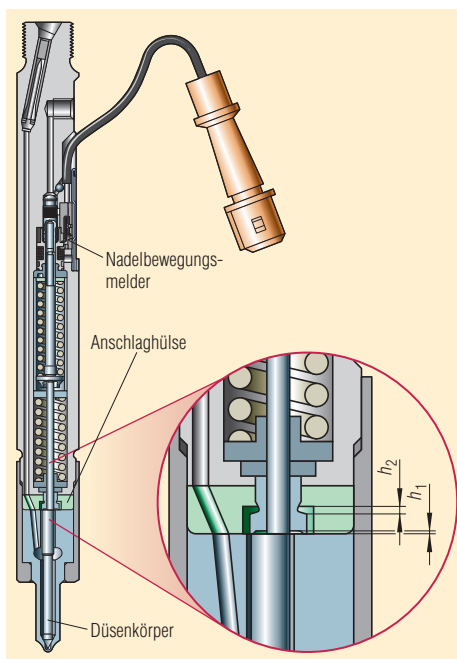


Bild 11.29 Zweifeder-Düsenhalter mit Nadelbewegungsmelder.

11.2.4 Reiheneinspritzpumpen

Seit der Entwicklung der ersten Reiheneinspritzpumpe und deren Serieneinsatz ab 1927 hat sich das Funktionsprinzip bis heute kaum geändert. Das System besteht aus folgenden Baugruppen (Bild 11.30):

- Kraftstoffbehälter,
- Pumpengehäuse,
- Kraftstoff-Förderpumpe am Pumpengehäuse,
- Kraftstofffeinfilter,
- je ein Pumpenelement pro Zylinder,
- Einspritzdüsen,
- Drehzahlregler,
- Spritzversteller.

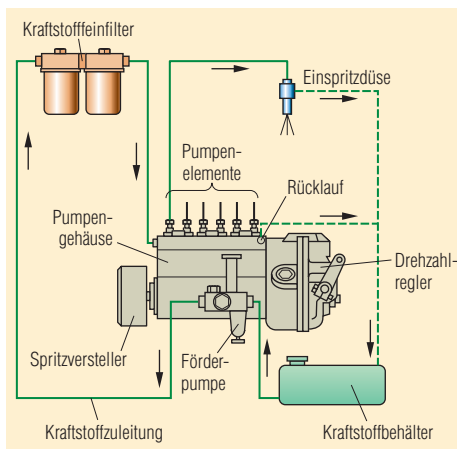


Bild 11.30 Systemübersicht Reiheneinspritzpumpe.

Der Antrieb der Reiheneinspritzpumpe erfolgt über die Nockenwelle des Motors. Als Verbindungselement zwischen Motor- und Pumpennockenwelle dient ein Spritzversteller, der den Einspritzzeitpunkt drehzahlabhängig verändert.

Der untere Teil der Einspritzpumpe (Nockenwelle und Rollenstößel, Bild 11.31) wird vom Motoröl geschmiert, der obere Teil (Pumpenelemente) vom Dieselmotorkraftstoff.

Einspritzpumpenelement (Bild 11.31). Ein Pumpenelement besteht aus dem Pumpenkolben und dem Pumpenzylinder. Der Pumpenzylinder hat je nach Motorleistung einen Durchmesser von ca. 5 mm bis 12 mm und ist auf annähernd 0,001 mm genau auf den Pumpenkolben eingepasst. Diese Genauigkeit ist erforderlich, damit die hohen Pumpendrucke ohne zusätzliche Dichtelemente erzeugt werden können. Der Kraftstoff übernimmt die Schmierfunktion und muss daher extrem fein gefiltert sein, damit keine Schmutzpartikel zu vorzeitigem Verschleiß führen.

Im oberen Drittel befinden sich eine oder zwei Querbohrungen (Saug- und Steuerbohrung) für die Kraftstoffzufuhr in den Pumpenraum und den Kraftstoffrücklauf. Sobald der Pumpenkolben auf dem Weg nach OT die Bohrungen verschließt, beginnt die Förderung.

Durch den Nockenwellenantrieb bewegt sich der Kolben immer zwischen den beiden Totpunkten, der Hubweg entspricht der maximalen Einspritzmenge. Wird im Leerlauf- oder Teillastbetrieb weniger Kraftstoff benötigt, wird die Förderung schon vor Erreichen von OT durch eine Steuerkante abgebrochen.

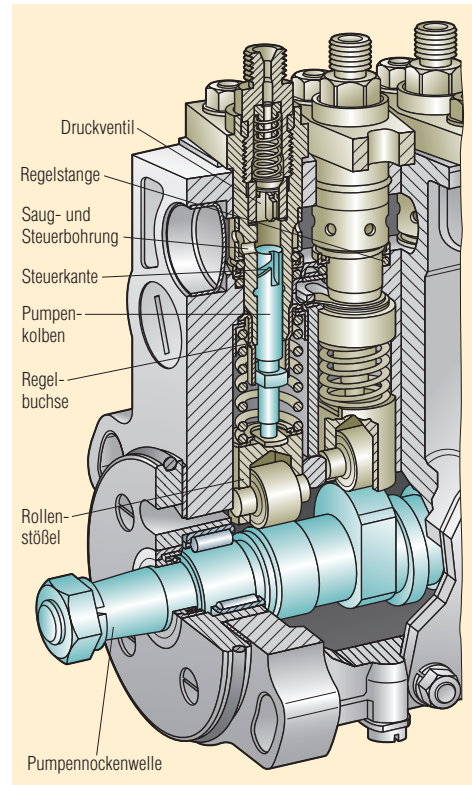


Bild 11.31 Reiheneinspritzpumpe mit Einspritzpumpenelement.

Sobald die Steuerkante des Pumpenkolbens die Steuerbohrung erreicht, strömt der nicht geförderte Kraftstoff zurück in das Pumpengehäuse. Durch die Drehstellung des Pumpenkolbens werden das Förderende und damit die Fördermenge bestimmt. Alle Pumpenkolben sind über eine Regelstange miteinander verbunden, sodass sie gleichzeitig gedreht werden. Die Position der Regelstange und damit der Drehwinkel der Kolben (Einspritzmenge) werden vom Fahrer bzw. vom Drehzahlregler bestimmt. Die einzelnen Phasen der Kraftstoffförderung zeigt Tabelle 11.6.

Das **Druckventil** (Bild 11.32) befindet sich zwischen Pumpenelement und Druckleitung. Es verschließt nach der Förderung die Druckleitung gegenüber dem Pumpenraum und hält einen Restdruck in der Druckleitung aufrecht. Dadurch ist sichergestellt, dass die Druckleitung immer mit Kraftstoff gefüllt ist und der nächste Einspritzvorgang ohne zeitliche Verzögerung beginnt. Sobald die Förderung beginnt, wird das Druckventil gegen die Feder geöffnet, der Kraftstoff fließt in die Druckleitung. Nach Förderende drückt die Feder das Ventil zu, wobei zuerst der

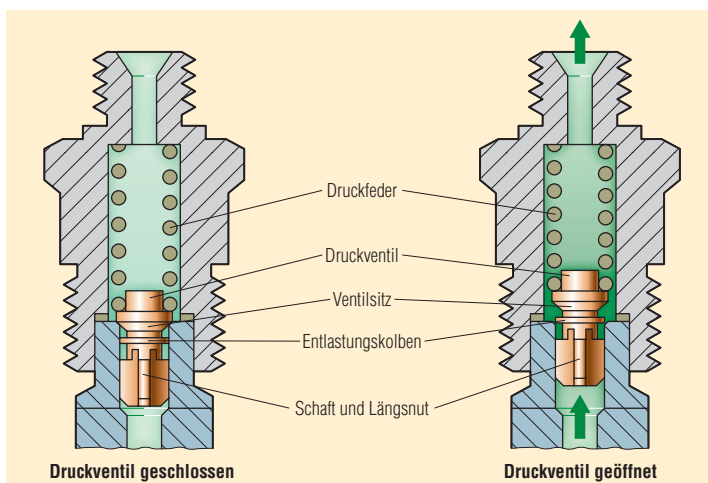
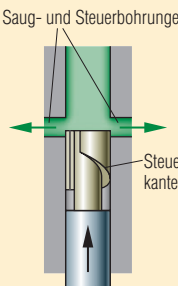
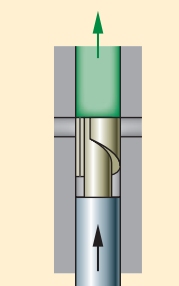
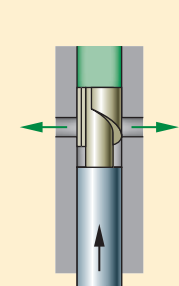
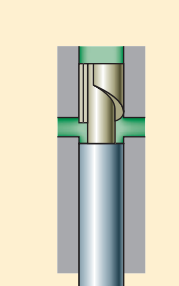
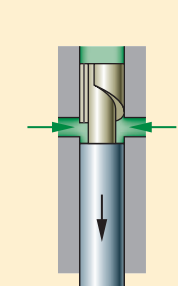


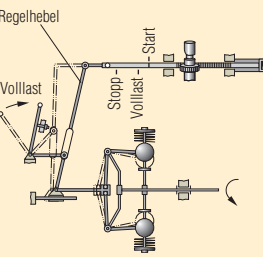
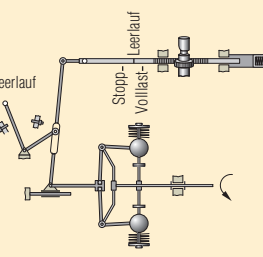
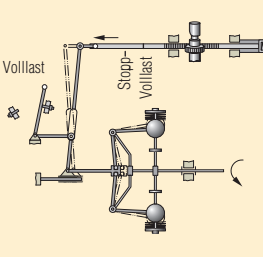
Bild 11.32 Druckventil.

				
<p>Pumpenelement kurz nach UT</p> <p>Pumpenkolben bewegt sich von UT nach oben, Kraftstoff wird verdrängt, noch keine Förderung Richtung Einspritzdüse (Vorhub).</p>	<p>Pumpenelement auf Förderbeginn</p> <p>Kolben dichtet die Steuerbohrung ab, Förderbeginn.</p>	<p>Pumpenelement auf Förderende</p> <p>Steuerkante erreicht die Steuerbohrung, Abbruch der Förderung, Rückfluss des Kraftstoffes durch die Nut (Nachhub).</p>	<p>Pumpenelement in OT</p> <p>Pumpenkolben befindet sich bei OT, Förderende bei Vollast, maximale Fördermenge.</p>	<p>Einströmen</p> <p>Pumpenkolben geht nach UT, Pumpenraum wird über die Längsnut gefüllt, Druckventil dichtet zur Druckleitung ab.</p>
<p>Tabelle 11.6</p>	<p>Arbeitsphasen der Reiheneinspritzpumpe.</p>			

Entlastungskolben den Kraftstoffrückfluss sperrt. Das entstehende Entlastungsvolumen ist auf die Länge der Druckleitung abgestimmt und hat einen geringfügigen Druckabbau in der Leitung zur Folge. Dadurch wird verhindert, dass die Einspritzdüse nachtropft. Die Leitungslänge darf

nicht verändert werden, weil sonst der Restdruck in der Leitung nicht den Soll-Werten entspricht.

Drehzahlregler (Tabelle 11.7). Der Drehzahlregler für Pkw- und Nkw-Motoren hält die Leerlaufdrehzahl konstant und begrenzt die Enddrehzahl

		
<p>Startvorgang</p>	<p>Leerlauf</p>	<p>Vollast</p>
<p>Beim Start wird der Regelhebel Richtung Pumpe gedrückt, die Regelstange dreht die Pumpenelemente auf Maximalförderung.</p>	<p>Das Federpaket für den Leerlauf hält die Fliehgewichte in Position, das Fahrpedal hat keinen Einfluss auf die Regelstangenposition, die Pumpenelemente sind so gedreht, dass die Leerlaufmenge eingespritzt wird.</p>	<p>Das Volllastfederpaket hält die Fliehgewichte in Position, sodass die Maximaldrehzahl nicht überschritten wird, auch wenn das Fahrpedal weiterhin auf maximalem Lastwunsch steht.</p>
<p>Tabelle 11.7</p>	<p>Funktion des Leerlauf-Enddrehzahlreglers.</p>	

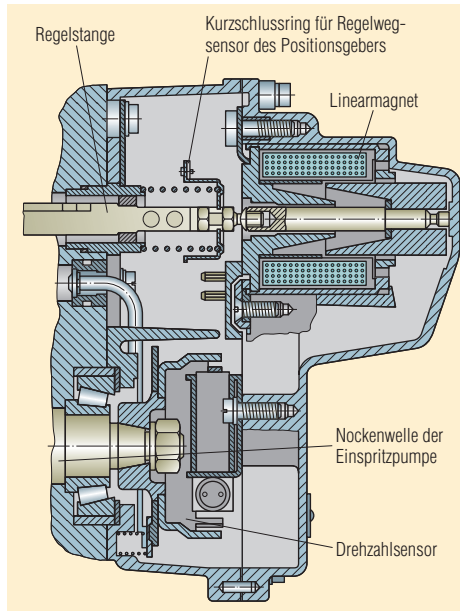


Bild 11.33 Mengenstellwerk/Linearmagnet.

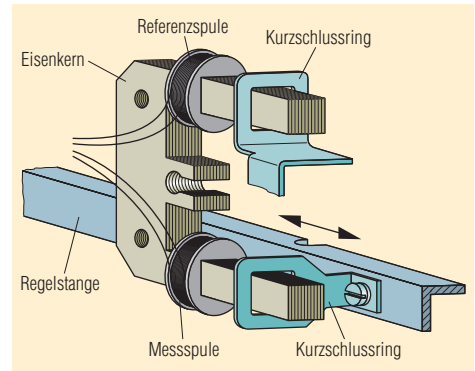


Bild 11.34 Positionsgeber für lineares Mengenstellwerk.

Abregeldrehzahl: automatische Rücknahme der Einspritzmenge bei Überschreiten der maximalen Motor-drehzahl.

EDC: Electronical Diesel Control

Linearmagnet: längs beweglicher Magnet, der an jeder Position gehalten werden kann.

(Abregeldrehzahl). Er besteht aus einem doppelten Gewichtepaket, das von der Pumpennockenwelle angetrieben wird. Mit zunehmender Drehzahl werden die Gewichte gegen die Federkraft von zwei unterschiedlich starken Federpaketen nach außen gedrückt. Über ein Gestänge wird die Regelstange verschoben, bis die gewünschte Drehzahl erreicht ist. Das erste, schwächere Federpaket hat eine feste Regelposition bei

Leerlaufdrehzahl zur Folge, das zweite, stärkere Federpaket eine Regelposition bei Enddrehzahl (Abregeldrehzahl).

Bei Baumaschinen und sonstigen stationären Antrieben wird ein Alldrehzahlregler verwendet, der eine eingestellte Drehzahl konstant hält.

Elektronische Regelung der Reihenpumpe (EDC). Bei der elektronischen Regelung wird der mechanische Drehzahlregler durch ein elektronisches System ersetzt.

Die Regelstange wird von einem Linearmagneten verschoben (Bild 11.33). Im stromlosen Zustand drückt eine Feder den Magneten zusammen mit der Regelstange Richtung Nullförderung. Mit zunehmender Stromstärke verschiebt sich der Magnet in Richtung Vollförderung. Ein besonderer Positionsgeber (Bild 11.34) überwacht die Lage der Regelstange. Er besteht aus zwei Spulen (Mess- und Referenzspule), deren Eisenkerne zusätzlich durch zwei Kupferinge (Kurzschlussringe) gehen. Die Kurzschlussringe begrenzen die Magnetfelder der Spulen. Der Kurzschlussring der Referenzspule hat eine feste Position, der andere wird mit der Regelstange verschoben. Durch den unterschiedlichen Abstand der Kurzschlussringe von den Spulen ergeben sich unterschiedliche Induktivitäten, woraus das Steuergerät einen Ist-Wert der Regelstangenposition bildet. Das System ist im Gegensatz zu Potenziometern verschleißfrei.

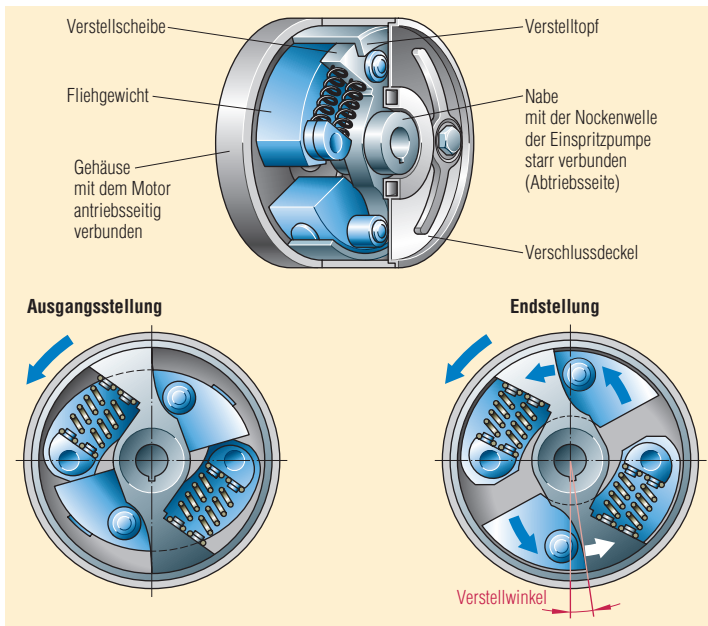


Bild 11.35 Mechanischer Spritzversteller.

Spritzversteller (Bild 11.35). Er dient einerseits als Kupplung zwischen Motor und Pumpennockenwelle. Darüber hinaus verstellt er mit steigender Drehzahl den Einspritzzeitpunkt Richtung „früh“.

Der Spritzversteller verdreht dabei durch Fliehkräfte die Welle der Einspritzpumpe um bis zu 30° , was einem Kurbelwinkel von 60° entspricht. Das System besteht aus einem Gehäuse (Antriebsseite) und einem Verstelltopf (Abtriebsseite). Diese beiden Teile sind gegeneinander

verdrehbar und werden bei niedrigen Drehzahlen über zwei Federn in Neutral-Lage gehalten. Bei steigender Drehzahl drücken sich die Fliehkörper gegen die Federkraft nach außen und verdrehen dadurch den Verstelltopf mit der Pumpennockenwelle Richtung „früh“.

11.2.5 Axialkolben-Verteilereinspritzpumpe

Bei der Verteilereinspritzpumpe (VE-Pumpe) sind alle Bau- und Funktionsgruppen in einem Gehäuse untergebracht (Bild 11.36):

- Kraftstoff-Förderpumpe,
- ein Hochdruckpumpelement für alle Zylinder,
- Drehzahlregler,
- Spritzversteller,
- Notabschaltventil.

Wegen ihrer Bauweise hat die Verteilereinspritzpumpe gegenüber einer Reiheneinspritzpumpe verschiedene Vorteile:

- günstiger Preis,
- kompakte Bauform,
- eine fast beliebige Einbaulage.

Die Kraftstoffförderpumpe erzeugt in Abhängigkeit von der Motordrehzahl einen Pumpeninnendruck von 2 bar bis 5 bar, der im gesamten Pumpengehäuse vorliegt (Niederdruckbereich). Alle Baugruppen sind vom Kraftstoff umspült und werden von diesem geschmiert.

Die rotierenden Teile der Verteilereinspritzpumpe (Antriebswelle, Förderpumpe, Verteilerkolben mit Hubscheibe) befinden sich zentral auf einer Achse. Die Antriebswelle läuft mit Nockenwellendrehzahl und wird häufig durch einen Zahnriemen angetrieben. Der Verteilerkolben erzeugt einen Einspritzdruck von ca. 800 bar. Die Abdichtung zwischen Kolben und Zylinder erfolgt lediglich über eine sehr genaue Passung im Mikrometerbereich.

Das Hochdrucksystem (Bild 11.37) besteht aus dem Verteilerkolben, dem Regelschieber und dem Verteilerkopf. Der Verteilerkolben macht neben der Drehbewegung gleichzeitig eine Hubbewegung. Dabei durchläuft er immer den vollen Hubweg. Wird eine geringere Fördermenge gebraucht, wird der Regelschieber so weit verschoben, dass die Absteuerbohrung frei wird. Der Kraftstoff fließt zurück in den Pumpenraum, der Druck fällt ab und die Förderung ist beendet.

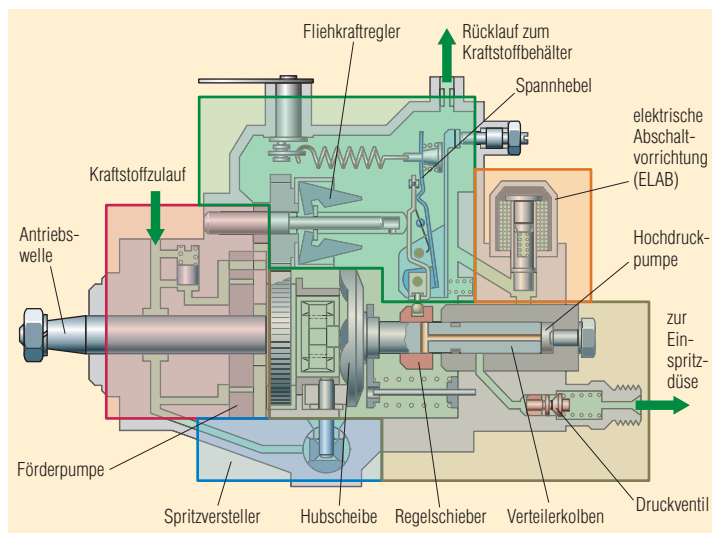


Bild 11.36 Systemübersicht einer Verteilereinspritzpumpe.

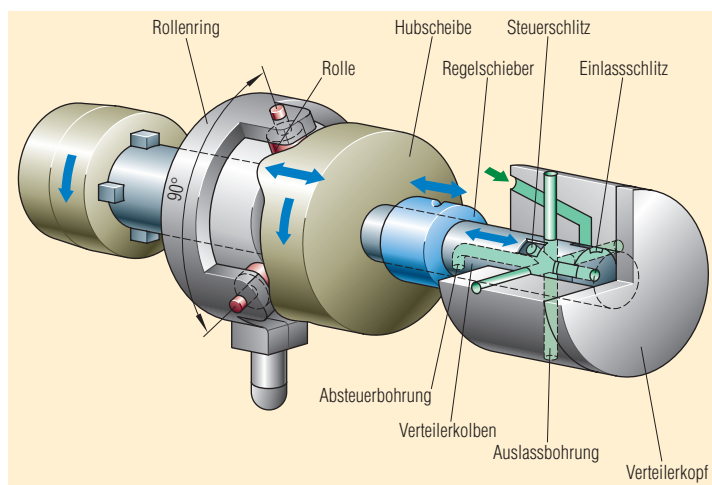


Bild 11.37 Druckerzeugung in der Verteilereinspritzpumpe.

Die nicht rotierenden Teile wie Rollenring, Regelschieber und Verteilerkopf umgeben die rotierenden Teile. Je nach Zylinderzahl verfügt die Hubscheibe über entsprechend viele Nocken. Aus Platzgründen kann eine VE-Pumpe maximal 6 Zylinder versorgen. Die Hubscheibe verschiebt sich in Kolbenrichtung (axial) zusammen mit dem Verteilerkolben. Der Förderhub wird durch den Rollenring über die Hubscheibe erzwungen, der

Rückweg durch zwei seitlich angebrachte Federn. Der Kraftstoff gelangt über die Zulaufbohrung in den Hochdruckraum. Bei jeder Nockenwellenumdrehung macht der Verteilerkolben je Zylinder einen Förderhub. Dabei verdreht sich der Kolben so, dass die passende Auslassbohrung den Kraftstoff durch das Druckventil an die jeweilige Einspritzdüse leitet (Tabelle 11.8).

<p>Kolben in Förderphase</p> <p>Zulaufbohrung und Absteuerbohrung sind geschlossen, gleichzeitig ist der Kolben synchron auf die Auslassbohrung eines Zylinders gedreht.</p>	<p>Kolben in Abbruchphase</p> <p>Der Regelschieber wird vom Regler so verschoben, dass er die Absteuerbohrung freigibt, der Druck fällt ab, die Förderung ist beendet.</p>	<p>Kolben in Saugphase</p> <p>Der Kolben ist am oberen Totpunkt und auf einen Einlassschlitz gedreht. Beim Rückhub saugt sich der Pumpenraum voll. Nach dem Saugvorgang hat sich der Kolben so weit gedreht, dass die Zulaufbohrung geschlossen ist.</p>
<p>Tabelle 11.8</p>	<p>Arbeitsphasen einer Verteilereinspritzpumpe.</p>	

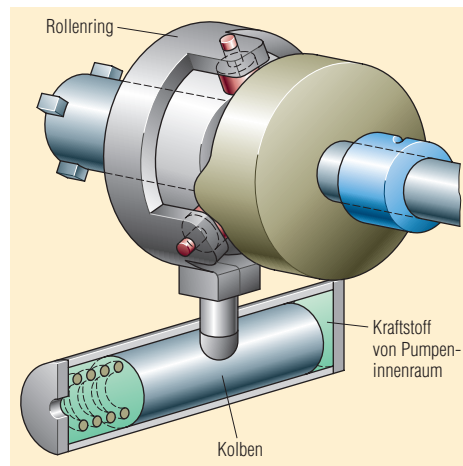


Bild 11.38 Spritzversteller.

Spritzversteller (Bild 11.38). Er besteht aus einem im Pumpengehäuse eingebauten Zylinder und einem Kolben, der von einer Seite durch eine Feder in Ruhelage (Null-Verstellung) gehalten wird. Mit steigender Drehzahl erzeugt die Förderpumpe einen erhöhten Druck im Pumpengehäuse, der den Kolben gegen die Feder verschiebt. Dadurch wird der über einen Bolzen mit dem Kolben verbundene Rollenring verdreht und die Nocken der Hubscheibe laufen früher auf die Rollen des Rollenrings auf. Der Einspritzbeginn kann um bis zu ca. 30° KW in Richtung „früh“ verstellt werden.

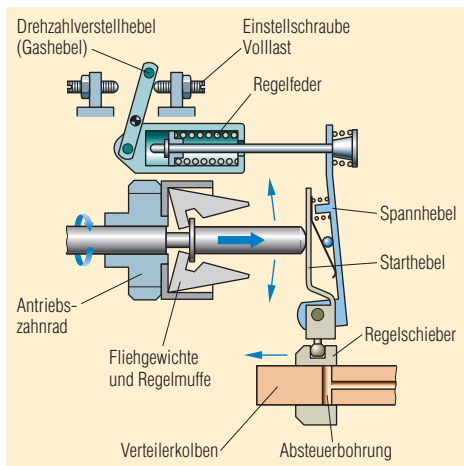


Bild 11.39 Mechanischer Drehzahlregler einer Axialkolbenpumpe.

Mechanischer Drehzahlregler (Bild 11.39). Direkt über der Antriebswelle befindet sich eine Welle mit dem Fliehkraftregler, der durch ein Zahnrad angetrieben wird. Die Fliehkichte bewegen einen Stift (Regelmuffe), der auf Start- und Spannhel drückt. Dieser zweiseitige Hel hat am unteren Ende einen Kugelkopf, der in den Regelschieber eingreift und dessen axiale Position auf dem Verteilerkolben bestimmt.

Der vom Fahrer betätigte Drehzahlverstellhel ist über eine Regelfeder mit dem Spannhel verbunden. Bei niedriger Drehzahl und hohem Lastwunsch zieht die Regelfeder den Spannhel nach links und schiebt dadurch den Regelschieber nach rechts. Dies bewirkt eine spätere Öffnung der Absteuerbohrung und damit die Erhöhung von Fördermenge und Motordrehzahl. Bei Überschreiten der Höchstdrehzahl des Motors schieben die Fliehkichte die Regelmuffe gegen die Federkraft der Regelfeder nach rechts. Dadurch wird der Regelschieber nach links geschoben, die Absteuerbohrung öffnet früher, Fördermenge und Motordrehzahl sinken.

Elektronische Dieselregelung bei der Axialkolbenpumpe (EDC). Anstelle des Fliehkraftreglers mit Gestänge wird an gleicher Stelle ein elektromagnetisches Drehstellwerk eingebaut (Bild 11.40). Am unteren Ende des Drehstellers befindet sich ein Exzenter, der über einen Kugelkopf mit dem Regelschieber verbunden ist. Der Drehsteller bestimmt über das Steuergerät die

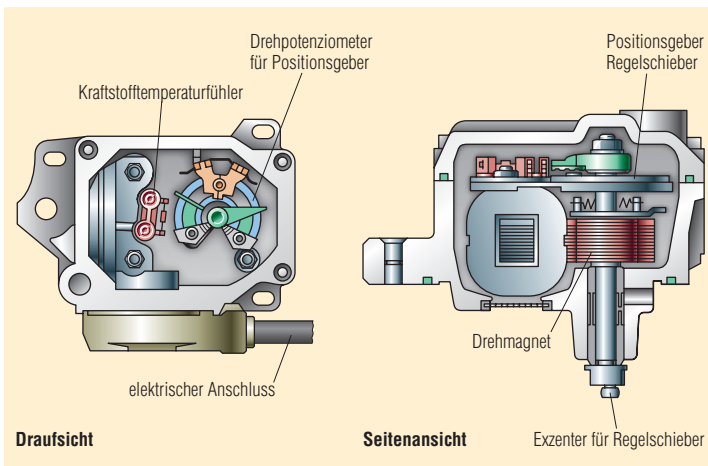


Bild 11.40 Elektromagnetisches Drehstellwerk.

Winkellage des Exzentes und damit die Position des Regelschiebers. Der Lastwunsch des Fahrers wird über ein elektronisches Gaspedal (E-Gas) an das Steuergerät und von da an das Drehstellwerk übertragen. Eine mechanische Verbindung zwischen Fahrpedal und Einspritzpumpe ist nicht mehr vorhanden.

Für die Regelung der Spritzverstellung wird ein getaktetes Magnetventil in den Spritzversteller eingebaut. Dieses moduliert den am Spritzverstellerkolben anliegenden Pumpeninnendruck; es kann damit den Winkel der Spritzverstellung beliebig regeln.

Das gesamte System erfordert eine Vielzahl verschiedener Sensoren und Aktoren sowie ein Steuergerät (Bild 11.41, S. 250).

Elektromagnetisches Abschaltventil (ELAB). Der Zulaufkanal zum Hochdruckraum wird bei abgeschaltetem Motor von einem elektromagnetischen Abschaltventil verschlossen. Dies ist bei Fahrzeugen notwendig, die mit einem Zündschlüssel gestartet werden, um diese sicher abschalten zu können.

Ein Dieselmotor mit mechanischer Einspritzung kann nur durch Nullförderung oder Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr abgeschaltet werden.

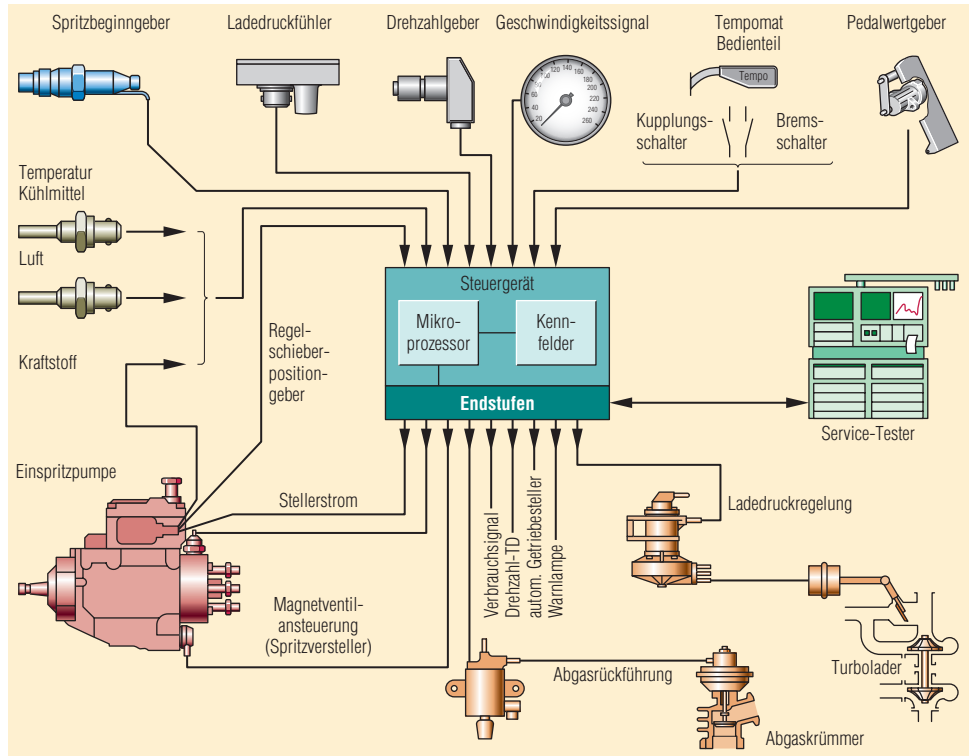


Bild 11.41 Systemübersicht EDC einer Verteilereinspritzpumpe.

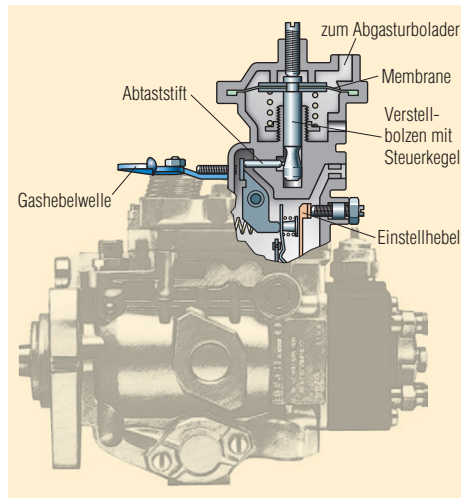


Bild 11.42 Verteilereinspritzpumpe mit ladedruck-abhängigem Vollastanschlag.

Ladedruckabhängiger Vollastanschlag (LDA)

(Bild 11.42). Bei aufgeladenen Motoren muss zusätzlich der Ladedruck zur Bestimmung der Einspritzmenge berücksichtigt werden. Im LDA bewegt eine Membran einen Verstellbolzen. Auf die Oberseite der Membran wirkt der Ladedruck, an der Unterseite herrscht Atmosphärendruck. Eine Feder drückt die Membran in Ruhelage nach oben. Sobald der Ladedruck steigt, drückt die Membran den Verstellbolzen nach unten. Über einen Abtaststift und ein Hebelgestänge wird die Position des Regelschiebers und dadurch die Einspritzmenge direkt beeinflusst.

11.2.6 Radialkolben-Verteilereinspritzpumpe

Mit einer Radialkolben-Verteilereinspritzpumpe (Bild 11.43) können Einspritzmenge und Einspritzzeitpunkt elektronisch geregelt werden.

Der Einspritzdruck erreicht dabei Werte bis ca. 1500 bar. Das System verfügt über folgende Funktionsgruppen:

- in die Pumpe eingebautes Steuergerät,
- Mengenregelung durch ein Magnetventil,
- Spritzverstellung durch ein Magnetventil,
- Drehwinkelsensor zur Erfassung des Einspritzzeitpunktes,
- Flügelzellen-Kraftstoff-Förderpumpe,
- Radialkolben zur Bereitstellung hoher Einspritzdrücke.

Das Pumpensteuergerät ist Bestandteil des Motormanagement-Systems und über den CAN-Bus in dieses integriert. Das Gesamtsystem verfügt über zwei Steuergeräte, die über das Bussystem Daten austauschen (Bild 11.44).

Das Motorsteuergerät verwaltet Daten wie Motordrehzahl, Fahrpedalposition (Lastwunsch des Fahrers), Motor- und Außenlufttemperatur, Luftmasse und Ladedruck und regelt beispielsweise die Abgasrückführate und den Ladedruck.

Das Pumpensteuergerät nutzt auf dem CAN-Bus liegende Sensordaten des Motorsteuergeräts zur Regelung von Einspritzmenge und Spritzverstellung. Durch die Integration des Pumpensteuergeräts in das Pumpengehäuse können hohe Steuerströme (ca. 20 A) für die Ansteuerung des Mengen-Magnetventils sowie des Spritzverstellerventils direkt und verlustarm geschaltet werden.

Regelung der Einspritzmenge (Bild 11.45). Die Verteilerwelle dreht sich gemeinsam mit den Förderkolben und den Rollen mit Nockenwelle. Die Förderkolben werden durch Fliehkraft nach außen gedrückt. Durch das größer werdende Volumen wird Kraftstoff in den Hochdruckraum gesaugt. Dies ist nur möglich, weil gleichzeitig das Magnetventil zur Mengenregelung (Bild 11.43) die Verbindung zum Kraftstoffvorrat im Pumpeninnenraum öffnet. Nach dem Befüllen des Hochdruckraums schließt das Magnetventil die Verbindung zum Pumpeninnenraum. Beim weiteren Verdrehen der Verteilerwelle wälzen sich die Rollen auf dem Nocken-

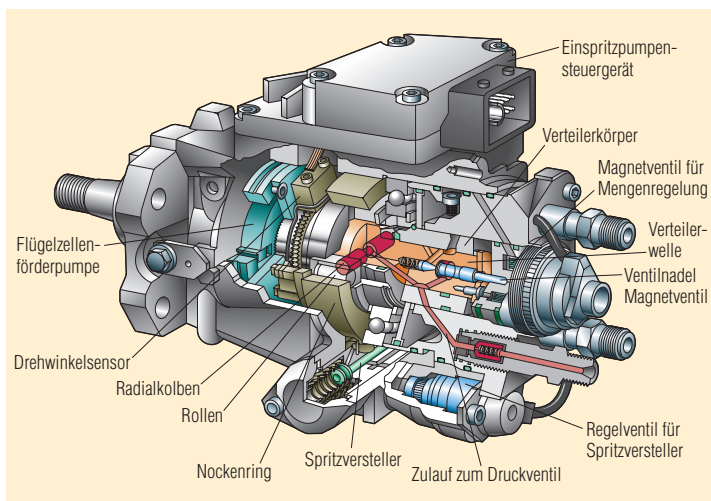


Bild 11.43 Magnetventil-gesteuerte Radialkolben-Verteilereinspritzpumpe.

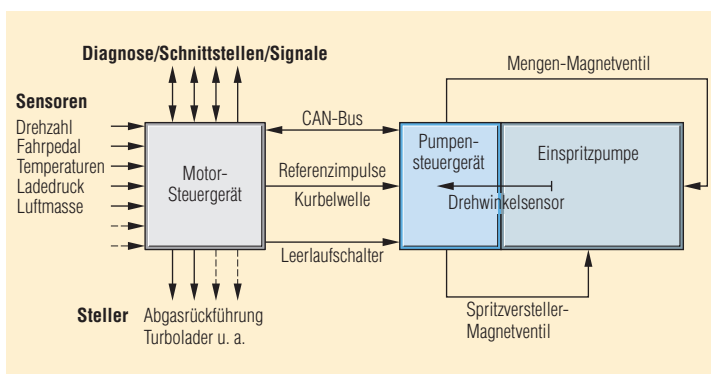


Bild 11.44 Datenaustausch im Motormanagement-System.

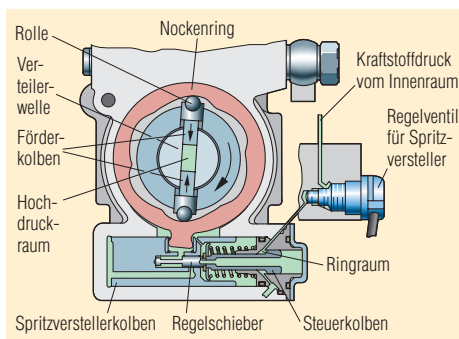


Bild 11.45 Radialkolben mit Spritzversteller.

ring ab und drücken dabei die Förderkolben zusammen. Gleichzeitig öffnet die Verteilerwelle den Zulauf zum Druckventil und der entstehende Hochdruck wird zur Einspritzdüse gefördert. Ist die gewünschte Einspritzmenge erreicht, öffnet das Magnetventil und der Druckabbau führt zum Förderende.

Common rail
(engl.): Gemeinsames Verteilerrohr

Regelung des Einspritzbeginns (Bild 11.45). Soll eine Verstellung des Einspritzbeginns nach „früh“ erfolgen, erhöht das Regelventil für den Spritzversteller den Druck im Ringraum, wodurch sich Steuerkolben und Regelschieber nach rechts verschieben. Dadurch öffnet der Regelschieber die Zulaufleitung in den Raum hinter dem Spritzverstellerkolben, der nach rechts ausweicht und den Nockenring nach „früh“ verdreht.

Durch den Drehwinkelsensor (Bild 11.43) kann das Pumpensteuergerät den Ist-Wert der Verstellung des Spritzverstellers und damit den Einspritzzeitpunkt genau bestimmen. Darüber hinaus hat er folgende Funktionen:

- Bestimmen der momentanen Winkellage der Antriebswelle,
- Messen der aktuellen Pumpendrehzahl,
- Liefern eines Ersatzsignals für den Kurbelwellenlehaber.

11.2.7 Common-Rail-Einspritzsystem

Das Common-Rail-Einspritzsystem (Bild 11.46) arbeitet nach dem Direkteinspritzverfahren. Es gleicht im Systemaufbau der Multipoint-Benzineinspritzung (Tabelle 11.9). Der wesentliche Unterschied liegt einerseits im Systemdruck von 1350 bar bis 1600 bar je nach System (statt 5 bar beim Benzineinspritzsystem). Andererseits wird bei der Benzineinspritzung die Einspritzmenge nur durch die Einspritzdauer bemessen, bei der Common-Rail-Einspritzung werden Öffnungsdauer und Raildruck variiert.

Dies wird erreicht durch die Entkopplung von Druckerzeugung (durch eine Hochdruckpumpe) und Einspritzung (durch Injektoren) und die Verwendung des Rail als Druckspeicher. Daraus ergibt sich eine große Flexibilität bei der Anpassung der Einspritzung:

- Einspritzdruck und Einspritzmenge können für jeden Betriebspunkt des Motors unabhängig voneinander geregelt werden,
- hohe Einspritzdrücke bis ca. 1600 bar sind möglich,
- der Einspritzdruck kann an den Betriebszustand des Motors angepasst werden (200 bar bis 1600 bar),
- der Einspritzbeginn ist variabel,
- neben der Haupteinspritzung sind mehrere Vor- und Nacheinspritzungen möglich.

Das System besteht aus folgenden Hauptgruppen (Bild in Tabelle 11.9):

- Niederdruckteil (Kraftstoffbehälter mit Vorfilter, Vorförderpumpe, Kraftstofffilter und Niederdruck-Kraftstoffleitungen),
- Hochdruckteil (Hochdruckpumpe mit Druckregler, Rail mit Raildrucksensor und Druckbegrenzungsventil, Injektoren und Hochdruck-Kraftstoffleitungen),
- elektronische Dieselregelung EDC (Sensoren, Steuergerät und Aktoren).

Funktionsprinzip. Eine Kraftstoffpumpe fördert den Kraftstoff vom Tank zur Hochdruckpumpe. Die vom Motor angetriebene Hochdruckpumpe baut abhängig vom Betriebszustand des Motors den gewünschten Einspritzdruck im Rail auf. Die am Rail über kurze Hochdruckleitungen angeschlossenen Injektoren spritzen den Kraftstoff direkt in den Brennraum. Das Steuergerät steuert die Höhe des Raildrucks und Öffnungszeitpunkt und -dauer der Injektoren.

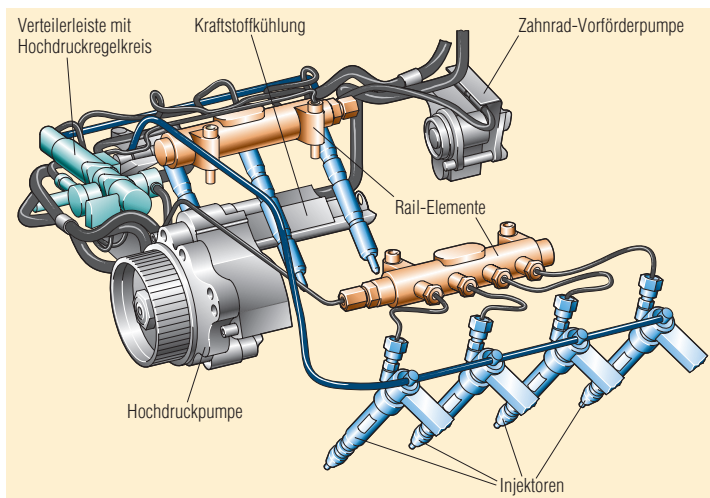
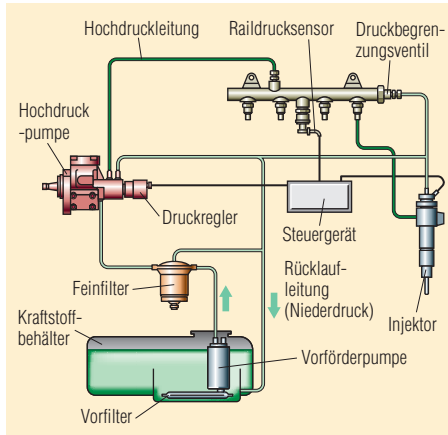
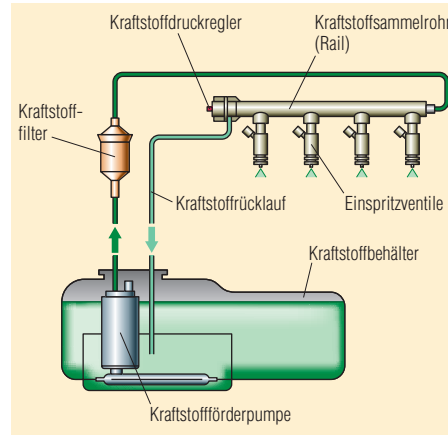


Bild 11.46 Common-Rail-Einspritzsystem.

Common-Rail



Multipoint-Benzineinspritzung



Vorförderpumpe	Förderpumpe im Tank
Hochdruckpumpe 1350 bar	entfällt
Verteilerrohr (Rail) 1350 bar	Verteilerrohr (Rail) 3 bar bis 5 bar
Druckregelventil 1350 bar	Druckregelventil 3 bar bis 5 bar
Einspritzventil (Injektor)	Einspritzventil
Steuergerät mit Sensoren und Aktoren	Steuergerät mit Sensoren und Aktoren

Tabelle 11.9

Systemvergleich Common-Rail mit Benzineinspritzung.

Steuerung und Regelung (Bild 11.47, S. 254). Das Steuergerät der EDC erfasst mithilfe der Sensoren

- die Drehmomentanforderung des Fahrers,
- Drehzahl und Stellung von Kurbelwelle und Nockenwelle,
- den Ladedruck,
- den Raildruck,
- Temperatur von Ansaugluft, Kühlmittel und Kraftstoff,
- die Fahrgeschwindigkeit,
- die angesaugte Luftmasse etc.

Hieraus werden Einspritzdruck, die Einspritzmenge und der Einspritzzeitpunkt berechnet. Evtl. werden Dauer und Zeitpunkt für eine Vor- und Nacheinspritzung ermittelt. Neben dieser Grundfunktion sind weitere Zusatzfunktionen möglich:

- Regelung der Abgasrückführung,
- Regelung des Ladedrucks,
- Regelung der Fahrgeschwindigkeit,
- elektronische Wegfahrsperre,
- Anpassung des Motormoments an die Klimaanlage und das Automatikgetriebe etc.

Hierfür ist das EDC-Steuergerät über den CAN-Bus mit anderen Steuergeräten verbunden (ABS, ESP, Automatikgetriebe etc.).

Hochdruckpumpe. Für Pkw werden Radialkolbenpumpen eingesetzt (Bild 11.48, S. 255). Der Exzenter wird vom Motor angetrieben und hat somit ein festes Übersetzungsverhältnis zur Motordrehzahl. Pro Umdrehung ergeben sich drei überlappende Förderhübe, was zu einer geringen und gleichmäßigen Belastung des Antriebs führt (nur etwa 1/9 des für eine vergleichbare Verteilereinspritzpumpe benötigten Antriebsmoments).

Die Druckregelung kann hochdruckseitig (Bild in Tabelle 11.9) oder saugseitig erfolgen (Bild 11.48). Bei der hochdruckseitigen Regelung fließt nicht benötigter Kraftstoff nach der Druckzeugung über ein Druckregelventil in den Niederdruckkreis zurück. Bei der saugseitigen Regelung wird die Menge des in die Hochdruckpumpe zufließenden Kraftstoffs von einem stufenlos regelbaren Magnetventil dosiert. Dadurch werden der Leistungsbedarf der Pumpe und die Kraftstofftemperatur gesenkt.

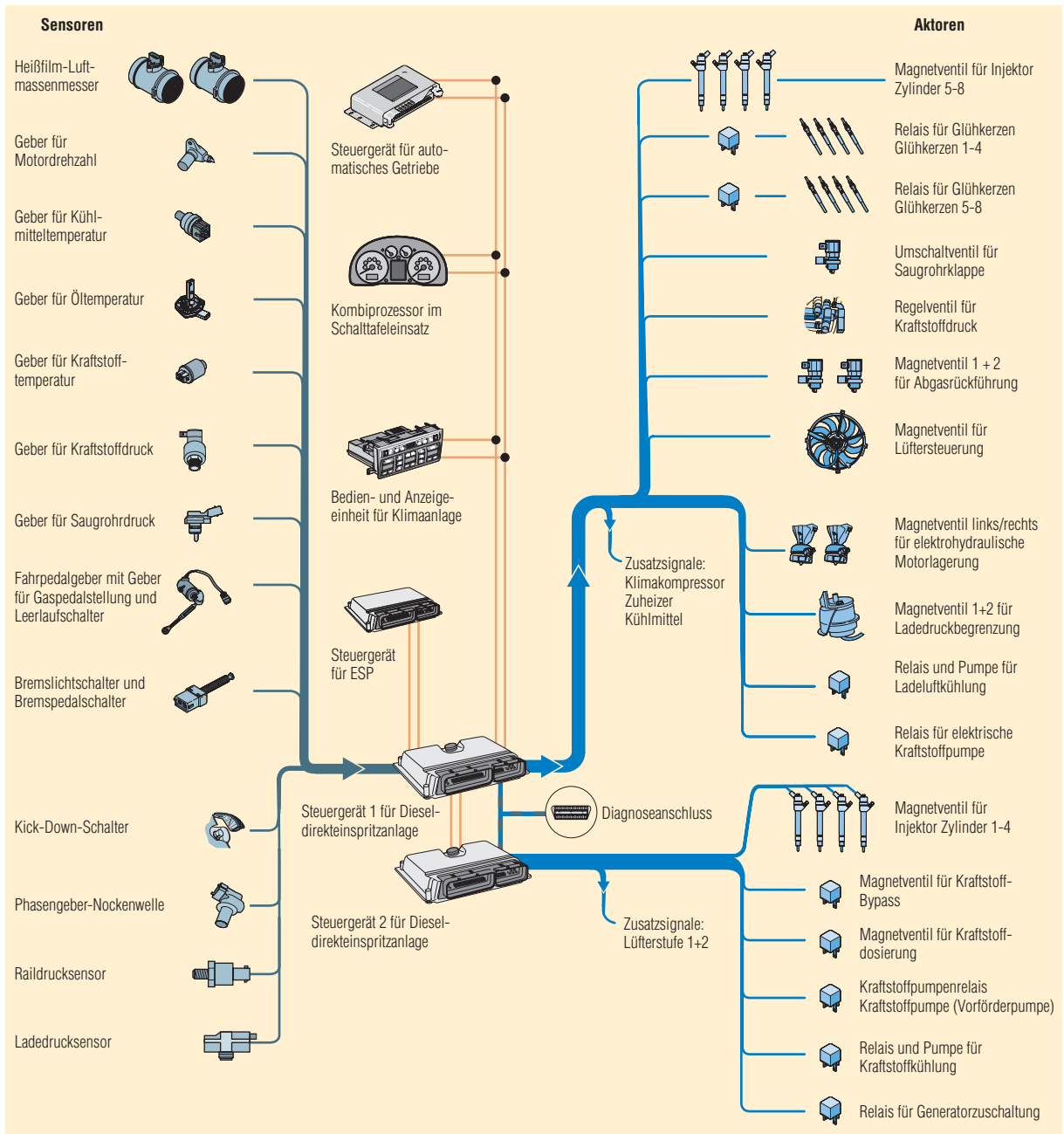


Bild 11.47 EDC-Komponenten beim Common-Rail-Einspritzsystem.

Rail mit Raildrucksensor und Druckbegrenzungsventil (Bild in Tabelle 11.9). Die Kompressibilität des im Rail ständig unter hohem Druck stehenden Kraftstoffvolumens wird für einen Speichereffekt ausgenutzt. Wird Kraftstoff aus dem Rail entnommen, bleibt der Druck selbst bei größeren Einspritzmengen nahezu konstant.

Der Kraftstoffdruck wird durch den Raildrucksensor gemessen und durch die Druckregelung auf den gewünschten Wert geregelt. Das Druckbegrenzungsventil hat die Aufgabe, den Kraftstoffdruck auf einen maximal zulässigen Druck zu begrenzen.

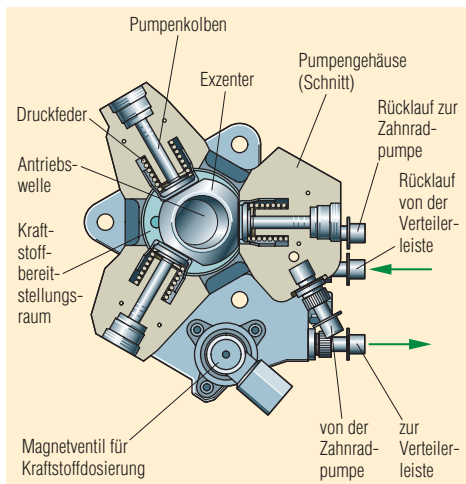


Bild 11.48 Radialkolbenpumpe.

Injektor. Beim Common-Rail-System werden Magnetventil-Injektoren und Piezo-Inline-Injektoren eingesetzt. Bei beiden handelt es sich um Einspritzeinheiten mit Mehrlochdüsen.

Funktion des Magnetventil-Injektors (Bild 11.49). Solange das Magnetventil nicht angesteuert ist, verschließt die federbelastete Ventilkugel die Ablaufdrossel des Ventilsteuerraums. Der Kraftstoffdruck aus der Rail wirkt nun gleichzeitig auf die Druckschulter der Düsenadel und auf das obere Ende des Steuerkolbens. Die Kraft auf die Stirnfläche des Steuerkolbens hält zusammen mit der Kraft der Düsenfeder die Düsenadel geschlossen.

Wenn das Magnetventil geöffnet wird, fließt der Kraftstoff durch die Ablaufdrossel zum Rücklauf. Der Druck im Ventilsteuerraum fällt ab, die Düsenadel öffnet. Da der Strömungsquerschnitt in der Zulaufdrossel kleiner ist als in der Ablaufdrossel, entsteht ein Kraftstoffpolster, auf dem der Steuerkolben während der Einspritzung verharrt.

Zum Einspritzende wird das Magnetventil geschlossen, die Ventilkugel verschließt die Ablaufdrossel, der Druck im Ventilsteuerraum steigt und die Düsenadel schließt.

Das Magnetventil benötigt wegen des beschriebenen hydraulischen Kraftverstärkersystems nur geringe Ströme für die Öffnung der Düsenadel. Ein direktes Öffnen der Düsenadel wäre wegen der großen Kräfte nicht möglich.

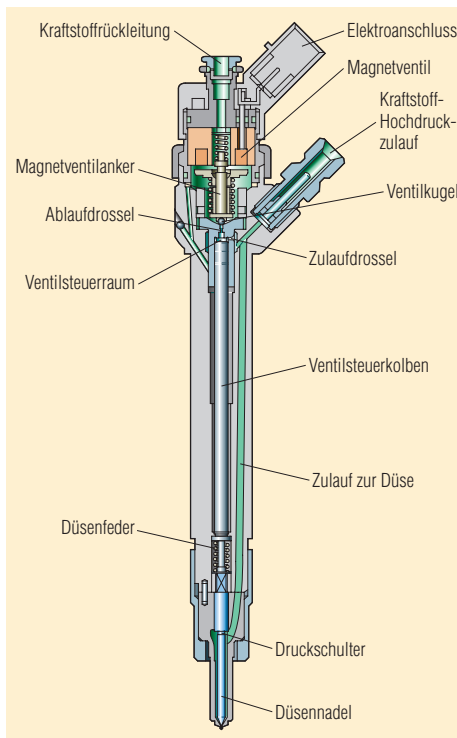


Bild 11.49 Magnetventil-Injektor.

Piezoaktoren. Wichtigstes Element in den neuen Piezo-Injektoren ist der Piezoaktor (Bild 11.50). Der Piezoaktor kann sehr große Kräfte in sehr kurzer Zeit aufbauen. Man nutzt hierbei den inversen **piezoelektrischen Effekt**. Das heißt, an ein Piezoelement wird eine Spannung angelegt und die Kristallstruktur des Piezoelementes reagiert mit einer Längenänderung. Dabei verhält sich die Längenänderung proportional zur angelegten Spannung. Dadurch ist die Längenänderung des Aktors über die Spannung steuerbar (Steuerspannung: 100 V bis 200 V).

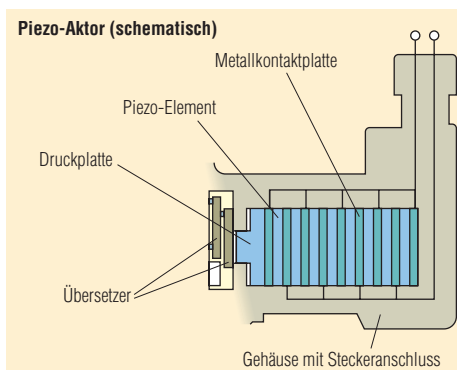


Bild 11.50 Piezoaktor.

Injektor: elektromagnetisches Einspritzventil

invers =
umgekehrt

piezoelektrischer Effekt → S. 104

Allerdings hat ein Piezoelement nur eine Dicke von ca. 0,008 mm und seine Längenänderung bei angelegter Spannung beträgt nur 0,15 %. Damit trotzdem ein maximaler Schaltweg von ca. 0,04 mm erreicht wird, werden mehrere Piezoelemente gestapelt, die durch Metallkontaktplatten zur Spannungsversorgung voneinander getrennt sind (Piezo-Stack). Zusammen mit der Druckplatte bildet der Piezo-Stack den Piezoaktor.

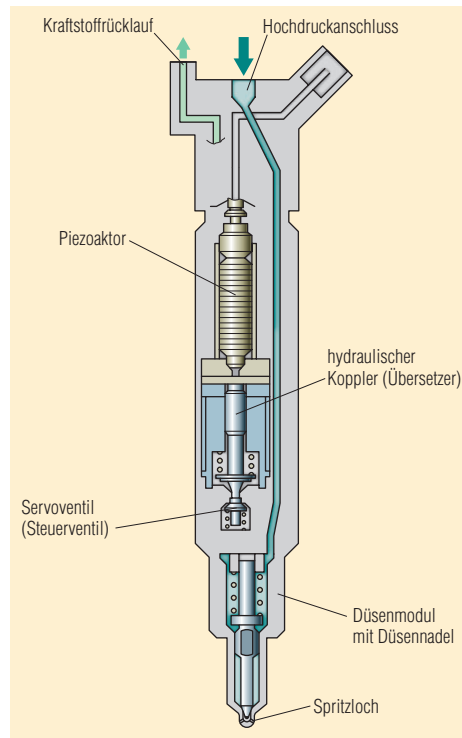


Bild 11.51 Piezo-Inline-Injektor.

Funktion des Piezo-Inline-Injektors (Bild 11.51). Der Piezoaktor betätigt durch seine Längenänderung bei angelegter Spannung einen hydraulischen Koppler, welcher wiederum das Servoventil bewegt. Dadurch wird die Düsennadel geöffnet und es kommt zum Einspritzvorgang.

Im nicht angesteuerten Zustand ist das Servoventil geschlossen (Bild 11.52 a). Die Düsennadel wird durch den Druck im Steuerraum geschlossen gehalten. Wird das Servoventil durch den Piezoaktor geöffnet (Bild 11.52 b), verschließt es den Bypass. Der Durchmesser der Ablaufdrossel ist größer als jener der Zulaufdrossel, es kommt zum Druckabfall im Steuerraum und die Düsennadel öffnet. Wird der Piezoaktor entladen, öffnet das Servoventil den Bypass (Bild 11.52 c). Der Steuerraum wird rasch über Zu- und Ablaufbohrung befüllt, die Düsennadel schließt.

Der hydraulische Koppler (Bild 11.53) gleicht vor allem Längenänderungen durch Wärmedehnung im System aus. Solange der Piezoaktor nicht angesteuert ist, sind der Druck in und um den Koppler gleich. Bei Ansteuerung des Piezoaktors steigt der Druck im Koppler an und betätigt das Servoventil. Dabei kommt es zu kleinen Leckageverlusten an den beiden Kolben im Koppler. Der auftretende Druckabfall hat aber bis zu einer Ansteuerdauer von mehreren Millisekunden keinen Einfluss auf den Einspritzvorgang. Nach der Entlastung des Kopplers wird er in umgekehrter Richtung an den beiden Kolben vorbei wieder befüllt. Die Leckageverluste können Längenänderungen des Systems ausgleichen. Darüber hinaus wird bei einer dauerhaften Bestromung des Piezoaktors im Fehlerfall die Einspritzung selbsttätig abgeschaltet.

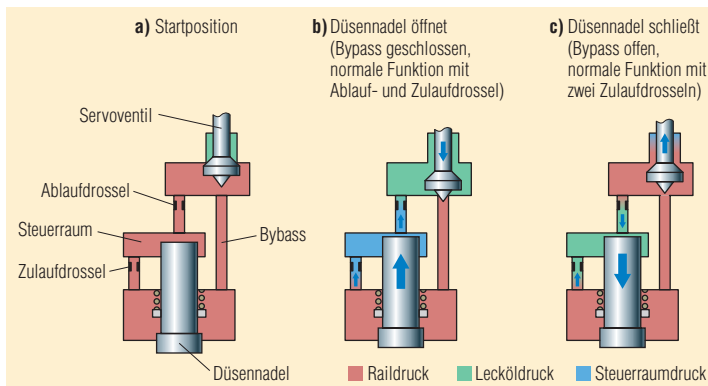


Bild 11.52 Funktion des Servoventils.

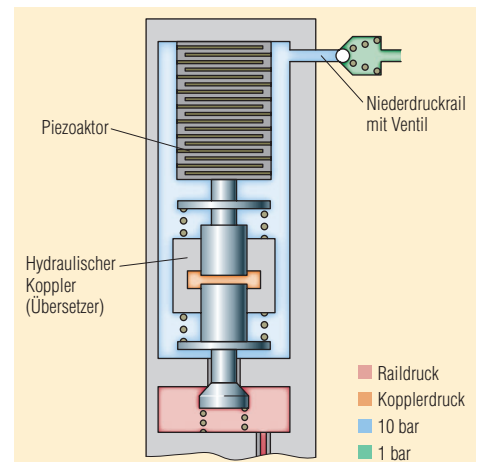


Bild 11.53 Funktion des hydraulischen Kopplers.

Da die Bauteile des Piezo-Inline-Injektors insgesamt sehr steif ausgelegt sind, schaltet er sehr schnell (Ansprechzeit etwa 150 Mikrosekunden). Dadurch sind bis zu fünf Einspritzungen je Einspritzzyklus mit sehr geringen Einspritzmengen möglich. Gleichzeitig ist der Injektor kleiner, leichter und leiser und ermöglicht eine Steigerung der Motorleistung bei geringerem Kraftstoffverbrauch und geringerer Abgasemission.

Werkstatthinweis. Bei einem Austausch der Injektoren ist zu beachten, dass die Abgleichwerte neu in das Steuergerät einprogrammiert werden müssen. Dies ist wegen des so genannten Injektormengenabgleichs (IMA) notwendig. Dabei wird jeder Injektor am Ende der Fertigung auf Abweichungen von den Sollwerten hin überprüft. Die gewonnenen Messdaten werden in Form eines Datenmatrix-Codes auf den Injektor aufgebracht. Diese individuellen Werte zur Kompensation von Abweichungen bei Einspritzmenge und Einspritzzeitpunkt werden bei den Fahrzeugherstellern oder beim Austausch in das Steuergerät übertragen, um eine möglichst hohe Präzision zu erreichen.

11.2.8 Pumpe-Düse-Einspritzsystem (PDE)

Beim Pumpe-Düse-System gibt es pro Zylinder ein Pumpe-Düse-Element, in dem Pumpenteil, Düsenteil und Magnet- oder Piezoventil in einem Gehäuse zu einer Einheit zusammengefasst sind. Das Pumpe-Düse-Element wird von der Nockenwelle des Motors angetrieben, auf der Nockenwelle befindet sich daher pro Zylinder eine zusätzliche Nocke. Bei oben liegenden Nockenwellen sind die Elemente im Zylinderkopf untergebracht (Bild 11.54).

Durch den direkten Pumpenantrieb und den Wegfall der Hochdruckleitungen können sehr hohe Drücke erzeugt werden. Allerdings muss für diese hohen Belastungen der Antrieb (Nockenwelle und Nockenwellenantrieb, Kipphebel und

Kipphebellagerung) sehr steif ausgelegt sein, da es ansonsten zu Schwingungen kommt, die sich negativ auf die Einspritzgenauigkeit auswirken.

Systemeigenschaften. Pumpe-Düse-Systeme ermöglichen einen sehr variablen Einspritzdruckbereich (beim System mit Piezoventil zwischen 130 bar und 2200 bar), wodurch sich der Einspritzdruck sehr gut an die unterschiedlichen Motorbelastungen anpassen lässt. Auch der Einspritzzeitpunkt und die Einspritzmenge lassen sich über Magnet- oder Piezoventil beliebig steuern. Außerdem sind Vor- und Nacheinspritzungen möglich (beim System mit Piezoventil zwei Vor- und zwei Nacheinspritzungen).

Steuerung und Regelung des Systems mittels EDC erfolgen analog zum Common Rail-System.

Funktionsprinzip. Eine Kraftstoffpumpe fördert den Kraftstoff vom Tank zu einem Verteilerrohr und von dort zu den Pumpe-Düse-Elementen. Die von der Nockenwelle betätigten Pumpenkolben bauen den Hochdruck auf, der von den Injektoren direkt in den Brennraum eingespritzt wird. Das Steuergerät steuert das Magnet- oder Piezoventil an und regelt hierüber Einspritzdruck, Einspritzmenge und Einspritzzeitpunkt.

PDE = Einspritzsystem mit Pumpe-Düse-Einheit (auch **UIS** = Unit Injector System)

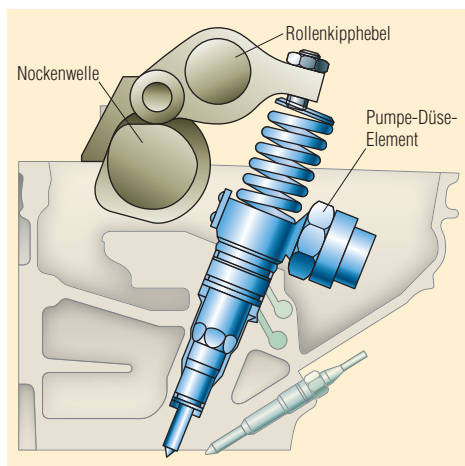
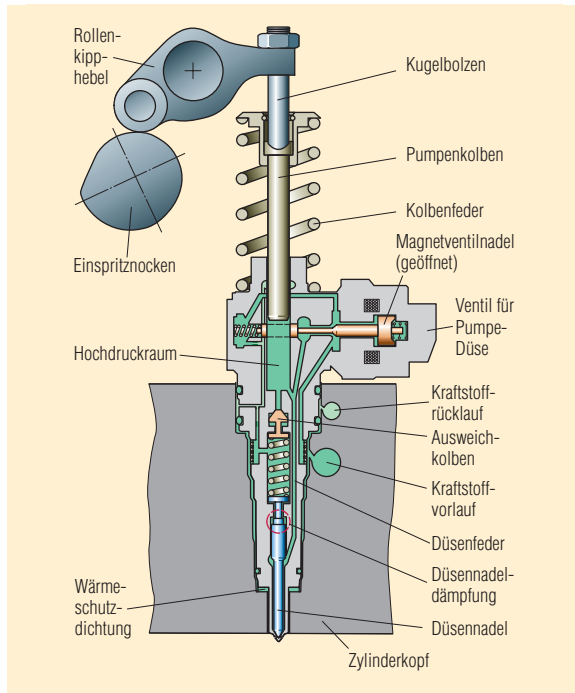


Bild 11.54 Einbaulage des Pumpe-Düse-Elementes.

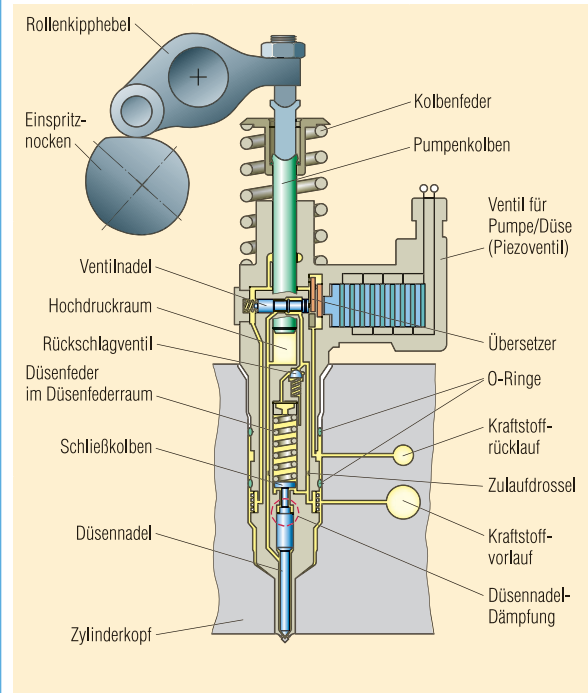
Kraftstoffversorgung. Die Kraftstoffversorgung erfolgt über Förderpumpe, Feinfilter sowie Vor- und Rückleitungssystem. Im Rücklauf befindet sich ein Kraftstoffkühler, da der Kraftstoff durch die hohen Drücke sehr stark erwärmt wird.

Die Tabellen 11.10 und 11.11 zeigen zusammengefasst die Arbeitsweise und Hauptmerkmale der beiden Systeme mit Magnetventil und Piezoventil.

Pumpe-Düse-Einheit mit Magnetventil



Pumpe-Düse-Einheit mit Piezoventil



Saughub. Der entlastete Pumpenkolben wird von der Kolbenfeder nach oben gedrückt. Dadurch kann der Kraftstoff über den Vorlaufkanal und das geöffnete Magnet- oder Piezoventil in den Hochdruckraum fließen.

Vorhub. Wenn der Pumpenkolben vom Kipphebel nach unten gedrückt wird, fließt der Kraftstoff aus dem Hochdruckraum in den Vorlauf zurück.

Voreinspritzung. Das Magnetventil schließt, sodass die Verbindung zwischen Hochdruckraum und Niederdruckteil geschlossen wird. Es kommt zu einem raschen Druckanstieg im Hochdruckraum und damit auch an der Düsenadel. Bei ca. 180 bar öffnet sich die Düsenadel gegen die Düsenfeder und die Voreinspritzung beginnt. Da sich der Pumpenkolben noch immer nach unten bewegt, kommt es zu einer weiteren Drucksteigerung im Hochdruckraum. Der darunter befindliche Ausweichkolben bewegt sich nach unten, wodurch es zu einem raschen Druckabfall im Hochdruckraum und an der Düsenadel kommt. Die Voreinspritzung endet. Außerdem wird durch die Bewegung des Ausweichkolbens die Vorspannung der Düsenfeder erhöht. Dadurch muss der Druck im Hochdruckraum und an der Düsenadel höher sein (ca. 300 bar), um die anschließende Haupteinspritzung auszulösen.

Voreinspritzung. Der Piezoaktor wird angesteuert und rückt aus. Die Hebelübersetzung im Übersetzer führt zu einer Vergrößerung des Hubweges auf ca. 0,1 mm, was ausreicht um die Ventilsadel zu schließen. Die Verbindung zwischen Hochdruckraum und Niederdruckteil wird geschlossen und der Druck im Hochdruckraum und an der Düsenadel steigt. Bei ca. 130 bar öffnet die Düsenadel, die Voreinspritzung beginnt.

Die Voreinspritzung wird durch Öffnen des Piezoventils beendet. Der Kraftstoffhochdruck baut sich dabei in zwei Richtungen ab. Ein Teil fließt an der Ventilsadel vorbei in den Kraftstoffvorlauf zurück. Da die Zulaufdrossel diesen Weg behindert, fließt ein anderer Teil über das sich öffnende Rückschlagventil in den Düsenfederraum. Somit wird die Düsenadel durch die Düsenfeder und durch den Druck im Düsenfederraum sehr schnell geschlossen. Dieser Druck wird durch das Rückschlagventil gehalten.

Düsenadeldämpfung. Bei der Voreinspritzung wird der Hub der Düsenadel durch ein hydraulisches Polster zwischen Düsenadel und Düsengehäuse beschränkt, sodass sich sehr genau auch kleinste Einspritzmengen bei der Voreinspritzung dosieren lassen.

Haupteinspritzung. Durch den weiteren Druckanstieg wird die Haupteinspritzung eingeleitet. Der Pumpenkolben bewegt sich weiter und der Druck steigt aufgrund der sehr kleinen Düsenöffnungen bis zu einem Maximaldruck von ca. 2050 bar an.

Wird das Magnetventil nicht mehr angesteuert, wird die Verbindung zwischen Hoch- und Niederdruckteil wieder hergestellt, sodass es zu einem raschen Druckabfall im Hochdruckraum und an der Düsenadel und damit zum Schließen der Düsenadel kommt.

Haupteinspritzung. Das Piezoventil wird erneut geschlossen. Der Druck steigt durch die Abwärtsbewegung des Pumpenkolbens wieder an. Die Düsenadel öffnet wegen des höheren Druckes im Düsenfederraum erst bei einem höheren Druck als bei der Voreinspritzung. Durch die Abwärtsbewegung des Pumpenkolbens steigt der Einspritzdruck auf maximal 2200 bar an.

Wird das Piezoventil geöffnet, baut sich der Kraftstoffdruck wie bei der Voreinspritzung in den Kraftstoffvorlauf und den Düsenfederraum ab, die Düsenadel wird rasch geschlossen.

Damit der Druck im Düsenfederraum bis zum nächsten Einspritzzyklus abgebaut werden kann, entweicht der Kraftstoff über einen Leckspalt am Schließkolben in den Kraftstoffvorlauf.

Nacheinspritzung. Die Nacheinspritzung läuft wie eine Haupteinspritzung ab, jedoch sind die Einspritzdauer, Einspritzmenge und Einspritzdruck geringer.

Tabelle 11.10

Arbeitsweise der Pumpe-Düse-Einspritzsysteme.

	Pumpe-Düse-Einheit mit Magnetventil	Pumpe-Düse-Einheit mit Piezoventil
Pumpenkolben-Durchmesser in mm	8,0	6,35
minimaler Einspritzdruck in bar	160	130
maximaler Einspritzdruck in bar	2050	2200
mögliche Anzahl der Voreinspritzungen	1 (fest)	0 – 2 (variabel)
mögliche Anzahl der Nacheinspritzungen	0 oder 2	0 – 2 (variabel)
Abstand zwischen Vor-, Haupt- und Nacheinspritzung in ° Kurbelwinkel	ca. 6 – 10 (fest)	> 6 (variabel)
Voreinspritzmenge in mm ³	ca. 1 – 3	beliebig (> ca. 0,5)
Steuerung der Voreinspritzung	Ausweichkolben (mechanisch-hydraulisch)	Piezoventil (elektronisch)
Druckanhebung für Haupteinspritzung	Ausweichkolben	Schließkolben, Rückschlagventil

Tabelle 11.11

Hauptmerkmale der Pumpe-Düse-Einspritzsysteme.

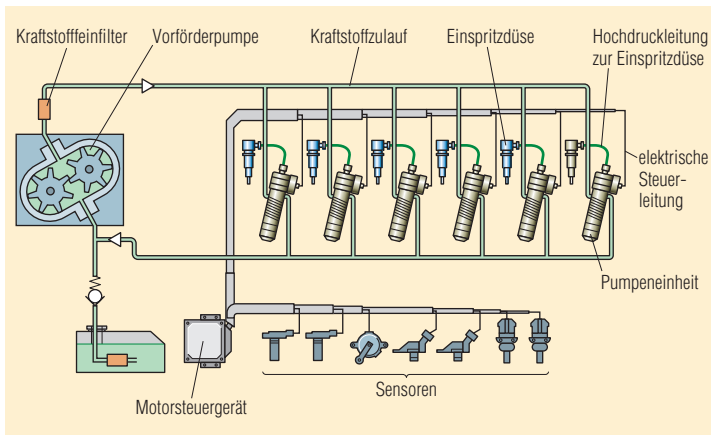


Bild 11.55 Pumpe-Leitung-Düse.

Pumpe-Leitung-Düse (PLD). Dieses System wird bei Nutzfahrzeugmotoren mit unten liegender Nockenwelle verwendet. Der grundsätzliche Aufbau entspricht dem Pumpe-Düse-System, allerdings sind die Einheiten zur Hochdruckerzeugung und die Düseninheit räumlich getrennt eingebaut und über eine kurze Hochdruckleitung miteinander verbunden (Bild 11.55). Dies ermöglicht einen steifen Antrieb, da auf Kipphebel verzichtet werden kann, und eine einfache Demontage der Pumpeneinheiten beim Kundendienst. Alle Funktionen zur Regelung von Einspritzzeitpunkt und Einspritzmenge entsprechen dem Pumpe-Düse-System.

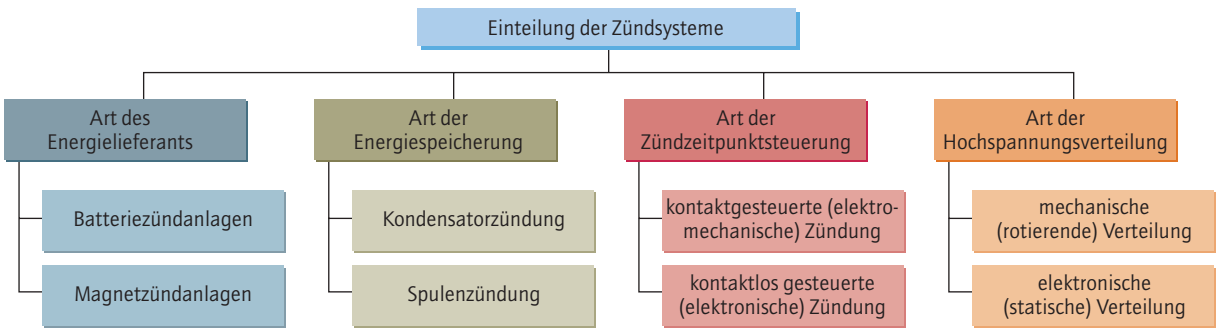
Arbeitsaufträge

1. Welche Auswirkung bezüglich der Höchstdrehzahl ergeben sich durch den Zündverzug beim Diesekraftstoff?
2. Vergleichen Sie die Methoden der Geräuschdämpfung bei mechanischen und elektronischen Einspritzsystemen.
3. Wann spricht man von Einspritzventilen, wann von Einspritzdüsen?
4. Stellen Sie die wichtigsten Vor- und Nachteile der Reiheneinspritzpumpe und der Axialkolben-Verteilereinspritzpumpe zusammen. Stellen Sie fest, seit wann die Systeme üblich sind oder ob sie noch üblich sind.
5. Vergleichen Sie die Baugruppen der Common-Rail-Dieseleinspritzung und der Motronic bei der Benzineinspritzung.
6. Bei welchen Diesel-Einspritzsystemen ist ein Druckventil erforderlich?
7. Erklären Sie Freunden oder Verwandten, die von Fahrzeugmotoren keine Ahnung haben, die Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Besonderheiten der Gemischaufbereitung bei Otto- und bei Dieselmotoren.

12 Zündsysteme

Aufgaben. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird bei allen Ottomotoren durch Fremdzündung mittels eines Zündfunken entflammt. Die Zündsysteme haben im Ottomotor folgende Aufgaben:

- die erforderliche Zündenergie zur Entflammung des Kraftstoff-Luft-Gemischs bereitstellen,
- den Zündzeitpunkt in Abhängigkeit von den verschiedenen Betriebsbedingungen verstellen,
- die Hochspannung auf die einzelnen Zündkerzen verteilen.



In modernen Kraftfahrzeugen werden überwiegend Batteriezündanlagen mit einer Zündspule als Energiespeicher eingesetzt.

Zündaussetzer müssen in jedem Fall verhindert werden, da unverbrannte Kohlenwasserstoffe zur Zerstörung des Katalysators durch Überhitzung führen können. Zudem können über

eine exakte Steuerung des Zündzeitpunkts die Schadstoffemission, der Kraftstoffverbrauch und die Leistungscharakteristik des Motors wesentlich beeinflusst werden. Deshalb wurden die mechanischen Teile der Spulenzündanlagen immer mehr durch elektronische Bauelemente ersetzt. Tabelle 12.1 zeigt die Entwicklung der Spulenzündanlagen.

Bezeichnung	Zündauslösung	Zündwinkelverstellung	Hochspannungsverteilung
konventionelle Spulenzündung SZ	mechanisch (Unterbrecherkontakt)	mechanisch (Zündverteiler)	mechanisch (Zündverteiler)
transistorisierte Spulenzündung TSZ-k, TSZ-I, TSZ-H (Schaltgerät in herkömmlicher Schaltungstechnik)	elektronisch (Schaltgerät)	mechanisch (Zündverteiler)	mechanisch (Zündverteiler)
Transistorzündung TZ-I, TZ-H (Schaltgerät in Hybridtechnik)	elektronisch (Schaltgerät)	mechanisch (Zündverteiler)	mechanisch (Zündverteiler)
elektronische Zündung EZ	elektronisch (Schalt- oder Steuergerät)	elektronisch (Steuergerät)	mechanisch (Hochspannungsverteiler)
vollelektronische Zündung VZ	elektronisch (Steuergerät)	elektronisch (Steuergerät)	elektronisch (Einzel-, Zwei- oder Vierfunken-Zündspule)

Abkürzungen: **k** = kontaktgesteuert, d. h. mit Unterbrecherkontakt, **I** = mit Induktionsgeber, **H** = mit Hallgeber

Tabelle 12.1

Spulenzündungen im Überblick.

12.1 Hochspannungserzeugung

Durchbruchspannung: Spannung im Zeitpunkt des Funkenüberschlags (= Zündspannung).

stöchiometrisches Gemisch → S. 227

Die zur Entzündung des Kraftstoff-Luft-Gemischs benötigte Energie beträgt etwa 0,2 mJ (bei **stöchiometrischem homogenem Gemisch**) bis 3 mJ (bei sehr fettem oder magerem Gemisch). Die Zündung erfolgt, wenn eine ausreichend hohe Temperatur auf das Gemisch einwirkt. Diese Temperatur entsteht durch einen Lichtbogen

(Zündfunke) an der Zündkerze. Damit die Elektronen den hohen Widerstand der Funkenstrecke überwinden können, muss an der Zündkerze eine Spannung von 8 kV bis 15 kV (Durchbruchspannung) anliegen.

Die Höhe der Zündspannung hängt von verschiedenen Faktoren ab (Tabelle 12.2).

Für den Zündspannungsbedarf maßgebende Faktoren	Zündspannung ...	
	... höher	... niedriger
Elektrodenabstand	groß	klein
Elektrodenzustand	abgebrannt	neuwertig
Elektrodenform	rund, dick	scharfkantig, dünn
Elektrodenmaterial	ungeeignet	geeignet
Polarität der Mittelelektrode	positiv	negativ
Temperatur an den Elektroden im Brennraum	niedrig	hoch
Gemischzusammensetzung	mager, sehr fett	stöchiometrisch bis mäßig fett
Gemischverdichtung (Kompression)	hoch	niedrig
Tabelle 12.2	Abhängigkeit des Zündspannungsbedarfs.	

Induktion → S. 102

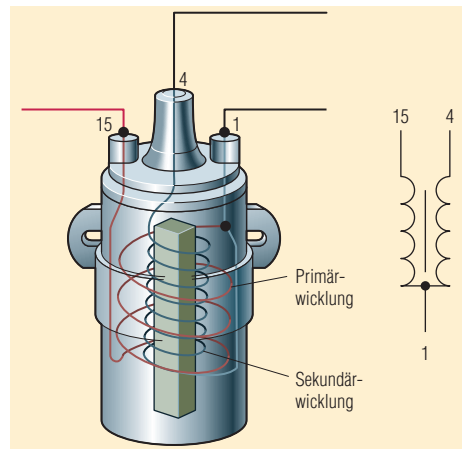


Bild 12.1 Konventionelle Zündspule und Schaltbild.

Die für einen Funkenüberschlag benötigte Zündspannung wird in der Zündspule nach dem **Induktionsprinzip** gebildet. In der Sekundärwicklung (Bild 12.1) wird eine Spannung induziert, wenn der Primärstromkreis geschlossen (Magnetfeldaufbau) bzw. geöffnet wird (Magnetfeldabbau). Die Stärke der Sekundärspannung ist umso höher,

- je stärker der Primärstrom und damit das Magnetfeld ist,
- je mehr Windungen die Sekundärwicklung im Verhältnis zur Primärwicklung hat und
- je kürzer die Zeit ist, in der sich das Magnetfeld ändert.

Aufbau des Magnetfeldes. Der Primärstrom fließt beim Einschalten durch die Primärwicklung und baut dort ein Magnetfeld auf. In der Sekundärwicklung wird eine Spannung induziert. In der Primärwicklung wird durch Selbstinduktion ebenfalls eine Spannung induziert. Sie wirkt der anliegenden Batteriespannung entgegen und verzögert dadurch den raschen Anstieg

des Primärstromes und damit auch den Aufbau des Magnetfeldes. Die induzierte Sekundärspannung erreicht lediglich Werte von 1 kV bis 2 kV, was nicht für einen Funkenüberschlag reicht.

Abbau des Magnetfeldes. Beim Öffnen des Primärstromkreises bricht das Magnetfeld zusammen und induziert wieder in beiden Wicklungen eine Spannung. Durch den Einsatz eines Zündkondensators wird der Zusammenbruch des Magnetfeldes nun aber beschleunigt und somit erreichen die induzierten Spannungen erheblich höhere Werte als beim Aufbau des Magnetfeldes (primär 200 V bis 400 V, sekundär 20 kV bis 40 kV). Es kommt zum Funkenüberschlag an der Zündkerze.

Arbeitsaufträge

1. Warum ist der Einsatz der Elektronik in modernen Zündanlagen unbedingt notwendig?
2. Welche Faktoren zur Beeinflussung der Sekundärspannung sind konstruktionsbedingt und welche Faktoren lassen sich während des Betriebs einer Zündanlage verändern?
3. Warum springt der Zündfunken erst beim Ausschalten des Primärstroms?

12.2 Primärstrom

Die Höhe des Primärstroms ist entscheidend für die Höhe der induzierten Sekundärspannung. Darum sollte mit möglichst großem Primärstrom gearbeitet werden. Die Primärstromstärke wird allerdings durch den verwendeten Schalter zur Unterbrechung des Primärstroms begrenzt (Unterbrecherkontakt ca. 5 A, Schalttransistor ca. 30 A). Auch die verwendete Zündspule beeinflusst die Primärstromstärke.

Zündspule II in Tabelle 12.3 hat einen geringeren Widerstand der Primärwicklung. Dadurch ergeben sich ein größerer Primärstrom, eine

höhere gespeicherte Zündenergie und eine höhere Sekundärspannung. Aber auch die Verlustwärme ist größer, sodass es bei längerer Einschaltdauer des Primärstroms zu einer Überhitzung der Spule kommen kann. Dies muss durch eine Regelung des Primärstroms verhindert werden.

Zündspule II ist für kontaktgesteuerte Zündsysteme nicht zu verwenden. Die Verwendung eines Unterbrecherkontakts begrenzt den Primärstrom auf 5 A, da bei größeren Stromstärken die Kontaktflächen verbrennen.

	Zündspule I (für kontaktgesteuerte Zündsysteme)	Zündspule II (für elektronische Zündsysteme)
Nennspannung	$U = 12 \text{ V}$	$U = 12 \text{ V}$
Primärwiderstand	$R = 2,93 \text{ } \Omega$	$R = 1,46 \text{ } \Omega$
Primärstromstärke	$I = \frac{U}{R} = 4,1 \text{ A}$	$I = \frac{U}{R} = 8,2 \text{ A}$
Primärinduktivität	$L = 0,00625 \text{ H}$	$L = 0,004 \text{ H}$
gespeicherte Zündenergie	$W = 0,5 \cdot L \cdot I^2 = 0,05 \text{ J}$	$W = 0,5 \cdot L \cdot I^2 = 0,13 \text{ J}$
Verlustwärme	$P = U \cdot I = 49,2 \text{ W}$	$P = U \cdot I = 98,4 \text{ W}$
Sekundärspannung	$U_2 \approx 20 \text{ kV}$	$U_2 \approx 40 \text{ kV}$
Primärspannung	$U_1 \approx 200 \text{ V}$	$U_1 \approx 400 \text{ V}$
Tabelle 12.3	Zündspulen im Vergleich.	

Ruhestrom:

Stromstärke, die sich in einer Spule einstellt, wenn das Magnetfeld vollständig aufgebaut ist.

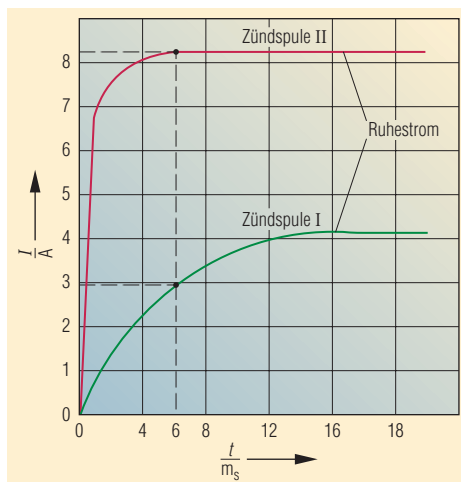


Bild 12.2 Zeitlicher Verlauf des Primärstroms verschiedener Zündspulen.

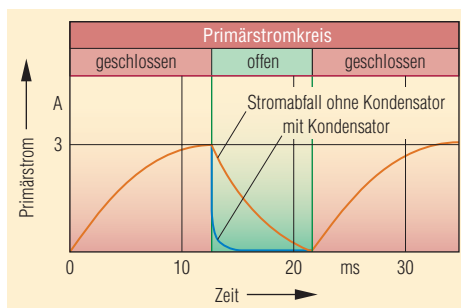


Bild 12.3 Primärstromverlauf mit und ohne Kondensator.

Je geringer die Induktivität der Primärwicklung ist, desto schneller erreicht der Primärstrom seinen Ruhestromwert (Bild 12.2), aber dabei verringert sich die gespeicherte Zündenergie W . Dies kann jedoch durch einen höheren Primärstrom ausgeglichen werden, den man durch einen geringeren Widerstand der Primärwicklung erreicht.

Zündspule I erreicht bei kürzerer Einschaltdauer nicht ihren Ruhestrom. Sinkt die Zeit bei höherer Motordrehzahl z. B. auf 6 ms , so erreicht der Primärstrom nur noch einen Wert von ca. 3 A. Unter ungünstigen Brennraumbedingungen kann es bei hohen Motordrehzahlen zu Zündaussetzern kommen. Zündspule II dagegen erreicht ihren vollen Ruhestrom schneller.

In elektronischen Zündsystemen werden Zündspulen mit geringem Widerstand und geringer Induktivität verwendet. Dies ergibt einen schnellen Primärstromanstieg bei gleichzeitig hoher Zündenergie und damit einen zuverlässigen Zündfunken auch bei hohen Motordrehzahlen.

Beim Ausschalten des Primärstroms verhindert die Selbstinduktionsspannung einen schnellen Abfall des Primärstroms. In kontaktgesteuerten Zündanlagen lädt der in der Primärspule fließende Strom nach dem Öffnen des Unterbrecherkontakts einen Kondensator auf und beschleunigt dadurch den Abfall des Primärstroms (Bild 12.3).

Ist der Ladevorgang des Kondensators abgeschlossen, entlädt er sich über die Primärwicklung. Die Restenergie pendelt nach dem Unterbrechen des Primärstromkreises zwischen Primärwicklung und Kondensator mit einer Frequenz von 1 kHz bis 3 kHz hin und her und wird durch die Widerstände gedämpft. Diesen Ausschwingvorgang kann man im **Zündoszillogramm** erkennen.

Zündoszillogramm
→ S. 283

Arbeitsaufträge

1. Worin unterscheiden sich Zündspulen für kontaktgesteuerte Zündsysteme von denen für elektronische Zündsysteme?
2. Warum kommen die unterschiedlichen Zündspulen zum Einsatz?

12.3 Zündzeitpunkt

Der Zündzeitpunkt ist so zu wählen, dass der Verbrennungsdruck kurz nach OT seinen Höchstwert erreicht. Das gewährleistet hohe Motorleistung bei geringem Verbrauch und geringere Schadstoffemissionen ohne klopfende Verbrennung (Bild 12.4).

Klopfende Verbrennung. Wird das Gemisch zu früh gezündet, steigt der Druck im Brennraum schon während der Aufwärtsbewegung des Kolbens so stark an, dass dieser abgebremst wird. Es kommt wegen der hohen Kompressionswärme zu einer Selbstzündung des Gemischs und dadurch zu mehreren Zündkernen im Brennraum. Die aufeinander treffenden Flammfronten führen zu starken Druckschwankungen (Bild 12.5), welche bei niedrigen Drehzahlen hörbar sind (Beschleunigungsklopfen). Bei hohen Drehzahlen (Hochdrehzahlklopfen) führen sie zu schweren Motorschäden.

Bei zu spätem Zündzeitpunkt sinkt wegen des geringeren Verbrennungsdrucks die Motorleistung und der Verbrauch steigt an.

Der Zündwinkel α_z hängt vor allem von den Einflussgrößen Last und Drehzahl ab. Da die Zeit zur vollständigen Verbrennung des Gemischs auch bei steigender Drehzahl weitestgehend konstant bleibt, muss früher gezündet werden. Die Last beeinflusst Zündverzug und Brenngeschwindigkeit des Gemischs. Das magere Gemisch im Teillastbereich zündet später und verbrennt langsamer, sodass der Zündzeitpunkt vorverlegt werden muss. Um bei Schiebebetrieb oder im Leerlauf günstigere Abgaswerte zu erzielen ist eine Spätverstellung sinnvoll.

Die **Zündverstellung** erfolgt entweder mechanisch im Zündverteiler oder elektronisch im Steuergerät.

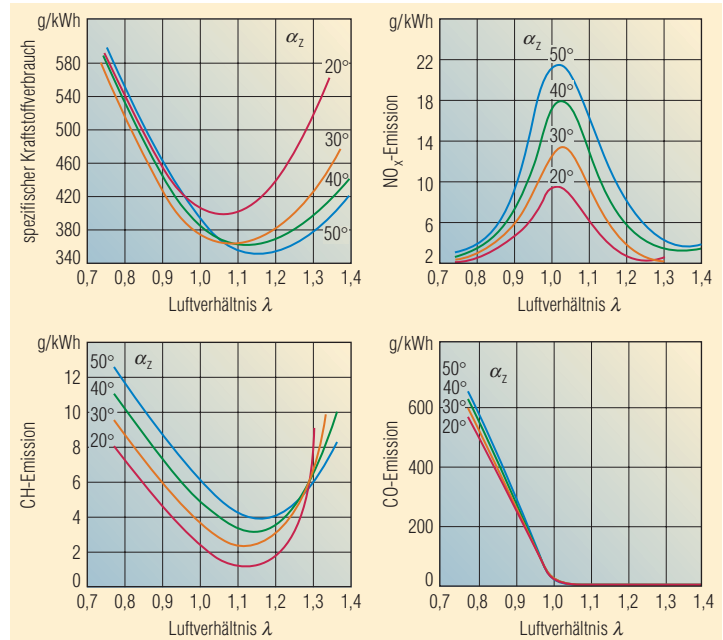


Bild 12.4 Einfluss des Zündwinkels α_z auf Verbrauch und Schadstoffemission.

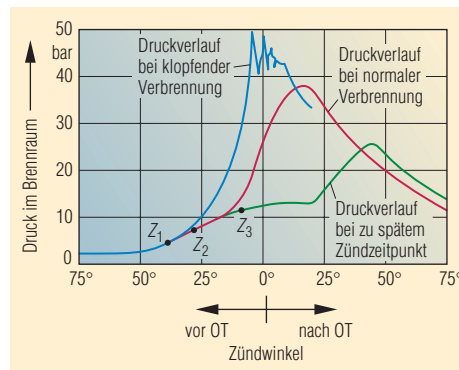


Bild 12.5 Druckverlauf im Brennraum in Abhängigkeit vom Zündwinkel.

Zündverstellung
→ S. 268, S. 272,
S. 274

Arbeitsaufträge

1. Welchen Einfluss hat der Zündzeitpunkt auf Verbrauch und Schadstoffemission eines Motors?
2. Welchen Einfluss haben Last und Drehzahl auf den Zündzeitpunkt?

12.4 Konventionelle Spulenzündung (SZ)

Am Beispiel der konventionellen Zündanlage werden der grundsätzliche Aufbau und die benötigten Bauteile einer Zündanlage erläutert.

12.4.1 Aufbau und Funktion

Der Zünd-Start-Schalter verbindet den Pluspol der Batterie mit Klemme 15 der Zündspule (Bild 12.6). Klemme 1 der Zündspule liegt über den Unterbrecherkontakt an Masse. Der Kontakt öffnet und schließt den Primärstromkreis. Der Kon-

densator ist parallel zum Unterbrecherkontakt geschaltet und wird während des Öffnens über die Primärwicklung geladen.

Die Hochspannung wird von Klemme 4 der Sekundärwicklung über den Zündverteiler und die Hochspannungsleitungen zu den Zündkerzen geleitet. Dort wird der Sekundärstromkreis geschlossen, wenn der Zündfunke überspringt. Der Strom fließt dann über Masse, Batterie, Primärwicklung und Klemme 1 wieder zur Sekundärwicklung. Das Gemisch wird entzündet.

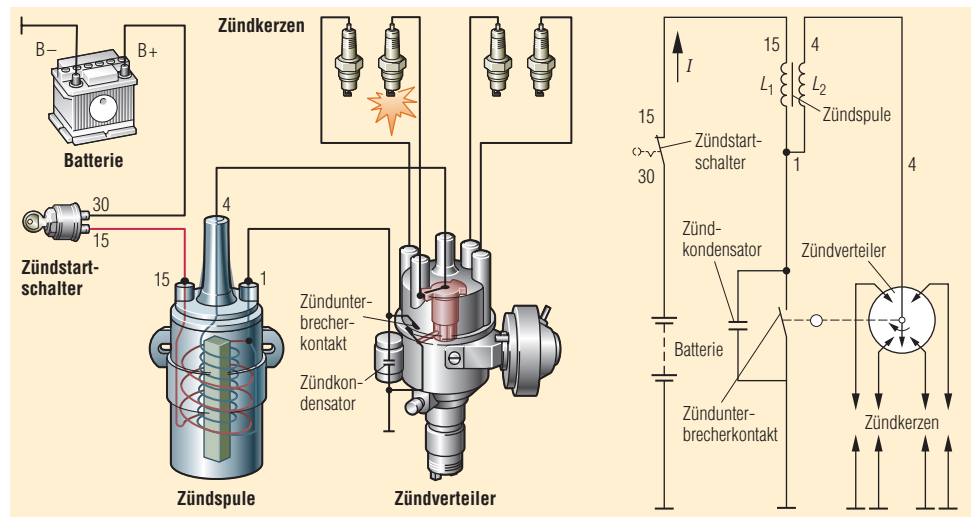


Bild 12.6 Anschlussplan und Schaltplan einer konventionellen Spulenzündung.

12.4.2 Zündspule

Die Zündspule (Bild 12.7) hat die Aufgabe die Batteriespannung in die Zündspannung zu transformieren. Primär- und Sekundärwicklung sind in einer Sparschaltung angeordnet (Klemme 1 wird gemeinsam genutzt). Die Wicklungen bestehen aus isoliertem Kupferdraht, wobei die Primärwicklung zur besseren Wärmeableitung auf die Sekundärwicklung gewickelt wird.

Klemme 4 liegt am Ende der Sekundärwicklung, Klemme 15 am Ende der Primärwicklung, Klemme 1 liegt über den Unterbrecher an Masse. Zur Isolation und Fixierung ist die Zündspule mit einer Vergussmasse aus Asphalt oder Öl gefüllt.

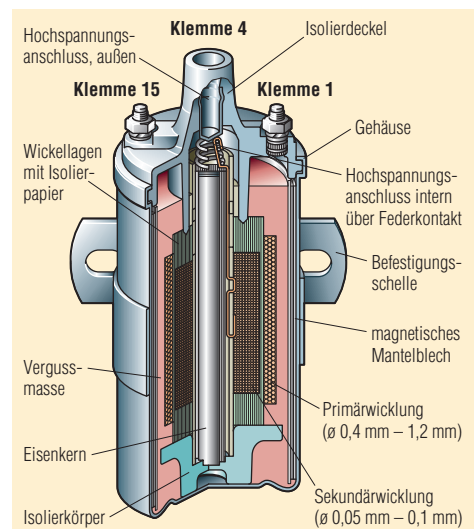


Bild 12.7 Zündspule im Schnitt.

12.4.3 Zündkondensator

Der Zündkondensator besteht aus zwei voneinander isolierten Metallfolien, die auf eine Hülse aufgewickelt sind. Die Folien sind mit zwei Anschlüssen versehen (Bild 12.8).

Er hat in kontaktgesteuerten Zündanlagen die Aufgabe den Zusammenbruch des Magnetfeldes zu beschleunigen und ein Kontaktfeuer zu vermeiden.

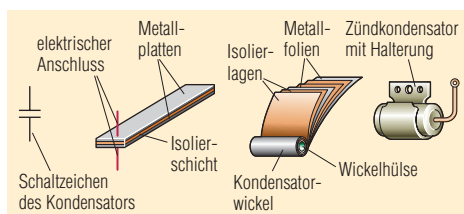


Bild 12.8 Zündkondensator.

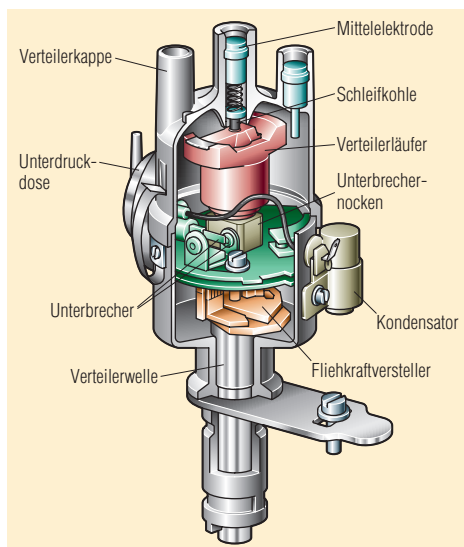


Bild 12.9 Zündverteiler.

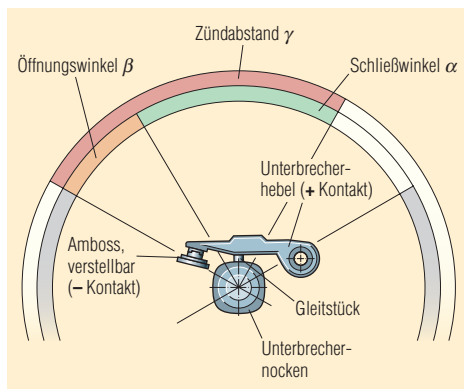


Bild 12.10 Zündunterbrecher.

12.4.4 Zündverteiler

Der Zündverteiler (Bild 12.9) hat die Aufgabe den Zündfunken entsprechend der Zündfolge des Motors auf die Zündkerzen zu verteilen. Dazu wird der Verteilerläufer von der Verteilerwelle mit halber Kurbelwellendrehzahl gedreht. Die Verteilerwelle wird durch eine Verzahnung oder eine Kupplung von der Kurbel- oder der Nockenwelle angetrieben.

Die Hochspannung wird über die Mittelelektrode der Verteilerkappe und einen Schleifkontakt auf den Verteilerläufer geleitet. Von dort springt ein Funke über einen Luftspalt von ca. 0,5 mm zu einer der im Verteilerdeckel eingepressten Festelektroden.

In der konventionellen Spulenzündanlage sind im Zündverteiler zusätzlich der Kondensator, der Unterbrecherkontakt und die Zündversteller untergebracht.

Kontaktfeuer: Abrissfunken am Unterbrecherkontakt

12.4.5 Zündunterbrecher

Der Zündunterbrecher ist ein Schalter, der von den Nocken der Verteilernockenwelle betätigt wird. Diese dreht mit Nockenwellendrehzahl. Je Umdrehung muss der Kontakt daher entsprechend der Anzahl der Zylinder betätigt werden. Bei einem 4-Zylinder-Motor befinden sich vier Nocken auf der Verteilernockenwelle, der Zündabstand γ beträgt somit 90° (Bild 12.10). Die Kontakte sind wegen der hohen thermischen und mechanischen Belastung aus Wolfram gefertigt.

Der Zündabstand ergibt sich aus der Summe von Öffnungswinkel β , und Schließwinkel α ($\gamma = \alpha + \beta$).

Zündabstand γ :
Abstand zwischen zwei Zündfunken in Grad der Verteilernockenwelle
 $\gamma = 360^\circ / i$
(i = Zylinderzahl)

Öffnungswinkel β :
Drehwinkel der Verteilernockenwelle, während dem der Unterbrecherkontakt geöffnet ist.

Schließwinkel α :
Drehwinkel der Verteilernockenwelle, während dem der Unterbrecherkontakt geschlossen ist.

Durch Verstellen des Kontaktabstands kann der Schließwinkel eingestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass sich gleichzeitig auch der Zündzeitpunkt verstellt (Bild 12.11). Häufig wird der Schließwinkel als Prozentwert angegeben, wo bei der Zündabstand γ 100% entspricht. Der Schließwinkel beeinflusst außerdem die Schließzeit t_s , während der der Primärstromkreis geschlossen ist.

12.4.6 Zündversteller

Zur Anpassung des Zündzeitpunktes an Motordrehzahl und Lastzustand werden zwei Zündverstellereinrichtungen eingesetzt, die sich beide im Zündverteiler befinden:

- Fliehkraftversteller für die drehzahlabhängige Zündzeitpunktverstellung,
- Unterdruckversteller für die lastabhängige Zündzeitpunktverstellung.

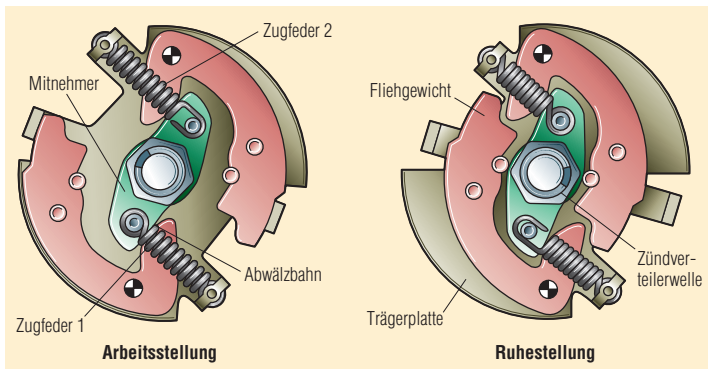


Bild 12.12 Fliehkraftversteller.

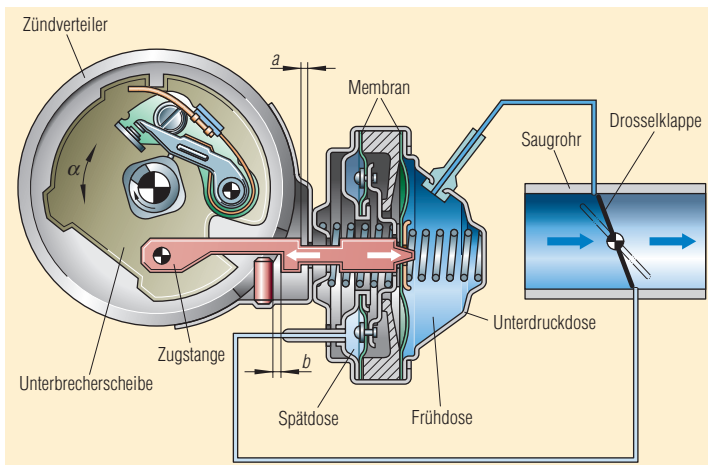


Bild 12.13 Unterdruckversteller.

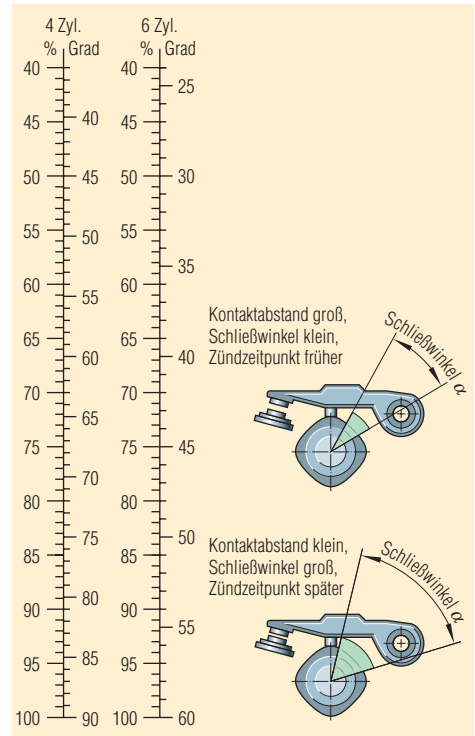


Bild 12.11 Kontaktabstand und Schließwinkel.

Fliehkraftversteller (Bild 12.12). Im Verteilergehäuse befindet sich eine Trägerplatte, die mit der Verteilerwelle fest verbunden ist. Auf ihr sind Fliehgewichte drehbar gelagert, die mit zunehmender Drehzahl der Verteilerwelle nach außen gedrückt werden. Dadurch wird die Verteilernockenwelle in Drehrichtung verstellt. Dies ist möglich, da sie nicht fest mit der Verteilerwelle verbunden ist. Es erfolgt eine Zündzeitpunktverstellung in Richtung „früh“. Mit unterschiedlichen Zugfedern kann der Verlauf der Zündverstellkennlinie den Motorbetriebszuständen angepasst werden.

Unterdruckversteller (Bild 12.13). Der Unterbrecher ist auf einer drehbaren Grundplatte (Unterbrecherscheibe) befestigt. Diese wird über eine Zugstange durch den auf eine Membran wirkenden Unterdruck im Saugrohr verdreht, sodass der Unterbrecher gegenüber der Verteilernockenwelle verstellt wird.

Arbeitsaufträge

1. Warum ist der Zündkondensator parallel zum Zündunterbrecher geschaltet?
2. Begründen Sie die unterschiedlichen Drahtdurchmesser für Primär- und Sekundärwicklung.
3. Warum läuft die Verteilerwelle nur mit halber Kurbelwellendrehzahl?
4. In welcher Reihenfolge müssen Kontaktabstand und Zündzeitpunkt eingestellt werden?
5. Warum spricht man bei der Zündzeitpunktverstellung durch den Unterdruckversteller auch von einer Teillastverstellung?

12.5 Elektronische Batteriezündanlagen

Nur durch den Einsatz von Elektronik können die steigenden Anforderungen in modernen Verbrennungsmotoren nach möglichst hoher Zündenergie erfüllt werden:

- höhere Motordrehzahlen,
- mageres Gemisch in Magermotoren,
- höhere Verdichtungen.

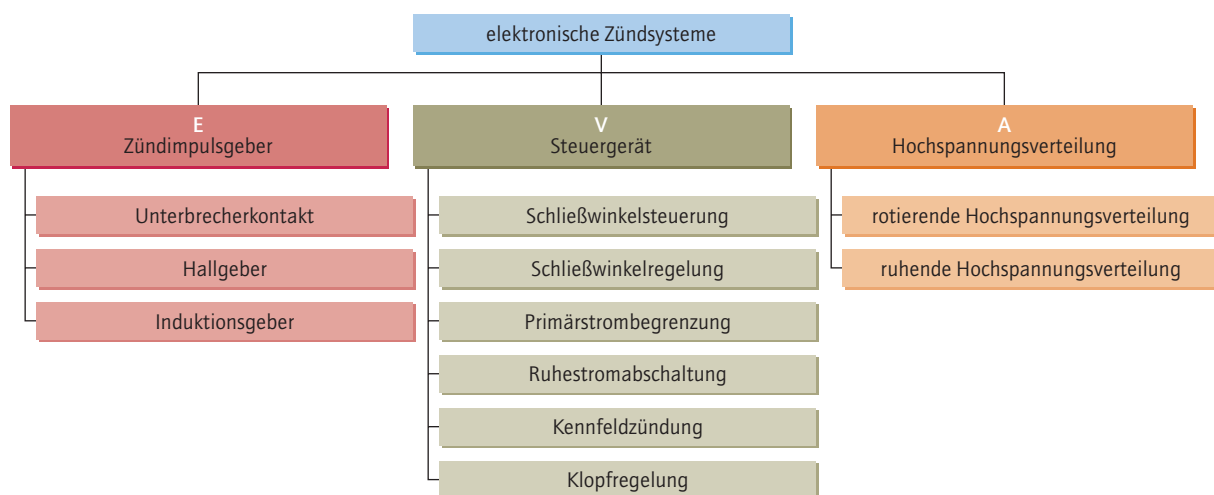
Vorteile elektronischer Zündsysteme sind:

- höhere Zündenergie,
- höhere Zuverlässigkeit (keine Zündaussetzer),
- geringere Abmessungen und Gewicht,
- geringere Kosten (weniger Verschleiß, Einsatz von Hybridtechnik).

Alle elektronischen Zündsysteme arbeiten nach dem EVA-Prinzip.

Hybridtechnik:

Elektronische Bauelemente werden in Form dünner Metall- und Oxidschichten auf einen Keramikträger aufgedampft.



12.5.1 Zündimpulsgeber

In elektronischen Zündsystemen werden verschiedene Sensoren eingesetzt, deren Aufgabe es immer ist, dem Steuergerät die Information zur Auslösung des Zündimpulses zu geben:

- Unterbrecherkontakt (in kontaktgesteuerten elektronischen Zündsystemen TSZ-k und TZ-k),
- Hallgeber,
- Induktionsgeber.

Kontaktgesteuerte elektronische Zündsysteme (Bild 12.14). Über den Unterbrecherkontakt wird nicht der hohe Primärstrom geleitet, sondern nur der kleine Steuerstrom für einen Leistungstransistor. Dieser sperrt den Primärstromkreis, wodurch die Zündspannung induziert wird.

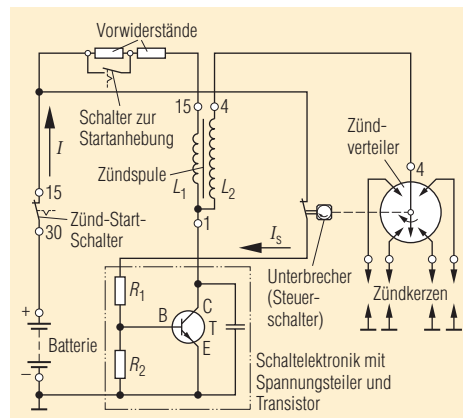


Bild 12.14 Vereinfachter Schaltplan der TZ-k.

Startanhebung. In elektronischen Zündsystemen werden Zündspulen mit niedrigem Primärwiderstand eingesetzt. Im Betrieb begrenzen die Vorwiderstände (Bild 12.14) den Primärstrom um eine Überlastung der Zündspule zu verhindern. Beim Starten des Fahrzeugs wird einer der Vorwiderstände überbrückt, wodurch die Absenkung der Batteriespannung während des Startvorgangs aufgefangen wird.

Der niedrigere Steuerstrom verringert das Kontaktfeuer zwar wesentlich, eine Wartung des Unterbrecherkontakts ist aber immer noch erforderlich. Das lässt sich durch den Einsatz von Induktions- oder Hallgebern vermeiden.

Induktionsgeber (Bild 12.15). Der Zündverteiler ist äußerlich nur an der zweiadrigen Geberleitung zu erkennen. Im Inneren des Verteilergehäuses befindet sich der fest stehende Stator aus Dauermagnet, Induktionswicklung und weichmagnetischem Kern. Gegen diese feste Anordnung dreht sich der von der Verteilerwelle angetriebene ebenfalls weichmagnetische Rotor (Impulsgebernrad). Rotor und Kern haben zackenförmige Fortsätze, die Rotor- und Statorzacken. Die Anzahl der Zylinder bestimmt die Anzahl der Rotorzacken.

Dreht sich der Rotor, wird der Luftspalt zwischen Rotor- und Statorzacken periodisch verändert. In der Induktionswicklung wird eine Wechselspannung induziert, deren Höhe (ca. 0,5 V bis ca. 100 V) und Frequenz sich mit der Drehzahl verändern (Bild 12.15).

Wird die Geberspannung negativ, sperrt der Leistungstransistor im Steuergerät den Primärstrom (Zündzeitpunkt t_z). Im Steuergerät kann der Zündzeitpunkt zusätzlich verändert werden.

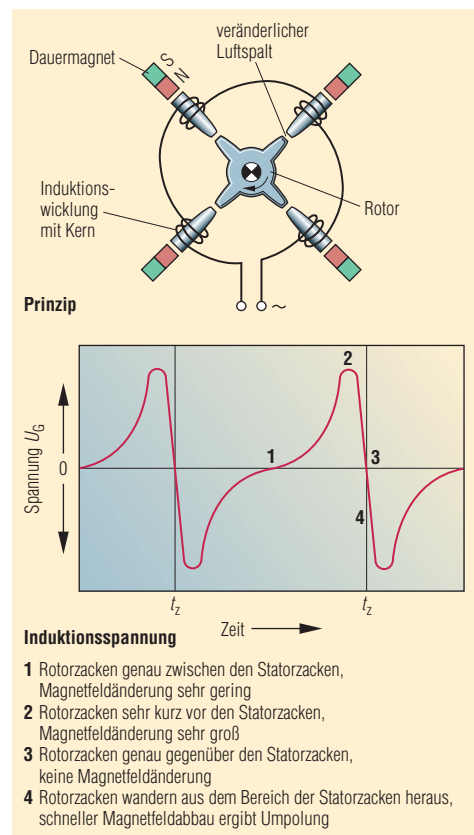


Bild 12.15 Induktionsgeber und Verlauf des Induktionsgeber-Signals.

Hallgeber (Bild 12.16). Zur Erzeugung eines Zündimpulses wird der Hall-Effekt (Bild 12.17) genutzt. Dieser beschreibt, wie bewegte elektrische Ladungen durch ein Magnetfeld abgelenkt werden. Fließt beispielsweise ein Versorgungsstrom I_V durch einen Halbleiter, der gleichzeitig von einem Magnetfeld senkrecht zur Stromrichtung durchsetzt wird, so werden die Ladungsträger (Elektronen) abgelenkt. Die Ladungsverschiebung führt auf einer Seite des Halbleiters zu Elektronenmangel, an der anderen Seite zu Elektronenüberschuss, es entsteht die Hallspannung U_H von wenigen mV. Diese Anordnung bezeichnet man auch als Hall-Generator.

Die Magnetschranke mit Hall-IC und Luftspalt ist im Verteiler fest montiert. Die Verteilerwelle treibt den Blendenrotor an, dessen Blendenzahl der Zylinderzahl entspricht. Die Blenden laufen berührungslos durch den Luftspalt der Magnetschranke. Die Blendenbreite b bestimmt den maximalen Schließwinkel. Dieser ist beim Hallgeber über die gesamte Lebensdauer konstant.

Je nach Stellung der Blenden im oder außerhalb des Luftspalts wird das Magnetfeld am Hall-IC vorbei oder durch ihn hindurchgeleitet (Tabelle 12.4). Diese Änderung des Magnetfeldes führt zu einer periodischen Änderung der Hall-Spannung. Im Hall-IC wird die Hallspannung verstärkt, umgeformt und an das Steuergerät weitergegeben (Bild 12.18, S. 272). Im Steuergerät wird der Primärstrom geschaltet. Verlässt die Blende den Luftspalt, wird die Zündung ausgelöst (Bild 12.19, S. 272).

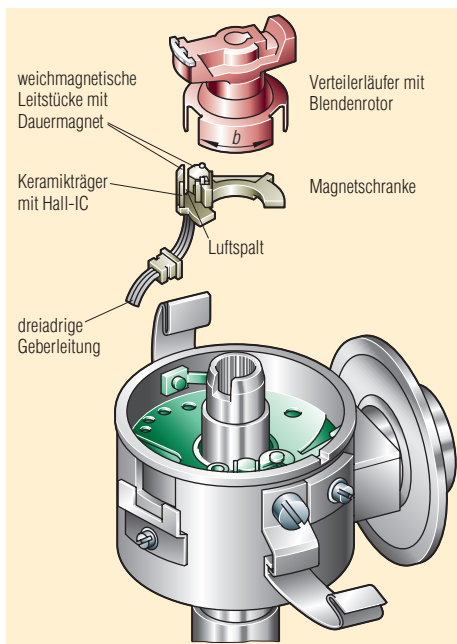


Bild 12.16 Zündverteiler mit Hallgeber.

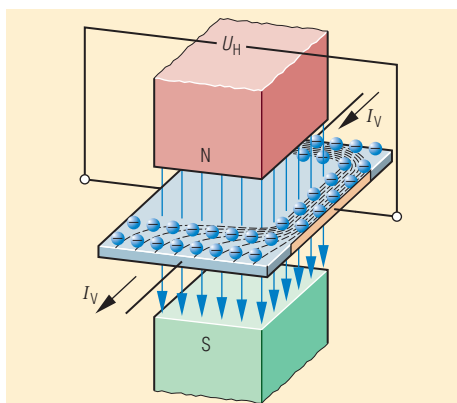


Bild 12.17 Hall-Effekt.

E. H. Hall: (1855–1938), amerikanischer Physiker, entdeckte 1879 den Hall-Effekt.

IC: Integrierte Schaltungen → S. 124

Blende	im Spalt	aus dem Spalt
Hallspannung U_H	niedrig	hoch
Geberspannung U_G	hoch	niedrig
Primärstrom I	eingeschaltet	ausgeschaltet
Tabelle 12.4	Schaltstufen des Hallgebers.	

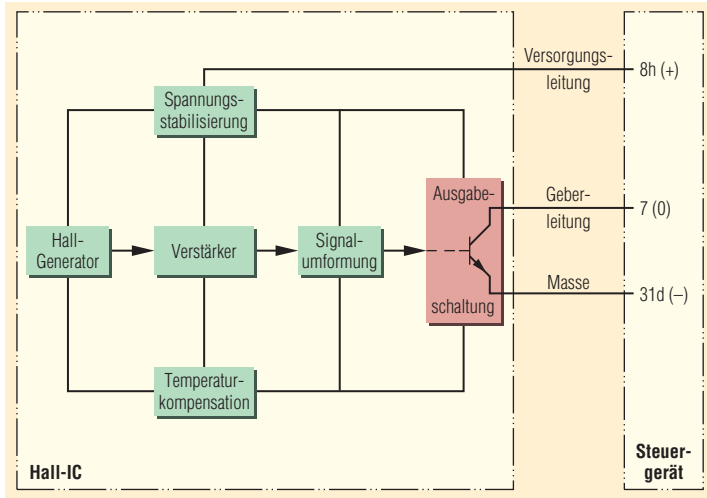


Bild 12.18 Blockschaltbild des Hall-IC.

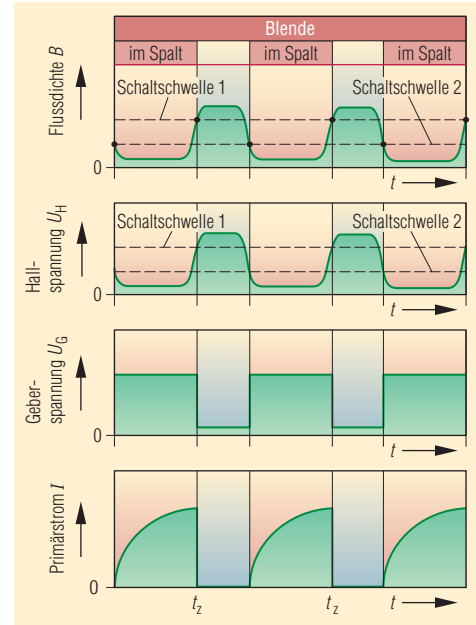


Bild 12.19 Impulsschema des Hallgebers.

12.5.2 Schließwinkelsteuerung und Schließwinkelregelung

Elektronische Zündsysteme arbeiten mit sehr schnell aufladbaren Zündspulen. Wird mit einem konstanten Schließwinkel gearbeitet, fließt der Primärstrom bei niedrigen Drehzahlen unnötig

lange, was zur thermischen Überlastung führen kann. Daher wird der Primärstrom den tatsächlichen Erfordernissen angepasst.

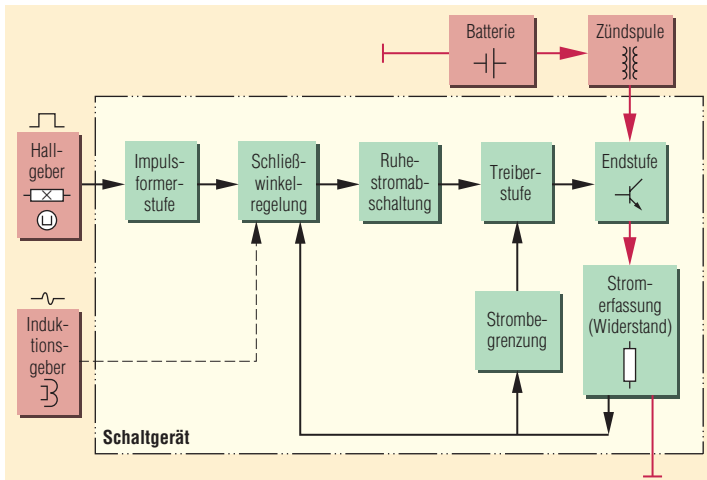


Bild 12.20 Blockschaltbild elektronischer Zündsysteme.

Schließwinkelsteuerung. Die Schließzeit wird möglichst konstant gehalten, mit zunehmender Drehzahl wird der Schließwinkel also immer mehr vergrößert. Dazu wird der Einschaltzeitpunkt für den Primärstrom immer weiter vorverlegt. Ab einer Höchstdrehzahl wird der Schließwinkel begrenzt um Zündaussetzer zu vermeiden. Der Zündfunken würde sonst durch den Schließabschnitt unterbrochen.

Schließwinkelregelung. Über einen Messwiderstand wird zusätzlich der Istwert des Primärstroms erfasst und mit einem Sollwert verglichen (Bild 12.20). Dadurch können auch Änderungen des Primärspulen-Widerstands durch Erwärmung und Schwankungen der Batteriespannung ausgeglichen werden.

12.5.3 Primärstrombegrenzung und Ruhestromabschaltung

Primärstrombegrenzung. Die Zündspule erreicht im Fahrbetrieb ihren Soll-Primärstrom einige Zeit vor dem Zündzeitpunkt. Die Schließwinkelregelung allein würde daher regelmäßig zu einer thermischen Überlastung der Zündspule führen, da der Primärstrom über die zur Erzeugung eines kräftigen Zündfunken benötigten 10 A bis 15 A ansteigt. Wird von der Stromerfassung gemeldet, dass dieser Wert erreicht ist, wird ein weiterer Anstieg durch die Strombegrenzung verhindert.

Die Ruhestromabschaltung verhindert eine Überhitzung der Zündspule bei eingeschalteter Zündung. Bei elektronischen Zündsystemen der ersten Generation konnte der für längere Zeit eingeschaltete Primärstrom zur Explosion der Zündspule führen. Erhält daher das Steuergerät innerhalb einer Sekunde kein Drehzahl-signal, wird der Primärstrom abgeschaltet. Dies geschieht so langsam, dass sekundär kein Zündfunke entstehen kann.

12.5.4 Kennfeldzündung

In transistorisierten Spulenzündungen (TSZ) und Transistorzündungen (TZ) wurden elektronische Bauteile (Hall- und Induktionsgeber) zur Zündauslösung eingesetzt, die Verstellung des Zündzeitpunkts erfolgte aber noch mechanisch mit Fliehkraft- und Unterdruckverstellung. Erst in der elektronischen Zündung (EZ) wird der Zündwinkel im Steuergerät errechnet und mit Sollwerten verglichen, die in Kennfeldern abgelegt sind. Vorteile:

- weniger Verschleißteile im Zündsystem,
- geringerer Motorverschleiß durch Vermeidung des Motorklopfens,
- geringerer Kraftstoffverbrauch,
- günstigeres Abgasverhalten.

Das Zündwinkelkennfeld eines Motors wird auf dem Prüfstand und in Fahrversuchen ermittelt und im Steuergerät abgespeichert. Für möglichst viele Last- und Drehzahlpunkte des Motors (ca. 1000 bis 4000 Einzelpunkte) wird ein Zündwinkel festgelegt, der den günstigsten Kompromiss aus Kraftstoffverbrauch, Drehmoment, Leistung, Abgas, Abstand zur Klopfgrenze, Motortemperatur, Fahrbarkeit usw. bildet. Im Vergleich zum mechanischen Verstellsystem kann der Zündwinkel erheblich genauer an die Erfordernisse des Motors angepasst werden (Bild 12.21).

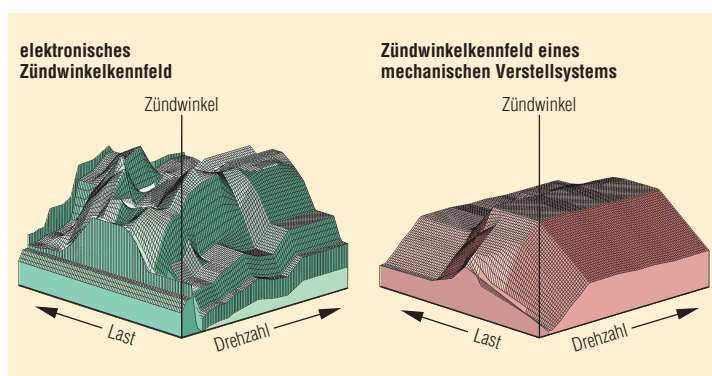


Bild 12.21 Zündwinkelkennfelder im Vergleich.

Weitere Funktionen sind bei der elektronischen Zündung realisierbar:

- bei geschlossener Drosselklappe wird eine spezielle Leerlaufkennlinie (bei Schub eine Schubkennlinie) ausgewählt,
- zur Leerlaufstabilisierung wird der Zündwinkel nach „früh“ verstellt, wenn die Motordrehzahl unter einen Sollwert sinkt,
- bei Volllast wird eine besondere Volllastkennlinie ausgewählt um das Motorklopfen zu verhindern,
- während des Startvorgangs kann das Kennfeld außer Kraft gesetzt werden und der Zündwinkel als Funktion von Motortemperatur und -drehzahl berechnet werden,
- bei Ausfall des Steuergeräts wird auf Notlauf-funktion umgeschaltet,
- die ständige Veränderung der Kennfelder durch Umprogrammierung des Speicherchips (EEPROM) für Tuning- oder Versuchszwecke ist möglich.

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

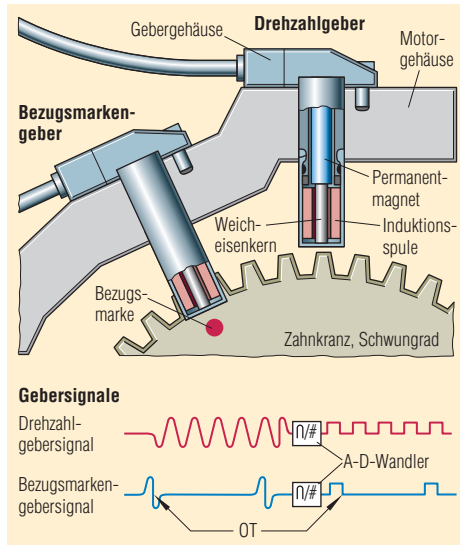


Bild 12.22 Induktiv-Geber; Zweigebersystem.

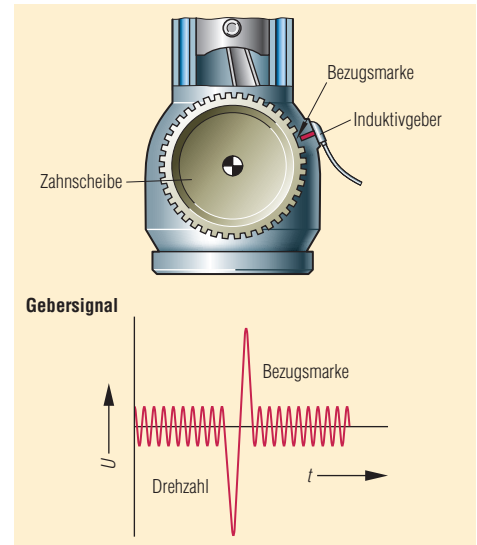


Bild 12.23 Induktiv-Geber; Eingebersystem.

Impulsformer:
Elektronischer Baustein zur Umwandlung impulsförmiger elektrischer Signale (z. B. Schaltersignale) in digitale elektrische Signale.

Analog-Digital-Wandler → S. 143

Die beiden Hauptsteuergrößen zur Festlegung des Zündwinkels sind Motorlast und Motordrehzahl. Das Lastsignal wird vom Steuergerät für die elektronische Einspritzung übernommen oder von einem gesonderten Drucksensor geliefert, der den Druck im Ansaugrohr misst.

Die verschiedenen Gebersysteme, die die Motordrehzahl erfassen, dienen gleichzeitig zur Bestimmung der Kurbelwellenstellung. Die meisten sind Induktiv-Geber, aber auch Hall-Geber-Systeme werden genutzt.

Induktiv-Geber. Sie bestehen aus einem Permanentmagneten und einer Induktionsspule (Bild 12.22). Am Geber läuft ein Zahnkranz vorbei, dadurch ändert sich der Luftspalt zwischen Zahnkranz und Geber ständig. Die daraus resultierende Änderung der Magnetfeldstärke in der Spule führt zu einer Induktionsspannung.

Zweigebersysteme benötigen zwei Sensoren zur Erfassung von Drehzahl und Kurbelwellenstellung (Bild 12.22). Als Bezugsmarke ist häufig eine Metallkugel in die Schwungscheibe eingelassen. Eingebersysteme kommen mit einem Induktiv-Geber aus, als Bezugsmarke dient eine Lücke in der Zahnscheibe (Bild 12.23).

Weitere Eingangssignale für das Steuergerät sind Drosselklappenstellung, Klopfsignal, Motortemperatur, Ansauglufttemperatur und Batteriespannung. Diese werden dem Mikrocomputer im Steuergerät zum Teil über Impulsformer, zum Teil über einen Analog-Digital-Wandler zugeführt (Bild 12.24).

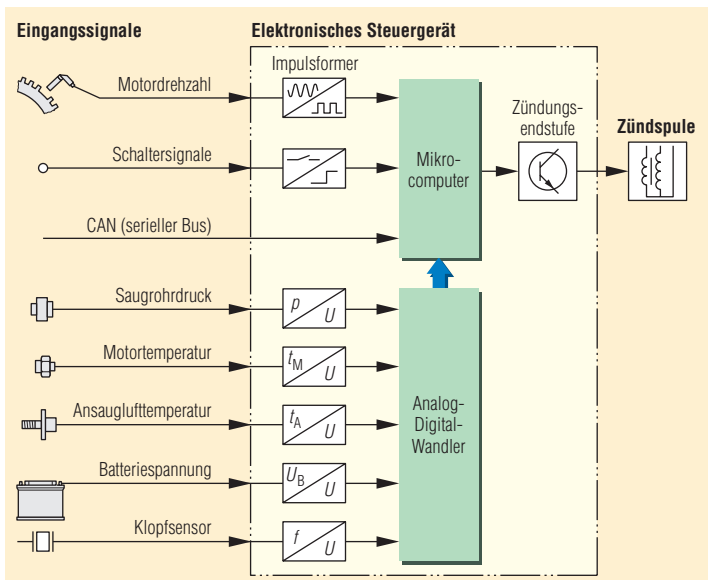


Bild 12.24 Signalfluss bei der Elektronischen Zündung (EZ).

12.5.5 Klopfregelung

Zu frühe Zündung führt zu klopfender Verbrennung und damit zu Motorschäden. Daher wird im Kennfeld der Zündwinkel so abgelegt, dass ein Sicherheitsabstand zur Klopfgrenze eingehalten wird (Bild 12.25). Dieser Sicherheitsabstand ist aber mit einem erhöhten Kraftstoffverbrauch verbunden, da die Klopfgrenze von verschiedenen sich ständig ändernden Faktoren abhängt (Motorzustand, Kraftstoffqualität, Verdichtungsverhältnis, Brennraumform, Lastzustand usw.). Diesen Nachteil kann man vermeiden, wenn die Klopfgrenze im Betrieb erfasst und der Zündwinkel ständig nachgeregelt wird (Bild 12.26).

Zur Signalerfassung dient ein Klopfsensor, der so am Motorblock befestigt wird, dass das Klopfen jedes Zylinders sicher erkannt wird. Bei größeren Motoren werden zwei Sensoren verwendet. Der Klopfsensor erfasst die Schwingungen, die von den einzelnen Brennräumen ausgehen und setzt sie in elektrische Signale um (Bild 12.27).

Eine seismische Masse im Sensor überträgt die Motorschwingungen auf die piezokeramische Lochscheibe, die daraus eine elektrische Spannung macht. Dieses Signal wird vom Steuergerät ausgewertet.

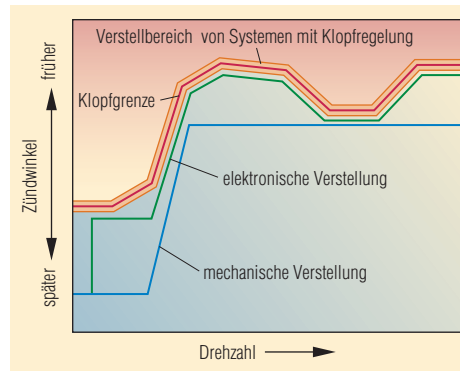


Bild 12.25 Zündwinkelverstellung verschiedener Systeme.

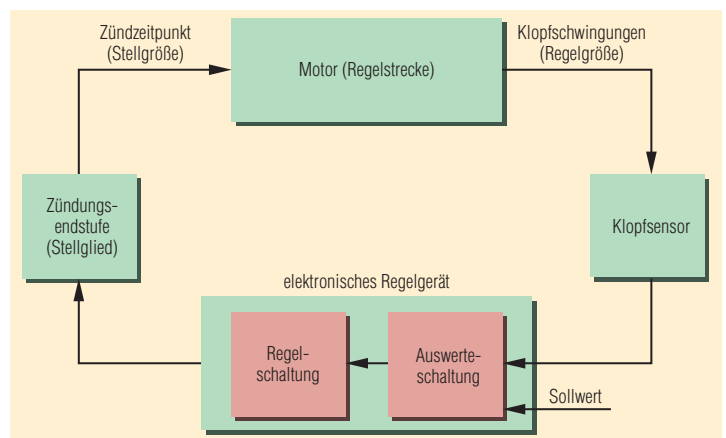


Bild 12.26 Regelkreis der Klopfregelung.

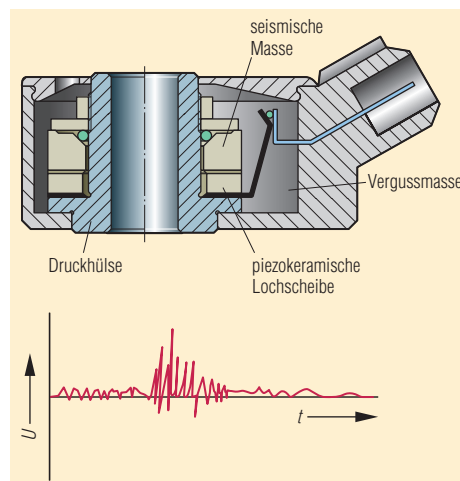


Bild 12.27 Klopfsensor und Sensorsignal.

seismisch (griech.):
seismós = Erschütterung

Piezokeramik:
Kristalle, an deren Oberfläche infolge einer Deformation eine elektrische Spannung anliegt.

Zylinderselektive Klopfregelung. Die normalen Motorgeräusche werden im Steuergerät aus dem Sensorsignal herausgefiltert. Tritt ein Klopfgeräusch auf, wird am betreffenden Zylinder der Zündzeitpunkt um z. B. 3° nach „spät“ verstellt. Tritt beim nächsten Zündvorgang wieder Klopfen auf, wird nochmals um 3° nach „spät“ gestellt. Dies wird so lange fortgeführt, bis kein Klopfen mehr auftritt. Dann wird der Zündzeitpunkt in kleinen Schritten nach „früh“ verstellt, bis wieder ein Klopfen auftritt oder der Kennfeldwert erreicht ist (Bild 12.28). Da sich die Betriebsbedingungen und damit die Klopfgrenze in jedem Zylinder unterscheiden, ergeben sich für jeden Zylinder unterschiedliche Zündzeitpunkte.

Fahrzeuge, die für den Betrieb mit Superbenzin ausgelegt sind, können auch mit Normalbenzin betrieben werden. Da die Klopfhäufigkeit dann einen Schwellwert überschreitet, schaltet das

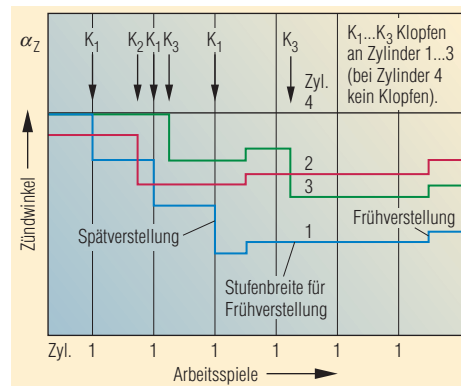


Bild 12.28 Zylinderselektive Klopfregelung.

Steuergerät automatisch auf ein anderes Zündwinkelkennfeld für Normalbenzin um. Bei älteren Fahrzeugen musste der Fahrer diese „Umschaltung“ mithilfe eines Kodiersteckers selbst vornehmen.

12.5.6 Ruhende Hochspannungsverteilung

Als letztes mechanisch arbeitendes Bauteil wurde bei der vollelektronischen Zündung (VZ) die Hochspannungsverteilung durch die Elektronik ersetzt. Bei der ruhenden oder statischen Spannungsverteilung übernimmt das Steuergerät die Aufgabe des Hochspannungsverteilers. Somit entfällt der Verteiler, ansonsten entspricht die VZ der EZ. Die ruhende Spannungsverteilung bietet verschiedene Vorteile:

- keine offenen Funken, dadurch weniger elektromagnetische Störungen,
- keine rotierenden Teile,
- weniger Hochspannungsverbindungen,
- einfachere Bauweise.

Statt des Zündverteilers werden bei Motoren mit ungerader Zylinderzahl Einzelfunkenzündspulen verwendet, bei Motoren mit gerader Zylinderzahl Einzel- oder Zweifunkenzündspulen (Tabelle 12.5).

Doppelzündung. Hier werden zwei Zündkerzen je Zylinder eingesetzt, die gleichzeitig oder leicht zeitversetzt arbeiten. Durch die kürzeren Flammenwege erfolgt eine schnelle und vollständige Verbrennung. Daraus ergeben sich folgende Vorteile:

- geringere HC-Anteile im Abgas,
- Steigerung des Motormoments, da der Zündzeitpunkt näher bei OT liegt, wo das Frischgas stärker verdichtet ist,
- sanfter Druckanstieg und damit weichere Verbrennung bei zeitversetzter Zündung.

HC: Kohlenwasserstoffe, d. h. unverbrannter Kraftstoff.

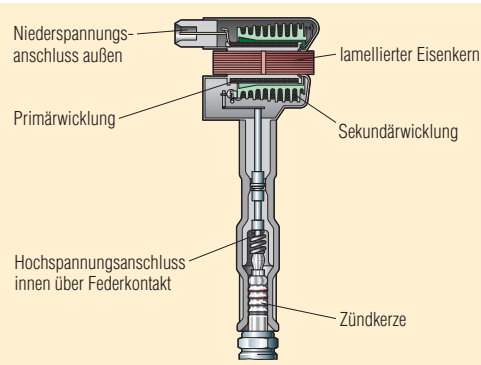
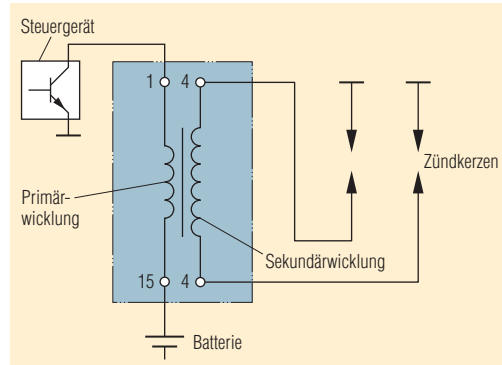
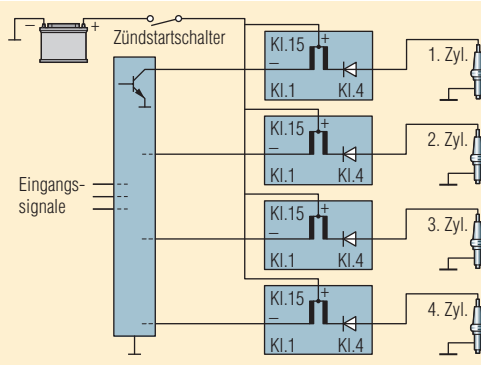
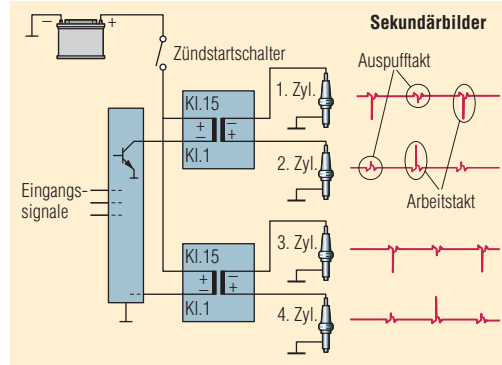
	Einzelfunkenzündspulen	Zweifunkenzündspulen
Aufbau		
Schaltung		
Merkmale/ Funktion	<p>Für jeden Zylinder wird eine separate Zündspule verwendet, die häufig direkt auf der Zündkerze aufgesetzt wird. Die Steuerelektronik schaltet den Primärstrom der Zündspulen nach der Zündfolge ein und aus.</p> <p>Da die Elektronik sehr schnell schaltet, entsteht auch beim Schließen des Primärstromkreises eine hohe Induktionsspannung, die zu einem ungewollten Funkenüberschlag führen könnte. Daher wird in jeden Sekundärstromkreis eine Diode geschaltet, die nur einen Funkenüberschlag beim Öffnen des Primärstromkreises zulässt.</p> <p>Zündanlagen mit Einzelfunkenzündspulen und ungerader Zylinderzahl benötigen zur richtigen Erkennung des 1. Zylinders zusätzlich einen Nockenwellensensor.</p>	<p>Auffälligster Unterschied zur normalen Zündspule ist die fehlende Verbindung zwischen Primär- und Sekundärwicklung. Die Primärwicklung liegt an den Klemmen 1 und 15, die Sekundärwicklung zwischen zwei Klemmen 4, eine Zündspule versorgt also je zwei Zündkerzen, die in Reihe geschaltet sind und gleichzeitig zünden. (Einsatz von Zweifunkenzündspulen nur bei Motoren mit gerader Zylinderzahl.)</p> <p>Wie bei den Einzelfunkenzündspulen schaltet das Steuergerät den Primärstrom ein und aus. Dabei sind die Zylinder den Zündspulen so zugeordnet, dass eine Zündkerze im Arbeitstakt, die andere im Auspufftakt zündet. Der Zündspannungsbedarf im Auspufftakt ist wegen des kleineren Kompressionsdrucks geringer (am zugehörigen Oszillogramm erkennbar). Beim Vierzylinder-Motor müssen immer die Zylinder 1/4 und 3/2 kombiniert werden.</p> <p>Zur Ansteuerung der Zylindergruppe 1/4 wird das OT-Signal verwendet. Aus dem Drehzahlsignal wird die benötigte Zeit für 180° Kurbelwellendrehung berechnet und dann die Zylindergruppe 3/2 gezündet. Beim nächsten Signal zündet wieder Gruppe 1/4 usw. (kein zusätzlicher Nockenwellensensor erforderlich.)</p>

Tabelle 12.5 Zündanlage mit Einzelfunkenzündspulen bzw. Zweifunkenzündspulen.

Arbeitsaufträge

1. Ersetzen Sie den Unterbrecherkontakt durch elektronische Gebersysteme. Welche Auswirkungen hat dies?
2. Warum werden in einer TZ-k Vorwiderstände eingesetzt?
3. Erläutern Sie das Funktionsprinzip von Induktionsgeber und Hallgeber.
4. Warum kommt es ohne Begrenzung des Schließwinkels bei der Schließwinkelsteuerung ab einer Höchstdrehzahl zu Zündaussetzern?
5. Worin liegt der Unterschied zwischen Schließwinkelsteuerung und Schließwinkelregelung?
6. Welche Einrichtungen verhindern in elektronischen Zündanlagen das Überhitzen der Zündspule?
7. Warum werden zur Speicherung von Zündwinkelkennfeldern EEPROMs genutzt?
8. Erläutern Sie die Bedeutung der Klopfgrenze in elektronischen Zündsystemen mit Klopfregelung.
9. Warum ist bei der Zweifunkenspule die Zündspannungsnadel bei dem Zylinder im Auspufftakt kürzer als bei dem Zylinder im Arbeitstakt?

12.6 Hochspannungs-Kondensatorzündung

Die Hochspannungs-Kondensatorzündung (HKZ) wird vor allem in Sportwagen und in Krafträdern eingesetzt (Bild 12.29).

Ein Kondensator wird über ein Ladeteil auf 300 V bis 400 V aufgeladen. Ein Thyristor wird durch einen Steuerimpuls leitend. Dieser Impuls kann beispielsweise von einem Unterbrecherkontakt oder einem Induktiv-Geber kommen. Der Kondensator entlädt sich schlagartig über den Zündtransformator, wo eine hohe Zündspannung entsteht.

In einer Magnet-Hochspannungs-Kondensatorzündung (MHKZ, Bild 12.30) erfolgt das Aufladen des Kondensators nicht über die Batterie, sondern über ein umlaufendes Polrad und einen Ladeanker, in der die Ladespannung induziert wird. Der Zündimpuls kommt von einem Induktivgeber.

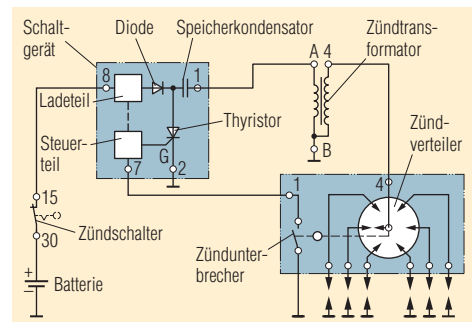


Bild 12.29 Hochspannungs-Kondensatorzündung.

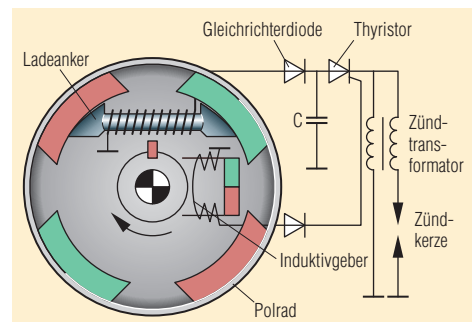


Bild 12.30 Magnet-Hochspannungs-Kondensatorzündung.

12.7 Zündkerzen

Die Zündkerze soll

- die Zündenergie isoliert in den Brennraum einbringen,
- durch einen elektrischen Lichtbogen zwischen den Elektroden die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches einleiten,
- einen sicheren Kaltstart ermöglichen,
- aussetzerfreien Motorlauf auch bei langem Betrieb und Höchstleistung des Motors gewährleisten,
- den Brennraum gasdicht verschließen und
- so konstruiert sein, dass sie ihre Betriebstemperatur (500 °C bis 850 °C) schnell erreicht und nicht überschreitet.

Dazu ist es erforderlich, dass die Zündkerze

- auch bei hohen Temperaturen bis zu 1000 °C und starker Verschmutzung gut isoliert,
- auch bei ständig wechselnden Drücken bis ca. 100 bar gasdicht bleibt,
- ihre Eigenschaften trotz der chemischen Prozesse im Brennraum nicht verändert und
- den starken Temperaturschwankungen zwischen Ansaug- und Verbrennungstakt standhält.

12.7.1 Aufbau

Die Zündkerze besteht aus einem Gehäuse, einem Isolator, Dichtelementen und Elektroden (Bild 12.31).

Das Gehäuse besteht aus galvanisch vernickeltem Stahl um Korrosion und ein Festfressen im Zylinderkopf zu vermeiden. Es ist mit einem Sechskant für den Zündkerzenschlüssel, einem Einschraubgewinde und einem Dichtsitz (konisch ohne Dichtring oder flach mit Dichtring) versehen.

Der Isolator besteht aus Aluminiumoxid (Al_2O_3 -Keramik) und isoliert die Elektroden und den Anschlussbolzen vom Gehäuse. Gegen Kriechströme sind Kriechstrombarrieren eingearbeitet. Die Oberfläche ist glasiert, damit Feuchtigkeit und Schmutz weniger gut haften können.

Die elektrisch leitende Glasschmelze verbindet Mittelelektrode und Anschlussbolzen und dient zur Gasabdichtung gegenüber dem Brennraum. Sie kann gleichzeitig als Entstörwiderstand ausgelegt sein.

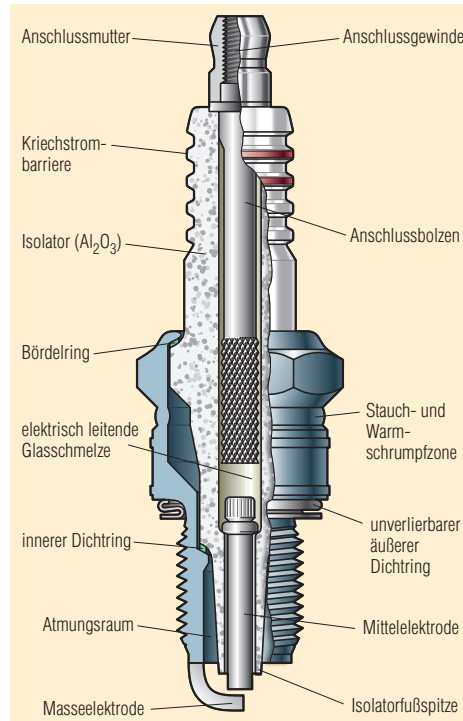


Bild 12.31 Zündkerzenaufbau.

Die Mittelelektrode ist zylindrisch und hat wegen der unterschiedlichen Wärmedehnung einen etwas geringeren Durchmesser als der Isolatorfuß, aus dem sie ein Stück herausragt. Sie besteht aus einem Verbundwerkstoff (von einer Nickellegierung umschlossener Kupferkern), Silber oder Platin bzw. Platinlegierungen.

Die Masseelektrode ist meist rechteckig und am Gehäuse befestigt (Bild 12.32). Man unterscheidet Dachelektroden und Seitenelektroden, die häufig auch als Mehrfachelektroden ausgeführt werden (ein bis vier Elektroden). Dies hat einen geringeren Verschleiß der Einzelelektroden zur Folge. Zusätzlich kann der Funke sich für seinen Sprung jeweils die Elektrode aussuchen, die am nächsten zur Mittelelektrode gelegen ist oder

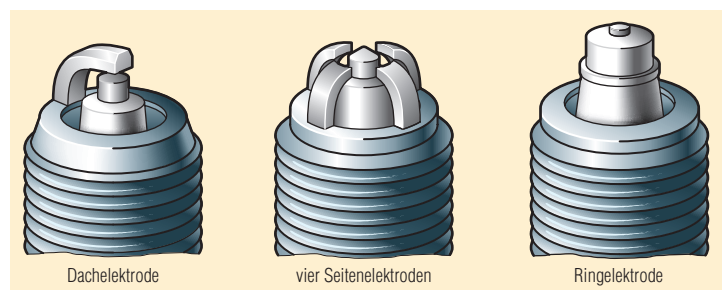


Bild 12.32 Elektrodenformen.

wo das am leichtesten entzündliche Gemisch vorherrscht. Eine Sonderbauform stellt die ringförmige Elektrode dar. Hier kann der Zündfunke seinen Weg rund um den Kerzenfuß frei wählen. Außerdem ist der Zugang des Gemisches zum Funken ungehindert möglich.

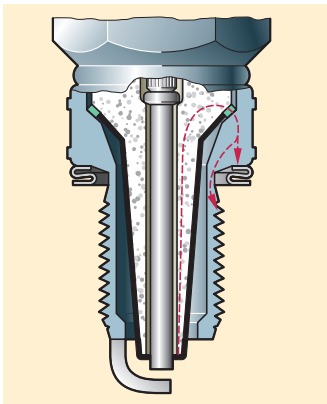
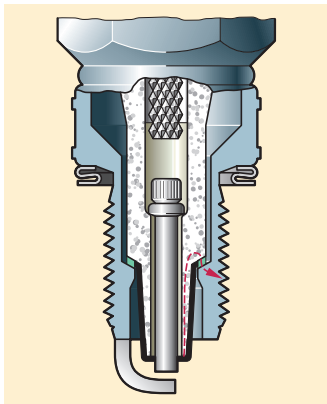

12.7.2 Wärmewert

Der Wärmewert einer Zündkerze beschreibt ihre Fähigkeit Wärme aufzunehmen und wieder abzuführen. Der Wärmewert wird durch eine herstellerspezifische Wärmewertkennzahl gekennzeichnet.

Die Betriebstemperatur der Zündkerze stellt sich als Gleichgewichtszustand zwischen Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe ein. Daher kann durch eine Veränderung der Wärme aufnehmen-

den bzw. Wärme abgebenden Oberflächen am Isolatorfuß der Zündkerze die thermische Belastbarkeit, also ihr Wärmewert, beeinflusst werden.

Da die Wärmezufuhr an der Zündkerze vom jeweiligen Motor abhängt, ist die Verwendung einer „Einheitskerze“ für alle Motoren unmöglich. Zündkerzen müssen in einem bestimmten Temperaturbereich betrieben werden. Einerseits muss möglichst rasch eine bestimmte Mindesttemperatur (Freibrenngrenze bei ca. 500 °C) erreicht werden. Oberhalb der Freibrenngrenze verbrennen die Rückstände auf dem Isolatorfuß, die Zündkerze reinigt sich selbst. Dadurch wird ein Verrußen der Zündkerze vermieden. Andererseits darf eine bestimmte Höchsttemperatur (Glühzündungsbereich ab ca. 900 °C) auch bei Volllast nicht überschritten werden um Glühzündungen auszuschließen.

	„heiße“ Zündkerze	großer Isolatorfuß	große Wärme aufnehmende Fläche und langer Wärme- ableitungsweg	schnelles Erreichen der Freibrenn- temperatur	Einsatz im nied- rig belasteten („kalten“) Motor und bei Kurz- strecken
	„kalte“ Zündkerze	kleiner Isolatorfuß	kleine Wärme aufnehmende Fläche und kurzer Wärme- ableitungsweg	langsames Erreichen der Freibrenntem- peratur	Einsatz im hoch belasteten („hei- ßen“) Motor und bei Langstrec- cken
					
Tabelle 12.6 Wärmewert von Zündkerzen.					

12.7.3 Funkenstrecke und Funkenlage

Funkenlage. Die Anordnung der Funkenstrecke im Brennraum (normal, vor- oder zurückgezogen) wird als Funkenlage bezeichnet. Sie ist vom Motortyp abhängig. Im Rennsport beispielsweise wird die zurückgezogene Funkenlage eingesetzt, bei der die Funkenstrecke im Gehäuse liegt. Dadurch wird die Wärmeaufnahme eingeschränkt und eine Überhitzung verhindert.

Die Funkenstrecke hängt von der Geometrie der Masseelektrode und ihrer Stellung bezüglich der Mittelelektrode ab (Bild 12.33):

- bei der Luftfunkenstrecke springt der Funke direkt von der Mittelelektrode zur Masseelektrode,
- bei der Luftgleitfunkenstrecke ist der Funkenweg von der Verschmutzung der Zündkerzen abhängig. Normalerweise gibt es eine Luftfunkenstrecke, aber bei Verschmutzung des Isolatorfußes (z. B. mit Ruß) gleitet der Funke bevorzugt über die Verunreinigung und springt von dort zur Masseelektrode. Der Funke brennt die Verunreinigung ab, danach gibt es wieder eine Luftfunkenstrecke,
- bei der Gleitfunkenstrecke gleitet der Funke von der Mittelelektrode zur Isolatorfußspitze und von dort zur Masseelektrode.

12.7.4 Zündkerzengesichter

Das sogenannte Zündkerzengesicht (Aussehen von Elektroden und Isolator) gibt nach längerem Gebrauch Hinweise auf das Betriebsverhalten der Zündkerze sowie auf die Gemischzusammensetzung und den Verbrennungsvorgang des Motors. Tabelle 12.7 (S. 282) zeigt einige wichtige Zündkerzengesichter.

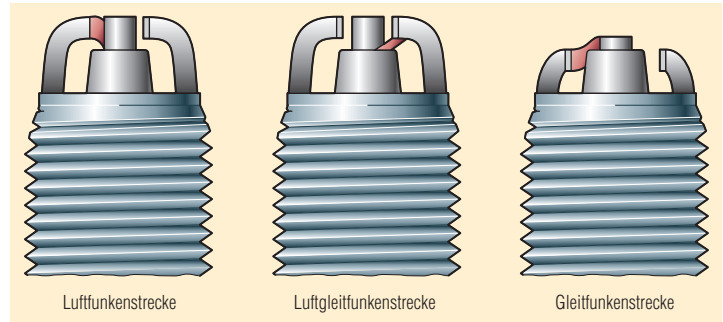
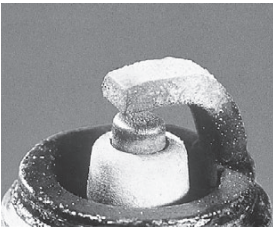
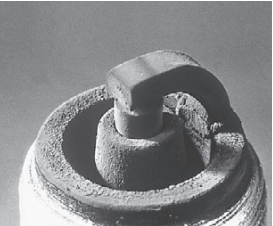
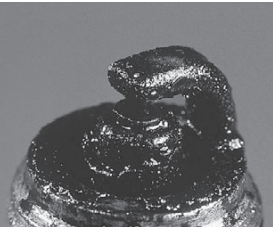



Bild 12.33 Funkenstrecken.

Arbeitsaufträge

1. Warum muss im Ladeteil der HKZ die Batteriespannung zuerst in eine Wechselspannung umgewandelt werden?
2. Warum ist der Einsatz von Mehrfach- oder Ringelektroden als Masseelektrode sinnvoll?
3. Welchen Einfluss hat die Isolatorfußform auf das Wärmeverhalten einer Zündkerze?
4. Ermitteln Sie Wärmewertkennzahlen von Zündkerzen verschiedener Hersteller und bewerten Sie diese als „heiße“ oder „kalte“ Zündkerze.
5. Welchen Vorteil haben Luftgleitfunken-Zündkerzen?

Zündkerzengesicht	Ursachen	Auswirkungen	Abhilfe
normal: Der Isolatorfuß ist grauweiß-graugelb bis rehbraun verfärbt. Der Elektrodenabbrand ist gering. 	Der Wärmewert der Zündkerze wurde richtig gewählt. Keine thermische Überlastung. Die Gemisch- und Zündeneinstellung ist einwandfrei, der Motorzustand in Ordnung.		
verrußt: Isolatorfuß, Zündkerzengehäuse und Elektroden sind mit samtartigem, stumpfschwarzem Ruß bedeckt. 	Gemisch zu fett, Luftfilter stark verschmutzt, defekte Kaltstarteinrichtung, überwiegender Einsatz im Kurzstreckenverkehr, Zündkerze zu „kalt“.	Durch Kriechströme kommt es zu schlechtem Kaltstartverhalten und Zündaussetzern.	Gemisch und Starteinrichtung richtig einstellen, Luftfilter prüfen.
verölt: Isolatorfuß, Zündkerzengehäuse und Elektroden sind mit ölglänzendem Ruß oder Ölkohle bedeckt. 	zu viel Öl im Verbrennungsraum (Ölstand zu hoch, stark verschlissene Kolbenringe, Zylinder und Ventileführungen).	Zündaussetzer oder sogar Kurzschluss der Zündkerze, Totalausfall.	Motor überholen, richtiges Kraftstoff-Öl-Gemisch.
angeschmolzene Elektroden (Überhitzung): blumenkohlartiges Aussehen der Elektroden. 	Thermische Überlastung durch Glühzündungen, z. B. durch zu frühe Zündeneinstellung, Verbrennungsrückstände im Brennraum, defekte Ventile, unzureichende Kraftstoffqualität, nicht vorschriftsmäßig angezogene Zündkerze.	Zündaussetzer, Leistungsverlust, Totalausfall (Motorschaden).	Motor, Zündung und Gemischaufbereitung prüfen, Anzugsdrehmomente der Zündkerzen überprüfen, Zündkerzen erneuern.
Tabelle 12.7 Zündkerzengesichter.			

12.8 Zündoszillogramme

Mit einem herkömmlichen Multimeter können die rasch ablaufenden Vorgänge im Zündsystem nicht erfasst werden. Mithilfe eines Oszilloskops können die dynamischen Vorgänge jedoch dargestellt werden, indem die Spannungsverläufe sowohl für den Primär- als auch für den Sekundärstromkreis mit einer Kathodenstrahlröhre sichtbar gemacht werden.

Das Primäroszillogramm wird zwischen Klemme 1 und Masse, das Sekundäroszillogramm zwischen Klemme 4 und Masse aufgenommen. Das Oszilloskop ermöglicht neben der Ansicht eines einzelnen Zylinders den Vergleich aller Zylinder durch die Darstellung der Oszillogramme als

- Parade: die Bilder aller Zylinder liegen nebeneinander,
- Überlagerung: die Bilder aller Zylinder liegen aufeinander,
- Raster: die Bilder aller Zylinder liegen untereinander.

12.8.1 Normaloszillogramme kontaktgesteuerter Zündsysteme

Man unterscheidet den Öffnungs- oder Zündabschnitt und den Schließabschnitt. Der Zündabschnitt wird nochmals unterteilt in die Funkendauer und den Ausschwingvorgang (Bild 12.34).

Zündabschnitt. Der Kontakt öffnet, die Sekundärspannung steigt schnell an, bis die für den Funkenüberschlag benötigte Zündspannung (Zündspannungsnadel) erreicht ist. Der Spannungsbedarf zur Aufrechterhaltung des Lichtbogens ist erheblich geringer, die Sekundärspannung sinkt auf die Brennspannung.

Wenn die im Magnetfeld gespeicherte Energie nicht mehr zur Aufrechterhaltung des Lichtbogens ausreicht, reißt der Funke ab. Die Restenergie pendelt zwischen Zündkondensator und Primärwicklung hin und her. Dieser Ausschwingvorgang wird durch die Verluste in den Leitungen, der Spule und dem Kondensator gedämpft.

Schließabschnitt. Der Unterbrecherkontakt schließt, der Primärstrom erreicht aber wegen der Selbstinduktion nur verzögert seinen Endwert (Ruhestrom). Die Magnetfeldänderung ist im Sekundärbild zu erkennen, wo die Induktionsspannung bis zum vollständigen Magnetfeldaufbau bis auf null abfällt. Die Spannung ist von einer Schwingung überlagert. Die Primärspannung ist im Schließabschnitt null, da sie parallel zum Unterbrecherkontakt abgegriffen wird.

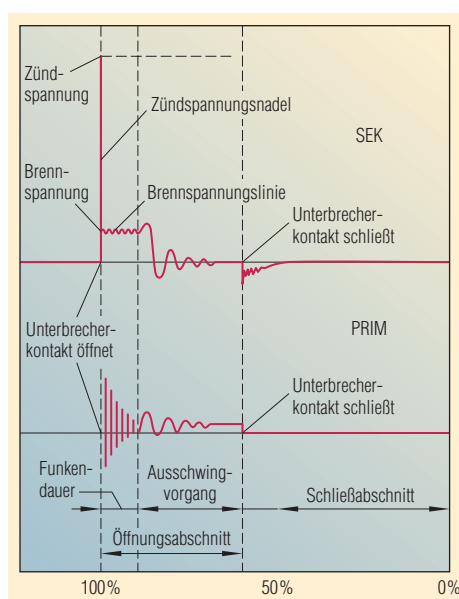


Bild 12.34 Normaloszillogramme von Primär- und Sekundärstromkreis kontaktgesteuerter Zündsysteme.

12.8.2 Normaloszillogramme elektronischer Zündsysteme

Sekundäroszillogramm. Es hat wegen des fehlenden Kondensators einen stärker gedämpften Ausschwingvorgang als das Normaloszillogramm kontaktgesteuerter Zündsysteme. Zündspannung und Brennspannung sind höher und der Einsatz der Strombegrenzung ist zu erkennen.

Primäroszillogramm. Hier fällt vor allem die Spannungsspitze nach dem Sperren des Leistungstransistors auf. Sie entsteht in der Primärwicklung durch das schnelle Unterbrechen des Primärstroms durch die Elektronik. Sie wird durch eine Zenerdiode begrenzt und deswegen auch als Zenerspannung bezeichnet.

Der Zeitpunkt, an dem der Leistungstransistor durchschaltet, liegt wegen der Schließwinkelregelung nicht fest und ändert sich mit der Motordrehzahl. Auch der Einsatz der Stromregelung „wandert“ drehzahlabhängig auf der Skala.

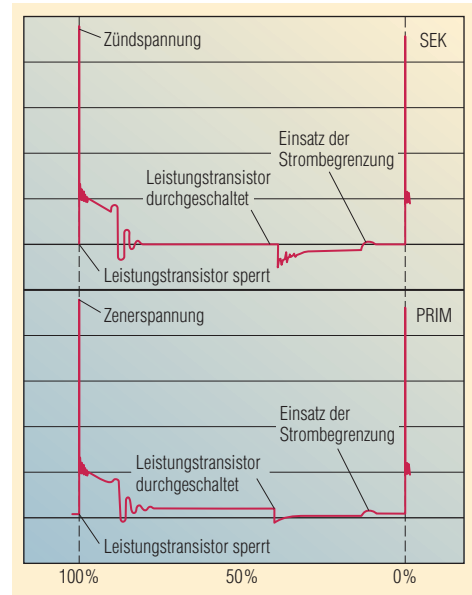


Bild 12.35 Normaloszillogramme von Primär- und Sekundärstromkreis elektronischer Zündsysteme.

Arbeitsaufträge

1. Warum springt die Sekundärspannung nach dem Schließen des Unterbrechers zuerst in den negativen Spannungsbereich und sinkt dann allmählich auf null?
2. Warum „wandert“ der Einsatz der Stromregelung in Abhängigkeit von der Schließwinkelregelung bei elektronischen Zündsystemen auf der Zeitskala?



12.9 Werkstattpraxis

Unfallgefahren. Zündsysteme arbeiten in einem Spannungsbereich, der für den Menschen lebensgefährlich ist. Dies gilt beim Berühren spannungsführender Teile sowohl des Primär- als auch des Sekundärstromkreises.

Bei kontaktgesteuerten Zündsystemen treten die gefährlichen Spannungen wegen der geringeren Leistung vor allem im Sekundärstromkreis auf: Zündspule Klemme 4, Zündverteiler, Zündkabel und -kerzen.

Bei elektronischen Zündanlagen sind gefährliche Spannungen bis zu 400 V zusätzlich auch an den Bauteilen im Primärstromkreis zu erwarten. Außerdem ist das Berühren von Diagnosesteckern, Steckverbindungen und Anschlüssen gefährlich.

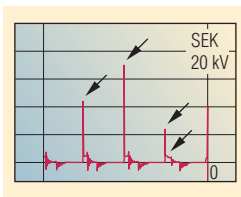
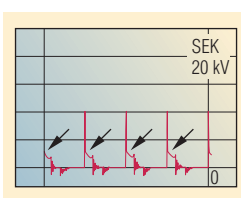
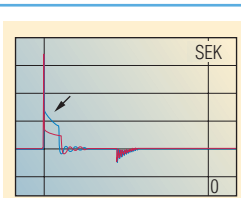
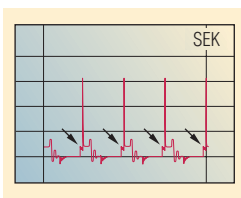
Überdies treten bei der Hochspannungs-Kondensatorzündung am Schaltgerät gefährliche Spannungen auf.

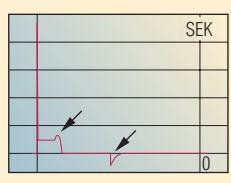
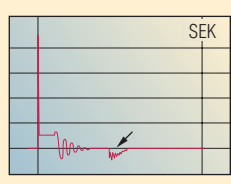
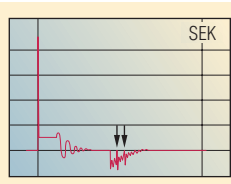
Bei Arbeiten an elektronischen Zündanlagen ist daher die Zündung auszuschalten oder besser die Spannungsquelle abzuklemmen.

12.9.1 Fehlersuche am Oszillogramm kontaktgesteuerter Zündsysteme

Grundsätzlich gilt:

- Fehler im Primärstromkreis bzw. im Sekundärstromkreis bis zum Verteilerläufer zeigen sich bei allen Zylindern,
- Fehler im Sekundärstromkreis hinter dem Verteilerläufer zeigen sich nur an einem Zylinder.

Fehler im	Bild im Sekundäroszillogramm	Fehlerquelle	Beispiele
Zündabschnitt		<ul style="list-style-type: none"> • hohe Widerstände im Sekundärstromkreis • mechanische Probleme im Motor • Probleme bei der Gemischaufbereitung 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektroden der Zündkerzen sind (unterschiedlich) abgebrannt • Unterbrechung in Leitung 4 oder in der Leitung zu einer Zündkerze oder im Kerzenstecker • Unterbrechung im Verteilerfinger • Elektrodenabstand im Verteilerfinger (teilweise) zu groß • Zündung zu spät • Gemisch zu mager
schräge Brennspannungslinie an einem oder allen Zylindern, Funkendauer zu kurz		<ul style="list-style-type: none"> • hohe Sekundärwiderstände 	<ul style="list-style-type: none"> • Zündspulenausgang Klemme 4 oxidiert • oxidierten Verteilerkappeneingang • Widerstand des Verteilerläufers, der Zündkabel oder Zündkerzen zu groß • oxidierte Verteilerkappe
schräge Brennspannungslinie an einzelnen Zylindern, von kleinen Schwingungen überlagert		<ul style="list-style-type: none"> • Zündkerze 	<ul style="list-style-type: none"> • Zündkerze stark verschmutzt oder verölt
Zündspannungsnadeln aller Zylinder haben an ihrem Ansatz eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Stufe		<ul style="list-style-type: none"> • Zündkondensator • Unterbrecherkontakt 	<ul style="list-style-type: none"> • Kondensator defekt oder Reihenwiderstand zu groß • Unterbrecherkontakt verbrannt

Fehler im	Bild im Sekundäroszillogramm	Fehlerquelle	Beispiele
Ausschwingvorgang	Schwingungen im Ausschwing- und Schließabschnitt aller Zylinder fehlen nahezu vollständig 	<ul style="list-style-type: none"> • Zündspule 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterbrechung in der Sekundärwicklung • Windungsschluss in der Primärwicklung
Schließabschnitt	Schließsignal ist direkt nach dem Schließen des Kontaktes verformt 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterbrecherkontakt 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterbrecherkontakt verschmutzt oder verbrannt
	Schließsignal ist direkt nach dem Schließen des Kontaktes durch starke Schwingungen überlagert 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterbrecherkontaktfeder 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontaktprellen durch erlahmte Feder am Unterbrecherkontakt
Tabelle 12.8 Fehlersuche mit dem Oszilloskop.			

12.9.2 Umgang mit Zündkerzen

- Vor dem Einbau Typenbezeichnung und Wärmewert prüfen. Werden Zündkerzen mit falschem Wärmewert oder Dichtsitz oder mit falscher Gewindelänge eingebaut, hat dies meist schwerwiegende Folgen für den Motor, dessen Betriebsverhalten und die Zündkerzen selbst.

- Die Auflageflächen an Zündkerze und Motor müssen sauber sein.
- Das vernickelte Gehäuse verhindert ein „Festfressen“ der Zündkerze im Zylinderkopf, das Gewinde also in keinem Fall ölen oder fetten!
- Zum Eindrehen gegebenenfalls eine geeignete Montagehilfe benutzen. Sie ermöglicht das sichere und behutsame Aus- und Eindrehen der Zündkerze und verhindert Verbrennungen und Verletzungen der Hände.
- Steckschlüssel gerade aufsetzen um Beschädigungen des Isolators zu vermeiden.
- Beim Festschrauben das richtige Anzugsdrehmoment beachten. Ein zu hohes Drehmoment kann die Kerze beschädigen, ein zu niedriges bewirkt eine schlechte Abdichtung und Wärmestau. Beim Einbau ohne Drehmomentschlüssel ist folgende Faustregel zu beachten: neue Zündkerzen mit Dichtring um höchstens 90°, alte um ca. 30° anziehen, Zündkerzen mit Kegeldichtsitz um ca. 15° anziehen.

Arbeitsaufträge

1. Worin liegt der Unterschied im Oszillogramm, wenn ein Fehler nur an einem Zylinder anstatt an allen Zylindern zu sehen ist?
2. Warum wird die Brennspannungslinie bei zu hohen Sekundärwiderständen kürzer?
3. Warum sollte beim Einbau von schwer zugänglichen Zündkerzen eine Montagehilfe verwendet werden?

13 Abgassysteme

13.1 Abgasanlage

Die Abgasanlage gehört zu den bauartgenehmigten Teilen eines Fahrzeuges. Sie darf nur verwendet werden, wenn eine allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) vorliegt, die vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) erteilt wird. Auf jedem Bauteil der Abgasanlage muss ein Typenschild angebracht sein, das die vorgeschriebenen Informationen enthält (Bild 13.1). Ein Autofahrer verliert bei der Nutzung eines Kraftfahrzeuges seinen Versicherungsschutz wegen grober Fahrlässigkeit, wenn die Abgasanlage keine ABE hat. Sie ist auf den jeweiligen Motor abgestimmt und muss folgende Aufgaben erfüllen:

- Ableitung der Abgase in den Entgiftungsbe- reich,
- Geräuschkämpfung,
- Optimierung des Gasstromes,
- Sicherung des Fahrgastraumes vor giftigen Abgasen.

Aufbau der Abgasanlage. Die Abgasanlage besteht aus:

- Auspuffkrümmer,
- Vorschalldämpfer, eventuell mit Katalysator,
- Hauptschalldämpfer,
- Endrohr.

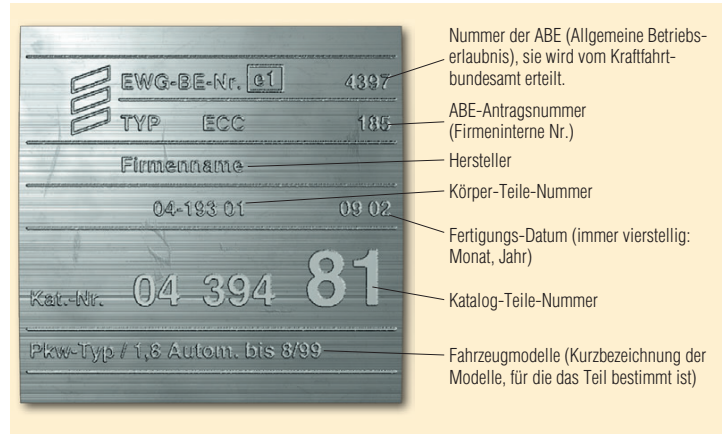


Bild 13.1 Schalldämpfer-Nummernschlüssel.

Die Abgasanlage unterliegt verschiedenen Beanspruchungen. Durch geeignete Material- auswahl sowie konstruktive Maßnahmen wird die Zerstörung der Abgasanlage verhindert (Tabelle 13.1).

Beanspruchung	Innenkorrosion	Außenkorrosion	thermische Wärme- beanspruchung	mechanische Beanspruchung
Wirkung	Kondenswasser führt zu Korrosion an den Innenwänden und Rohren bei zu gerin- gen Temperaturen	wetterbedingte Kor- rosion vor allem im Bereich des vorderen Abgasstranges wegen hoher Temperaturen und Feuchtigkeit in der Umwelt (Salzwasser etc.)	hohe Betriebstem- peraturen von ca. 1000 °C, Temperatur- wechsel und Abküh- lung führen zu hohen Spannungen	Motorschwingungen, Lastwechsel, Karosserie- verwindungen, Steinschläge
Abhilfe	Ausführung in Edel- stahl, Aluminium- Beschichtung	Ausführung in Edel- stahl oder Aluminium- Beschichtung	weniger Kurzstrecken, Verwendung korrosionsbeständiger Materialien	elastische Lagerung, Schwingungsdämp- fung zwischen Motor und Abgasanlage
Tabelle 13.1	Beanspruchung einer Pkw-Abgasanlage.			

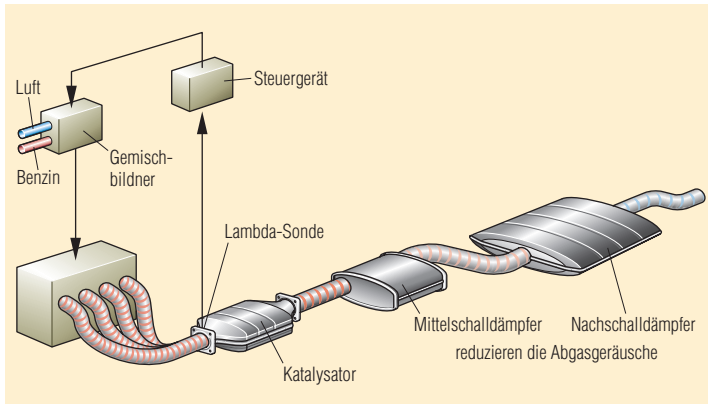


Bild 13.2 Abgasanlage eines Pkw.

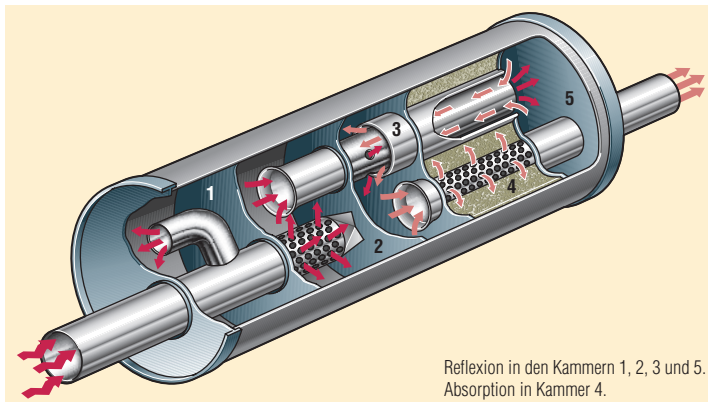


Bild 13.3 Kombierter Schalldämpfer.

Füllungsgrad
→ S. 174

Strömungsverhältnisse in der Abgasanlage.

Zu Beginn des Ausstoßtaktes herrscht ein Restdruck von ca. 5 bar im Auspuffkrümmer. Die Gase strömen stoßweise aus und bewirken dabei eine von der Drehzahl abhängige Schwingung des Gasstromes. Die Gasführung muss so angelegt sein, dass am Ende des Abgasrohrs ein leichter Unterdruck entsteht. Dies bewirkt eine optimale Entleerung des Abgassystems und erhöht damit den **Füllungsgrad** und die Leistung des Motors (Bild 13.2). Veränderungen an dieser Konstruktion bewirken:

- geringere Motorleistung,
- schlechte Abgasentgiftung,
- mangelhafte Geräuschkämpfung.

Schalldämpfung. Die Lautstärke des Abgasstromes muss zwischen Abgaskrümmer und Endrohr um ca. 20 dB(A) gedämpft werden. Dies geschieht durch verschiedene Dämpfungsverfahren, die meist konstruktiv in einem Gehäuse kombiniert sind (Bild 13.3). Die wichtigsten Dämpfungsarten sind:

- Reflexion,
- Interferenz,
- Absorption.

Reflexion	Interferenz	Absorption
<p>Durch Veränderung der Querschnitte und Strömungswege erfolgt eine Veränderung der Schallfrequenz. Gleiche Schallwellen, die aufeinander treffen, heben sich gegenseitig auf.</p>	<p>Durch die Umlenkung eines Abgas-teils verändert sich dessen Weg und seine Geschwindigkeit. Beim erneuten Zusammentreffen der Abgasströme heben sich die Schallwellen teilweise auf.</p>	<p>Durch hitzebeständige, schall-schluckende Stoffe, wie Mineralwolle, wird die Schallenergie geschluckt (absorbiert).</p>
Tabelle 13.2		Dämpfungsverfahren in Schalldämpfern für Abgasanlagen.

13.2 Abgase

Im Verbrennungsmotor wird immer eine bestimmte Menge von Abgasen erzeugt, die giftig oder klimaschädlich sind, aber auch unproblematisch sein können.

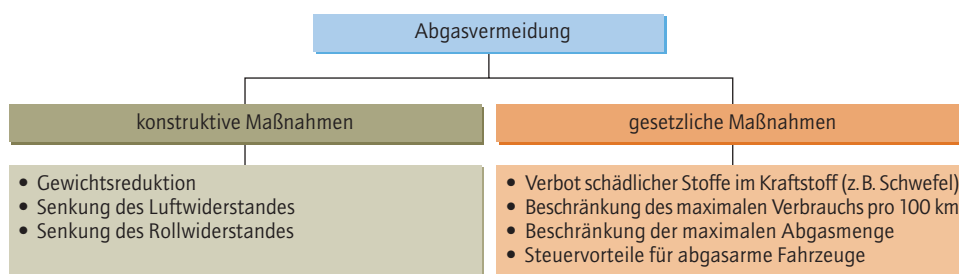
Die **Abgasvermeidung** ist die insgesamt günstigste Lösung. Das Fahrzeug erzeugt durch niedrigen Kraftstoffverbrauch geringere Abgas-mengen und verursacht gleichzeitig geringere Kraftstoffkosten.

Dies ist beispielsweise durch Verringerung des Luftwiderstandes möglich, zu dessen Überwindung große Teile der Motorleistung benötigt werden. Der Luftwiderstand F_L wird durch die

Fahrgeschwindigkeit v_0 , den Luftwiderstandsbeiwert (c_w -Wert) und die Querschnittsfläche A der Karosserie beeinflusst. Durch Verkleinerung dieser Parameter kann der Luftwiderstand verringert werden.

Durch Gewichtseinsparung lässt sich der Kraftstoffverbrauch ebenfalls senken. Dabei gilt als Faustformel, dass 100 kg weniger Fahrzeug-masse ca. 0,5 l weniger Verbrauch pro 100 km ermöglichen.

Die Vermeidung oder Entschärfung der schädlichen Wirkung der Abgase wird durch gesetzliche und konstruktive Maßnahmen erreicht.



13.2.1 Abgasbestandteile des Ottomotors

Zu den ungiftigen (teils jedoch umweltschädlichen) Abgasen gehören Kohlenstoffdioxid (CO_2), Stickstoff (N_2) und Wasserdampf (H_2O). Eine Umwandlung ist nicht erforderlich. Die übrigen Stoffe sind giftig oder umweltschädlich und müssen in unschädliche Formen umgewandelt werden (Tabelle 13.3, S. 290). Dies geschieht im Katalysator.

13.2.2 Katalysator

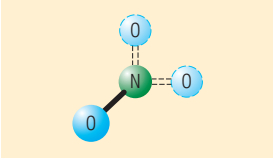
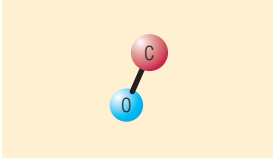
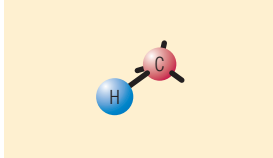
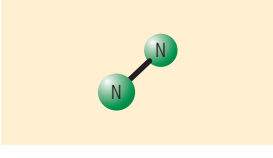
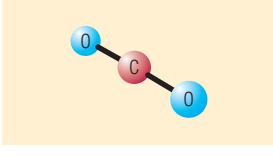
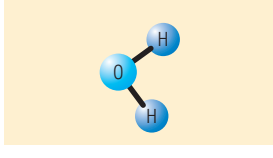
Die giftigen Abgase werden im Katalysator in ungiftige Moleküle umgewandelt. Im Ottomotor wird wegen seines hohen Umwandlungsgrades der Dreiwege-Katalysator verwendet.

Abgasentgiftung im Dreiwege-Katalysator. Der Dreiwege-Katalysator verdankt seinen Namen den drei Vorgängen, die sich zeitgleich nebeneinander in seinem Inneren abspielen (Tabelle 13.3, S. 290).

Bei der Reduktion des Stickstoffoxids wird Sauerstoff frei. Dieser wird einerseits zur Oxidation von Kohlenstoffmonoxid zu Kohlenstoffdioxid und andererseits von Kohlenwasserstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser genutzt. Die für einen möglichst hohen Umwandlungsgrad benötigten Mengenverhältnisse sind nur bei einem Wert von $\lambda=1$ gegeben. Dieser Wert muss daher sehr genau eingehalten werden ($\lambda=0,997$ bis $\lambda=1,004$), was durch die Lambda-Regelung möglich ist.

$\lambda \rightarrow$ S. 227

Die Umwandlung im Katalysator findet erst ab einer Temperatur von ca. 250 °C statt. Diese Start- oder Anspringtemperatur muss möglichst rasch erreicht werden. Seine Betriebstemperatur mit über 90 % Umwandlungsrate hat der Katalysator zwischen 400 °C und ca. 900 °C. Bei höheren Temperaturen kommt es zuerst zur thermischen Alterung der katalytischen Beschichtung und ab Temperaturen über 1000 °C zur Zerstörung des Katalysators.

Abgaskomponente	Stickstoffoxide (NO _x)	Kohlenstoffmonooxid (CO)	Kohlenwasserstoffe (HC)
chemisches Modell			
Entstehung	durch Luftüberschuss (Magerbetrieb) durch hohe Verbrennungstemperatur	durch Luftmangel (fettes Gemisch), unvollständige Vermischung von Kraftstoff und Luft	mangelhafte Verbrennung, zu niedrige Zündspannung, ungünstige Brennraumform, Ablagerungen im Brennraum
Wirkung	unsichtbar, geruchlos, giftig, reizt Lungengewebe	geruchlos, brennbar, lebensgefährlich	nicht direkt giftig, aber eine Umwandlung in giftige Moleküle erfolgt durch die Sonneneinstrahlung
notwendige Entgiftung im Katalysator	Reduktion zu N ₂ und dabei Bildung von CO ₂	Oxidation zu CO ₂	Oxidation zu CO ₂ und H ₂ O
Erfolg der Entgiftung			
Tabelle 13.3 Umwandlung giftiger Abgase durch den Katalysator.			

Aufbau. Ein Keramik-Katalysator besteht aus Keramikkörpern mit vielen kleinen Kanälen. Die Wandstärke dieser Kanäle beträgt 0,15 mm. Zusätzlich sind die Zellwände mit einer Beschichtung überzogen, die stark zerklüftet ist (Washcoat-Schicht). Durch diese spezielle Technik vergrößert sich die wirksame Kontaktfläche

der Abgase auf ca. 18000 m² im gesamten Katalysator. Diese Kontaktfläche wird mit Platin, Palladium bzw. Rhodium benetzt (katalytische Schicht, Bild 13.4). Zum Schutz gegen mechanische Schäden ist der Keramikkörper weich in einem rostfreien Edelstahlgehäuse gelagert.

Vorteile des Keramik-Katalysators:

- sehr geringe Wärmedehnung,
- sehr unempfindlich gegen große Temperaturunterschiede,
- geringe Wärmeverluste, z.B. beim Stadtverkehr,
- geringes Gewicht.

Eine Alternative zum keramischen Katalysator ist der Metallkatalysator. Er besteht aus dünnen Blechen mit 0,05 mm Wandstärke, die zur Vergrößerung der Reaktionsfläche gewellt sind und dann zu einer Wabe zusammengewickelt werden.

Vorteile des Metall-Katalysators:

- gute Wärmeleitfähigkeit,
- gute Abgasreinigungsleistung,
- geringer Abgasgedrückt,
- kleiner Bauraum.

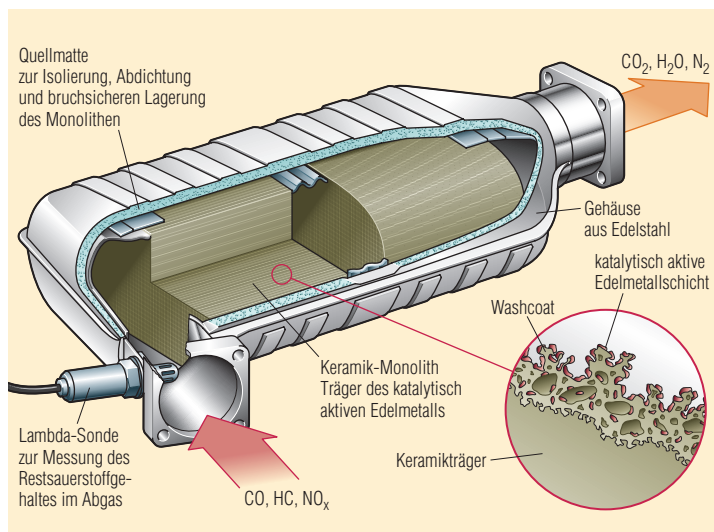


Bild 13.4 Katalysator für Ottomotoren.

Beheizung des Katalysators. Die Starttemperatur des Katalysators wird nach einem Kaltstart erst nach einigen Minuten erreicht. Bei Fahrzeugen, die ab Januar 2000 eine neue Typprüfung erhalten, werden die Abgase sofort ab dem Kaltstart gemessen. Die Gesamtmenge der Abgase entscheidet über die Zulassung. Es ist also wichtig, die Abgasentgiftung möglichst schnell zu aktivieren.

Durch eine elektrisch betriebene Heizspirale können die Abgase in wenigen Sekunden von 150 °C auf die Starttemperatur erhitzt werden. Sobald diese erreicht ist, wird die Heizung abgeschaltet. Zusätzlich kann der Abgaskrümmer doppelwandig gebaut werden (Bild 13.5) um bis zum motornah eingebauten Katalysator möglichst geringe Wärmeverluste zu haben.

Sekundärlufteinblasung. Neben der elektrischen Beheizung gibt es eine kostengünstigere Methode um die Starttemperatur des Katalysators schnell zu erreichen. Bei kaltem Motor wird mit einem elektrischen Gebläse dem Abgas im Auspuffkrümmer frische Luft beigemischt (Bild 13.6). Der Luftsauerstoff reagiert mit den Kohlenwasserstoffen, deren Konzentration in der Kaltstartphase sehr hoch ist, und hebt die Abgastemperatur kurzfristig an. Dies führt neben der schnelleren Erwärmung des Katalysators auch zu einer Schadstoffreduzierung nach einem Kaltstart. Das Motorsteuergerät schaltet die Sekundärlufteinblasung nach einer fest programmierten Zeit ab (ca. 100 Sekunden), da der Motor danach ausreichend warme Abgase liefert.

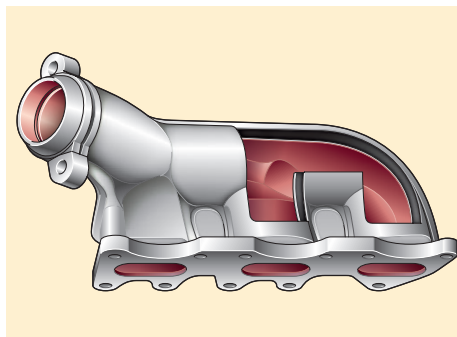


Bild 13.5 Doppelwandiger Auspuffkrümmer.

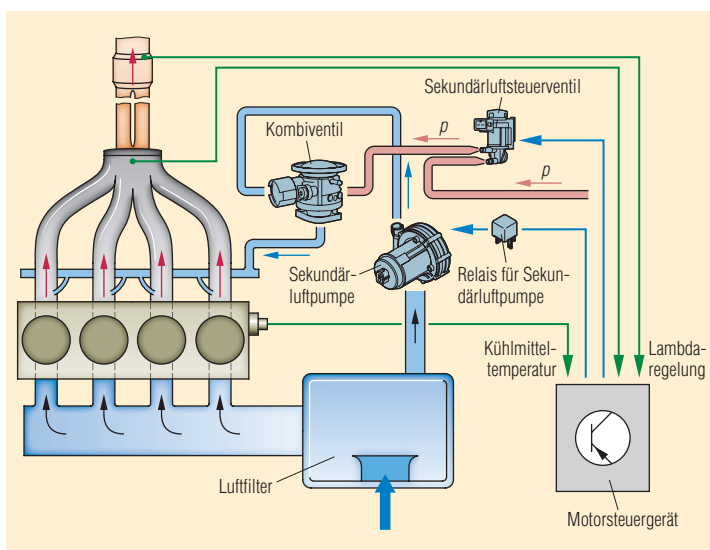


Bild 13.6 System der Sekundärlufteinblasung.

13.2.3 Lambdasonde

Die Lambdasonde kann die aktuelle Gemischzusammensetzung durch Messung des Restsauerstoffgehalts im Abgas ermitteln. Für diese Aufgabe ist sie im Abgastrakt vor dem Katalysator angeordnet. Das Steuergerät verarbeitet dieses Regelsignal und passt die Gemischzusammensetzung ständig an. Bei Fahrzeugen mit **On Board Diagnose** ist nach dem Katalysator eine zusätzliche Lambdasonde installiert. Diese Sonde sendet ein Monitorignal ans Steuergerät und überprüft die Funktion des Katalysators. Fällt das Regelsignal aus, wird das Monitorignal als Ersatzwert genutzt.

Spannungs-Sprungsonde (Fingersonde). Bei Motoren, die mit $\lambda = 1$ betrieben werden, wird häufig eine Fingersonde eingesetzt (Bild 13.7, S. 292). Die Sondenspitze besteht aus einer gasdichten Keramik (Zirkondioxid), die von beiden Seiten mit einer porösen Platinschicht beschichtet ist. Die beiden Platinschichten wirken wie Elektroden und sind elektrisch miteinander verbunden. Die Außenseite liegt im Abgasstrom, die Innenseite wird mit Luftsauerstoff belüftet. Bei fettem Gemisch sinkt der Sauerstoffgehalt im Abgas stark ab und erzeugt eine SONDENSspannung von ca. 0,8 Volt (Bild 13.8, S. 292). Das Motorsteuergerät regelt die Kraftstoffmenge so lange nach, bis der Wert wieder umspringt. Bei

On Board Diagnose
→ S. 297

Regelsignal:
Signal der Lambdasonde vor dem Katalysator

Monitorsignal:
Signal der Lambdasonde hinter dem Katalysator

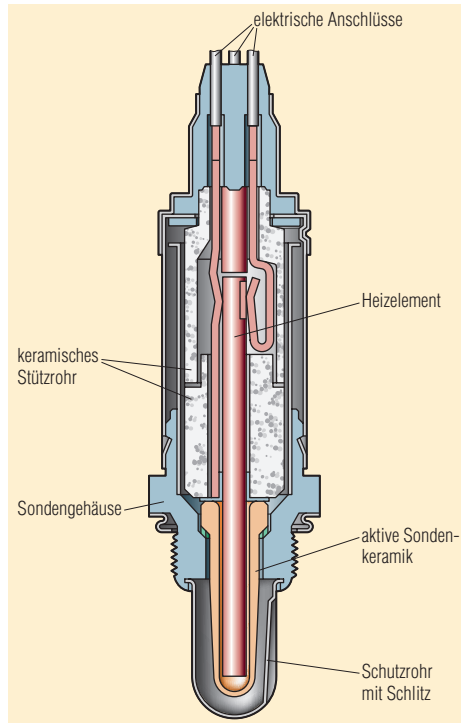


Bild 13.7 λ-Sonde (Fingersonde).

magerem Gemisch ist der Prozess umgekehrt, die Spannung sinkt auf ca. 0,2 Volt. Dieser Regelkreis (Bild 13.9) hat eine Taktung von ca. einem Vorgang pro Sekunde.

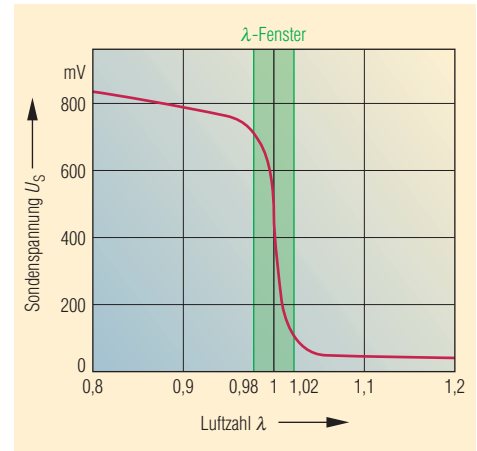


Bild 13.8 Spannungsverhalten einer λ-Sonde.

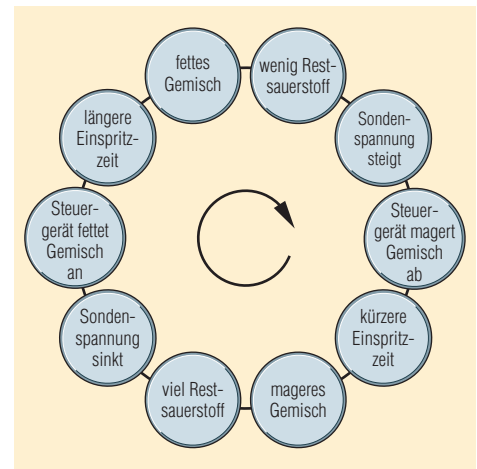


Bild 13.9 Regelkreis der λ-Sonde.

Die Funktion der Lambdasonde kann verbessert werden, wenn durch eine interne Beheizung die Betriebstemperatur (ca. 300 °C) schneller erreicht wird. Erst ab diesem Zeitpunkt kann eine Lambda-Regelung erfolgen.

Die **Planarsonde** (Bild 13.10) ist eine Weiterentwicklung der Fingersonde. Sie arbeitet nach dem gleichen Funktionsprinzip, ist aber günstiger herzustellen, da die Bauteile in flachen Schichten aufgetragen werden und eine Heizfolie integriert werden kann.

Vorteile der Planarsonde:

- kürzere Aufheizzeit bis zum Einsatz der Lambda-Regelung,
- stabile Regelungswerte,
- geringer Heizleistungsbedarf,
- kompakte Bauweise,
- geringes Gewicht.

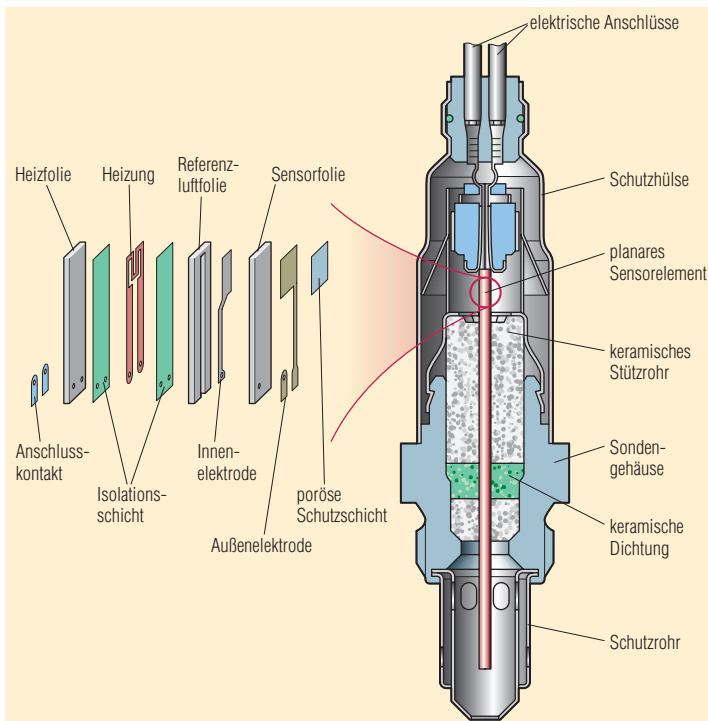


Bild 13.10 λ-Sonde (Planarsonde).

Widerstandsprungssonde. Hauptmerkmal dieser Bauart (Bild 13.11) ist der Sensor aus Titandioxid. Dieses Material verändert seine Leitfähigkeit unmittelbar in Abhängigkeit vom Restsauerstoffgehalt im Abgasstrom, eine Referenzluft ist nicht notwendig. Der Widerstand ändert sich sprunghaft zwischen $1\text{ k}\Omega$ bei fettem und $1\text{ M}\Omega$ bei magerem Gemisch. Die Sonde muss beheizt werden und verfügt daher über vier Anschlüsse, zwei für den Heizkreis, zwei für den Messkreis. Über einen Messwiderstand im Steuergerät wird der Messkreis mit 5 Volt versorgt. Wird das Gemisch mager, steigt der Widerstand der Sonde sprunghaft an, die Spannung am Messwiderstand fällt auf ca. 0,5 V, bei fettem Gemisch springt der Wert über 4 Volt.

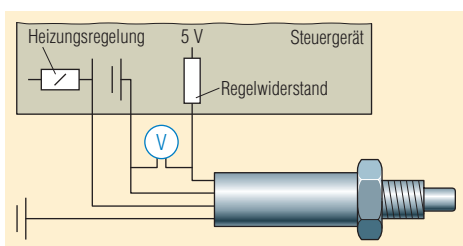


Bild 13.11 Widerstandsprungssonde.

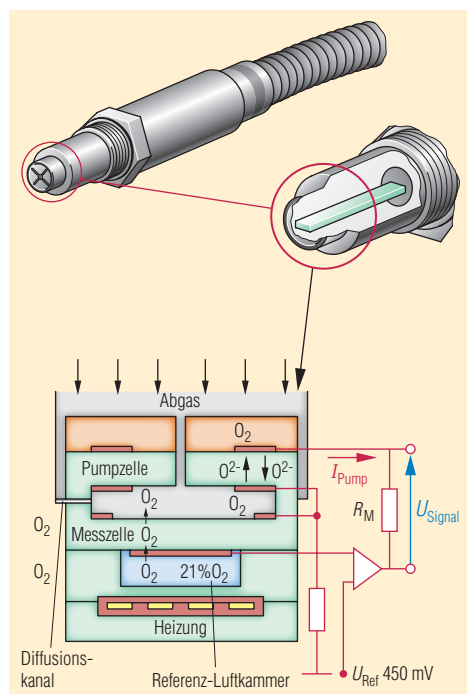


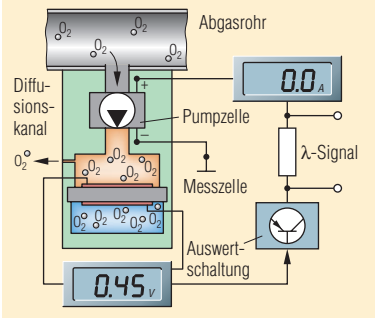
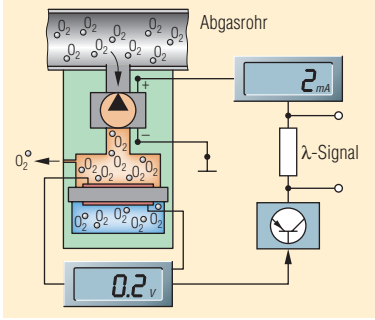
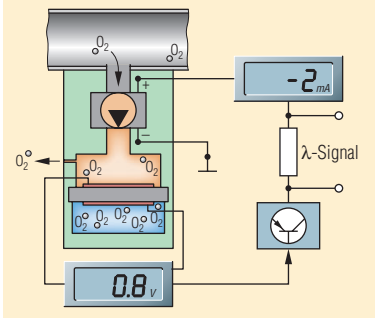
Bild 13.12 Breitbandsonde.

Breitbandsonde (Bild 13.12). Diese Sonde kann den Restsauerstoff im Abgas stufenlos im Bereich $\lambda > 0,7$ messen. Die Technik ist erforderlich, um auch an Motoren, die mit sehr magerem Gemisch laufen (z.B. Motoren mit Benzindirekteinspritzung und Dieselmotoren mit Rußpartikelfilter) eine Lambdaeegelung vornehmen zu können.

Die Sonde besteht aus zwei gleichartigen Spannungs-Sprungssonden (Pump- und Messzelle) in Dünnschichttechnik (Planarsonden) und einem integrierten Heizelement. Die Heizung sorgt für die optimale Betriebstemperatur von ca. $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Äußeres Erkennungsmerkmal für eine Breitbandsonde ist ein Anschlussstecker mit fünf oder sechs Kabeln (je nach Hersteller).

Das Abgas gelangt aus dem Abgasrohr in die Messkammer der Breitbandsonde. Dabei wird der Nachstrom durch eine poröse Diffusionssperre begrenzt. Die Messzelle ist auf der einen Seite mit dieser Messkammer und auf der anderen Seite mit der Referenzluftkammer verbunden. Sie misst ständig wie eine herkömmliche Spannungssprungs-sonde die Abgaskonzentration in der Messkammer.

Die Pumpzelle ist auf einer Seite dem Abgasstrom ausgesetzt und liegt mit der anderen Seite an der Messkammer. Durch Anlegen einer Pumpspannung an die Platinelektroden der Pumpzelle kann Sauerstoff aus der Messkammer heraus (mageres Abgas) oder in diese hinein (fettes Abgas) gepumpt werden. Die Pumpspannung wird von der Elektronik so geregelt, dass die Abgaskonzentration in der Messkammer ständig bei $\lambda = 1$ liegt; dies wird von der Messzelle überwacht (Tabelle 13.4, S. 294).

$\lambda = 1$	$\lambda > 1$ (mager)	$\lambda < 1$ (fett)
		
Der Pumpstrom beträgt Null, Spannung in der Messzelle 0,45 Volt.	Der Pumpstrom ist positiv, die Spannung in der Messzelle niedrig. Bei magerem Gemisch wird der Sauerstoff nach außen gepumpt = positiver Strom.	Der Pumpstrom ist negativ, die Spannung in der Messzelle hoch. Bei fettem Gemisch wird der Sauerstoff (durch Zersetzung von CO_2) aus dem Abgas in den Diffusionskanal transportiert.
Tabelle 13.4		Breitbandsonde; Wirkungsweise von Pump- und Messzelle.

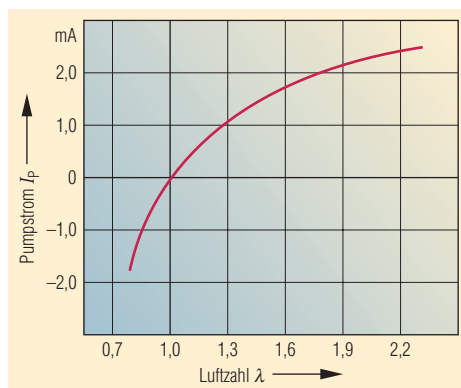


Bild 13.13 Stromverlauf bei der Breitbandsonde.

Der Pumpstrom ist proportional der Sauerstoffkonzentration im Abgas, seine Messung ergibt daher den momentanen λ -Wert. Da der Zusammenhang zwischen Pumpstrom und Luftzahl λ aber nicht linear ist (Bild 13.13), muss im Motorsteuergerät ein entsprechendes Kennfeld für die jeweilige Sonde hinterlegt sein.

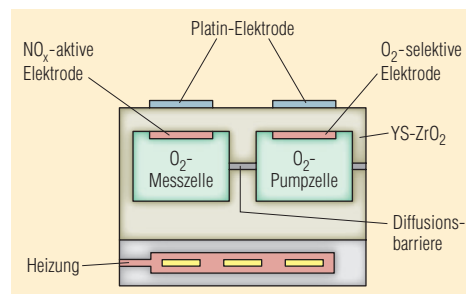


Bild 13.14 NO_x -Sensor.

NO_x -Sensor (Bild 13.14). Die zukünftige Euro V-Abgasnorm verlangt einen Grenzwert für Stickstoffoxide. Daher muss ein entsprechender Sensor die Konzentration im Abgas feststellen. Das Funktionsprinzip des NO_x -Sensors ähnelt dem Pumpzellenprinzip der Breitbandsonde. In der ersten Pumpzelle wird der Sauerstoffgehalt einem konstanten, in etwa stöchiometrischen Wert angepasst und über den Pumpstrom wird der Lambdawert abgegriffen. Anschließend gelangt der Gasstrom über eine Diffusionsbarriere in die O_2 -Messzelle, die über Elektroden mit Reduktionsfunktion verfügt. Die Stickstoffoxide werden in O_2 und N_2 aufgespalten. Über den Sauerstoff-Pumpstrom wird die NO_x -Konzentration in einem speziellen Steuergerät ermittelt, das sich am Fahrzeugunterboden in der Nähe des NO_x -Sensors befindet. Es bereitet die Sensorsignale auf und übermittelt die Informationen über den Antriebs-CAN-Bus an das Motorsteuergerät.

13.2.4 Dieselaabgase

Diesel-Katalysator. Da Dieselmotoren mit sehr viel Luftüberschuss (Werte bis $\lambda = 10$) betrieben werden, arbeitet ein Diesel-Katalysator anders als ein Katalysator im Ottomotor. Durch den hohen Restsauerstoffgehalt wandelt er die unverbrannten Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenstoffmonooxid (CO) in Wasserdampf (H_2O) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) um, die Stickstoffoxide werden jedoch nicht reduziert. Daher müssen die Stickstoffoxide über eine Abgasrückführung oder durch Zusatz von Harnstoffen vermindert werden.

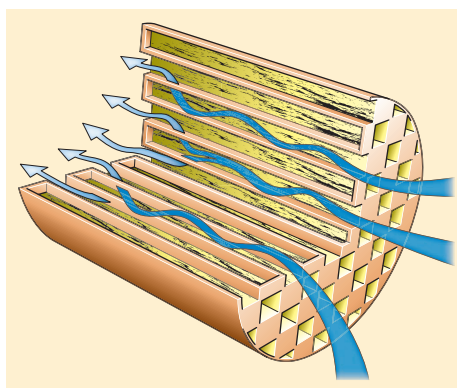


Bild 13.15 Rußpartikelfilter.

Rußpartikelfilter. Ein Umweltproblem beim Dieselmotor sind Rußpartikel, die systembedingt nicht völlig vermieden werden können. Ein Rußpartikelfilter (Bild 13.15) besteht aus einer speziellen Keramik (z. B. Si-SiC), die als Dauerfilter alle Partikel zurückhält und nur gasförmige Stoffe durchströmen lässt. Der Filterkörper besteht aus Kanälen, die abwechselnd vorne oder hinten geschlossen sind. Das vom Motor kommende partikelbeladene Abgas gelangt in den in Strömungsrichtung offenen Kanal. Die gasförmigen Teilchen diffundieren durch die Zwischenwand in den benachbarten nach hinten offenen Kanal und werden durch den Schalldämpfer ins Freie geleitet. Die Rußpartikel sammeln sich und verursachen nach einer Betriebsdauer von ca. 500 bis 1000 km einen erhöhten Strömungswiderstand sowie eine ansteigende Abgastemperatur. Diese werden durch Druck- und Temperatursensoren erfasst, das Motormanagementsystem wertet die Daten aus, berechnet den Beladungszustand des Filters und veranlasst nach einem speziellen Kennfeld die Regeneration des Filters durch Abbrennen der Rußpartikel.

Da Ruß erst ab ca. 550 °C verbrennt, diese Temperatur im Dieselaabgas aber selten erreicht wird, muss die Verbrennung durch zusätzliche Maßnahmen eingeleitet werden.

Regenerieren mit Zusatzbrenner (Bild 13.16). Durch einen Lichtbogen wird im Brenner eine geringe Menge Dieselaabgas gezündet. Die Flamme wird in den Filter geleitet. Die Rußpartikel entzünden sich und werden durch die Filterwand als Abgas abgeleitet. Dieses System benötigt viel Bauraum und wird daher für Nutzfahrzeuge oder stationäre Motoren verwendet.

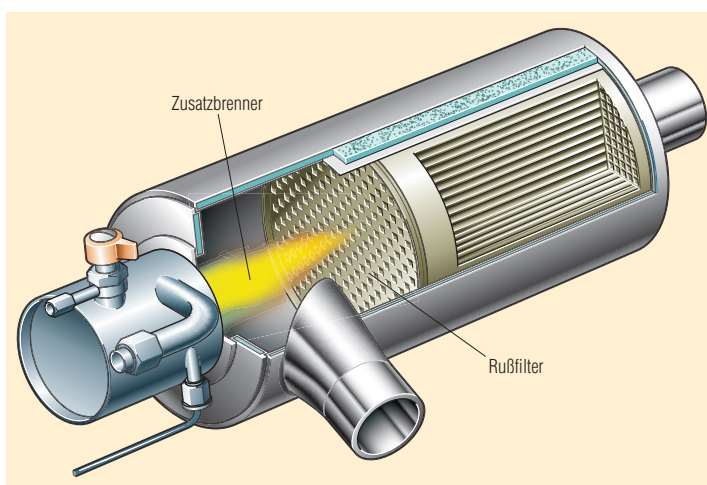


Bild 13.16 Rußfilter mit Regenerierung durch Zusatzbrenner.

Regenerieren mit Additiven (Bild 13.17, S. 296). Das Additiv wird bei der Betankung automatisch in den Kraftstoffbehälter gemischt. Eine Menge von 5 l reicht als Zusatz für eine Laufleistung von ca. 80 000 km. Das Additiv verbrennt nicht im Motor, sondern lagert sich im Filter an den Rußpartikeln an und senkt die Zündtemperatur auf ca. 450 °C. Durch eine Nacheinspritzung von Kraftstoff im Arbeitstakt erhöht sich die Abgastemperatur so weit, dass die Rußpartikel verbrennen. Das Additiv hinterlässt Aschepartikel im Filter, die mit zunehmender Laufleistung einen erhöhten Strömungswiderstand verursachen. Daher wird das Filter im gleichen Intervall wie der Additivtank ausgetauscht und beim Hersteller gereinigt. Danach kann das System erneut verwendet werden.

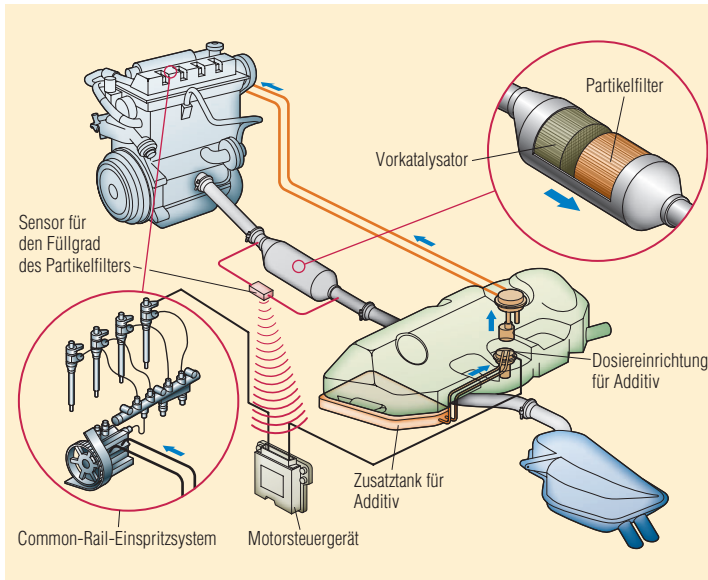


Bild 13.17 Rußfilter mit Regenerierung durch Additive.

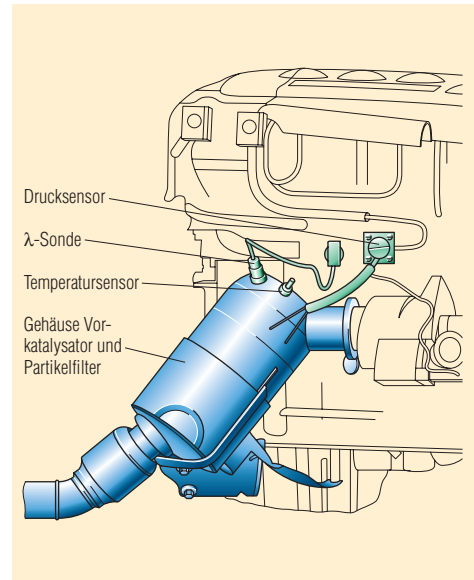


Bild 13.18 Rußfilter motornah verbaut ohne Additive.

SCR: Selective Catalytic Reduction (engl.) = selektive (ausgewählte) katalytische Reduktion

Harnstoff = Kohlensäurediamid ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)

AdBlue: eingetragene Marke des Verbandes der Automobilindustrie. AdBlue ist eine hochreine, ungefährliche, wasserklare, synthetisch hergestellte 32,5%ige Harnstofflösung.

Regenerieren ohne Additive (Bild 13.18). Zur Regenerierung wird die Abgastemperatur am Filtereintritt auf 630°C angehoben. Dafür ist eine komplexe Regelung notwendig. Die Abgasrückführung wird abgeschaltet, der Ladedruck verändert und eine Nacheinspritzung eingeleitet. Zusätzlich sorgt eine elektrisch betätigte Drosselklappe für eine reduzierte Ansaugluftmenge. Je nach Einspritzzeitpunkt bewirkt die Nacheinspritzung eine Temperaturerhöhung im Zylinder oder eine Reaktion der unverbrannten Kohlenwasserstoffe im Oxidationskatalysator. Da dieser dem Filterelement vorgeschaltet ist, zündet das erhitzte Abgas die Rußpartikel. Ohne Additive bleiben kaum Feststoffreste im Filter zurück, die Nutzungsdauer entspricht der des Motors.

NO_x -Reduktion (Bild 13.19). Vor allem bei Nutzkraftwagen erzwingt die zukünftige Euro V-Norm, die Stickstoffoxide durch Zusatzmaßnahmen zu reduzieren. Ein Gemisch aus Harnstoff und Wasser (AdBlue®) wird in den SCR-Katalysator eingespritzt. Dabei reagiert das NO_x -haltige Abgas mit dem Harnstoff und verwandelt diese Abgaskomponente in N_2 und Wasserdampf. Bei einer Überdosierung entsteht Ammoniak, das von einem Sensor erfasst wird. Ein Steuergerät erfasst alle abgasrelevanten Sensordaten und regelt das Dosierventil.

AdBlue ist weder brennbar noch umweltbelastend und kann daher gefahrlos in einem Zusatztank mitgeführt werden. Es zersetzt sich ab ca. 25°C , friert ab ca. -11°C und benötigt daher besondere Lagerungsbedingungen.

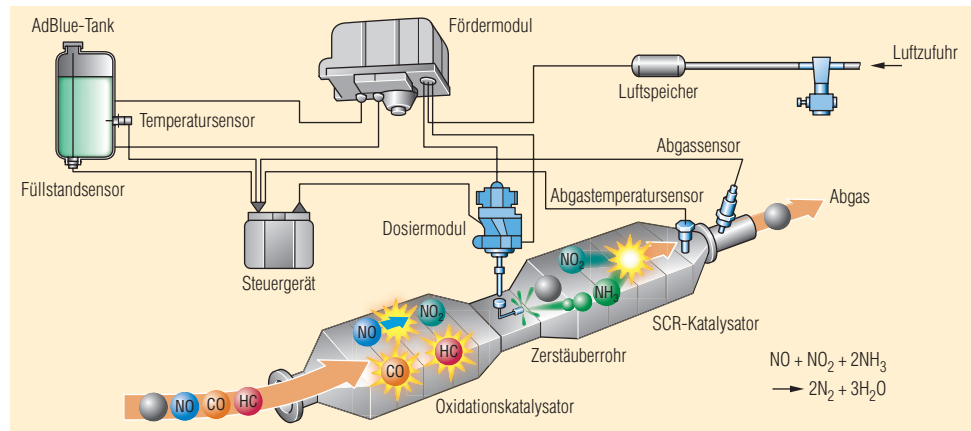


Bild 13.19 NO_x -Reduktion durch SCR-Technik.

13.3 Abgasvorschriften

Durch verschiedene gesetzliche Vorschriften sind die Ansprüche an das Abgasverhalten der Fahrzeuge ständig verschärft worden. Tabelle 13.5

zeigt die wichtigsten Vorschriften und deren Auswirkung bis zum Jahr 2010.

Jahr	1996	2000	2005	2010 (geplant, Stand 2005)
Norm	EU II	D3/EU III	D4/EU IV	EU V
Ottomotoren				
Dieselmotoren				

Tabelle 13.5

Abgaswerte nach EU-Richtlinien.

Ermittlung der Abgaswerte im Prüfzyklus. Zur Einstufung der Fahrzeuge in die jeweilige Abgaskategorie wird ein genormter Fahrzyklus gefahren (Bild 13.20). Dabei wird in fest vorgeschriebenen Intervallen das Fahrzeug beschleunigt und angehalten. Der gesamte Prüfzyklus dauert 1180 Sekunden (ca. 20 Minuten) und entspricht einer Fahrstrecke von 11,007 km. Die Abgase werden in Gramm pro Kilometer (g/km) gemessen. Seit dem Jahr 2000 beginnt der Prüfzyklus mit kaltem Motor. Für die EU II war eine Warmlaufphase von 40 s vorgesehen.

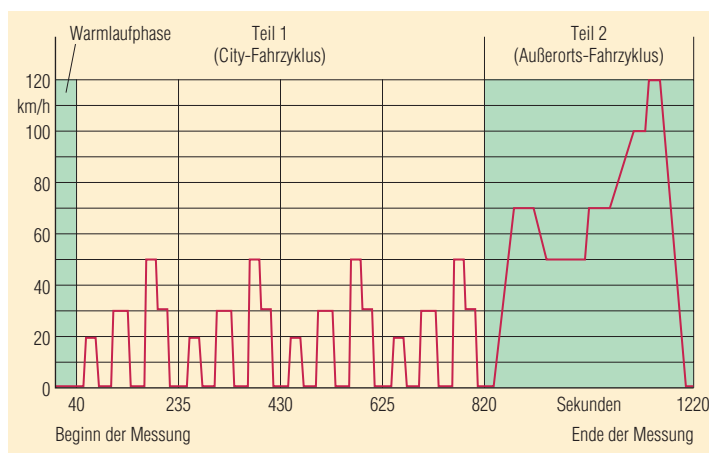


Bild 13.20 Ablaufdiagramm des EU-Prüfzyklus.

on board (engl.):
an Bord (meint: direkt
im Fahrzeug)



Bild 13.21
MIL-Warnlampe.

MIL: Malfunction
Indicator Light
(engl.) = Störungs-
anzeigelicht

WUC: Warm Up
Cycles (engl.) =
Aufwärmzyklen
(Kaltstart auf min-
destens 70 °C)

Readiness (engl.):
Bereitschaft

CARB:
California Air
Resources Board

13.3.1 Europäische On Board Diagnose (EOBD)

Die strengen Abgasvorschriften haben nur dann einen Sinn, wenn sie jederzeit kontrolliert werden können. Dafür gibt es die On Board Diagnose, die für alle Fahrzeuge in der EU vorgeschrieben ist. Sie gilt für Fahrzeuge mit Ottomotor, die ab 2001 zum ersten Mal zugelassen wurden, für Dieselmotoren ab 2005. Die EOBD überwacht ständig die festgelegten abgasrelevanten Daten. Wenn Fehler auftreten, werden diese durch die MIL-Warnlampe (Bild 13.21) im Armaturenbrett angezeigt und im Fehlerspeicher des Motorsteuergerätes abgelegt. Die Lampe muss aufleuchten, wenn im Fahrbetrieb zwei- oder dreimal der gleiche abgasrelevante Fehler auftritt. Tritt der Fehler anschließend viermal nicht auf, erlischt die Lampe, der Fehler bleibt im Fehlerspeicher des Motorsteuergerätes erhalten. Tritt der Fehler innerhalb von 40 WUC nicht mehr auf, wird er komplett gelöscht.

Der Zugang zum Steuergerät erfolgt über die genormte Schnittstelle zum Datensichtgerät. Die Norm legt folgende Werte fest:

- Belegung der Kommunikationsleitung,
- Art der Steckverbindung,
- Diagnose-Testgeräte,
- Datenaustauschprotokolle,
- Fehlercodes.

EOBD-Diagnose-Stecker. Eine 16-polige Steckverbindung, die vom Fahrerplatz aus gut erreichbar sein muss, dient als Normanschluss (Bild 13.22). Dieser Anschluss wird auch CARB-Stecker genannt, weil die in Kalifornien vorgeschriebene Steckverbindung der EU-Norm entspricht.

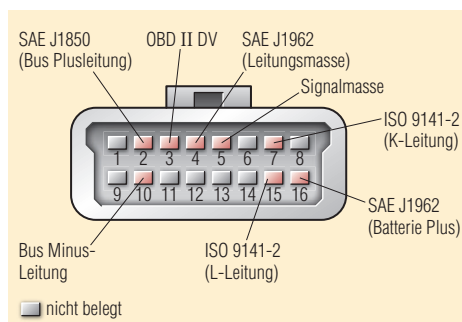


Bild 13.22 Stecker für OBD II.

Sobald die Kabelverbindung zwischen Datensichtgerät und der Elektronik des Motors hergestellt ist, muss sich die Datenverbindung automatisch aufbauen und folgende abgasrelevanten Daten übertragen:

- abgasrelevante Fehlercodes zum Datensichtgerät,
- abgasrelevante Ist-Werte zum Datensichtgerät,
- gespeicherte Daten aus dem Motorumfeld zum Datensichtgerät,
- Befehl zum Löschen der EOBD-Fehlercodes zum Steuergerät.

Readinesscode ist die zentrale Information, ob das EOBD-System betriebsbereit ist. Der Readinesscode besteht aus 4 Bytes, die einen bestimmten Status haben müssen. Jedes Byte kann $2^8 = 256$ verschiedene Schaltzustände darstellen.

Jedes Bit steht für ein System des Motormanagements und zeigt, ob das System einen Kontrollvorgang durchlaufen hat. Nicht vorhandene, aber in der Norm genannte Systeme erhalten den Wert 0. Bild 13.23 zeigt das Beispiel eines Readinesscodes bei einem Dieselmotor mit EOBD. Er kann von jedem EOBD-Auslesegerät festgestellt werden.

Bit:									
Byte:	7	6	5	4	3	2	1	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Readiness-Code ist vollständig
1	0	0	0	0	0	1	1	0	
2	1	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	

Bild 13.23 Readinesscode.

Byte 0 bestimmt den MIL-Status. Bit 7 setzt den Schaltzustand, d.h. ob die Warnlampe eingeschaltet ist; die Bits 0 bis 6 ergeben je nach Kombination einen Zählstatus der gesetzten Fehler. In unserem Beispiel haben alle Bits den Wert 0, d.h. die Lampe ist aus und es gibt keinen Fehler.

Byte 1 betrifft das Kraftstoffsystem.

Byte 2 betrifft die Abgasrückführung. Bit 7 hat den Wert 1, d.h. eine Überprüfung wird unterstützt; der Wert 0 würde bedeuten: ein solches System ist nicht vorhanden.

Byte 3 betrifft ebenfalls die Abgasrückführung.

Wurde der Fehlerspeicher zurückgesetzt oder der Steuergerätestecker abgezogen, ist der Readinesscode gelöscht und muss neu erzeugt werden. Dafür muss ein genormter Fahrzyklus mehrfach durchfahren werden (Bild 13.24), damit alle notwendigen Daten vom System erfasst werden können. Ohne einen gesetzten Readinesscode darf das Fahrzeug die Werksatt nicht verlassen.

Fehlercode nach SAE J2012. Neben dem Readinesscode gibt es noch einen genormten Fehlercode, der Auskunft über abgasrelevante Fehler gibt. Die OBD-Fehlercodes bestehen aus 5 Ziffern (Bild 13.25). Die erste Ziffer bezeichnet die Systemart. P steht für Powertrain, B für Karosserie, C für Fahrwerk und U für zukünftige Systeme. Für die EOBD sind nur P-Codes gefordert.

Die zweite Stelle kennzeichnet den Normcode. 0 entspricht dem gesetzlichen Code, 1 den herstellereigenen Codes, die dem Gesetzgeber gemeldet und veröffentlicht werden müssen.

Die dritte Stelle gibt Auskunft über die Baugruppe, in der der Fehler auftritt, die vierte und fünfte Stelle bezeichnen die fehlerhaften Bauteile. Der Code P0204 besagt, dass es einen Fehler bei den Einspritzdüsen gibt, der Schaltkreis von Zylinder 4 hat eine Fehlfunktion.

EOBD-Funktion bei Ottomotoren. Fahrzeuge, die über eine EOBD verfügen, haben eine zweite λ -Sonde hinter dem Katalysator (Monitor-Sonde, Bild 13.26). Sie überprüft die Funktion des Katalysators. Fällt die erste Sonde aus, übernimmt die zweite Sonde die Lambda-Regelung. Bild 13.27 auf S. 300 zeigt eine EOBD-Abgasanlage mit motornahem Kat und doppelwandigem Auspuffkrümmer.

Die Prüfung erstreckt sich hauptsächlich auf folgende Funktionen:

- die Verbrennung,
- den Katalysator,
- die λ -Sonde,
- das Sekundärluftsystem,
- die Tankentlüftung,
- das Abgasrückführung.

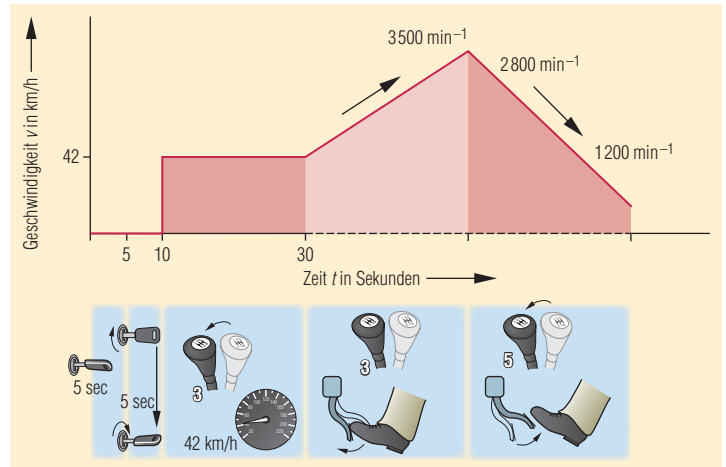


Bild 13.24 Fahrzyklus Readinesscode.

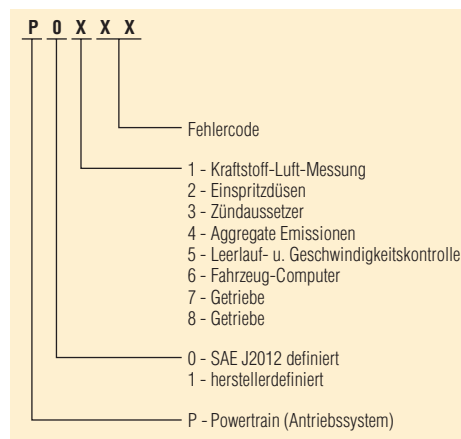


Bild 13.25 Fehlercode nach SAE J2012.

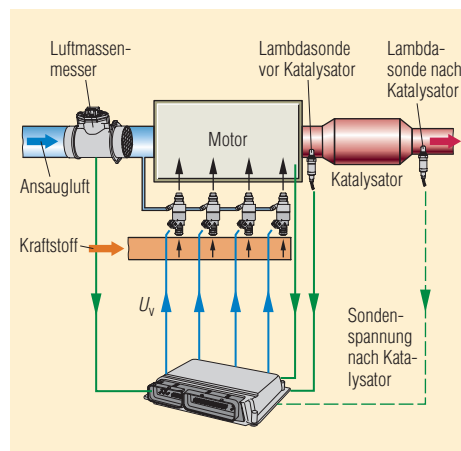


Bild 13.26 Systemübersicht OBD-fähiger Motor.

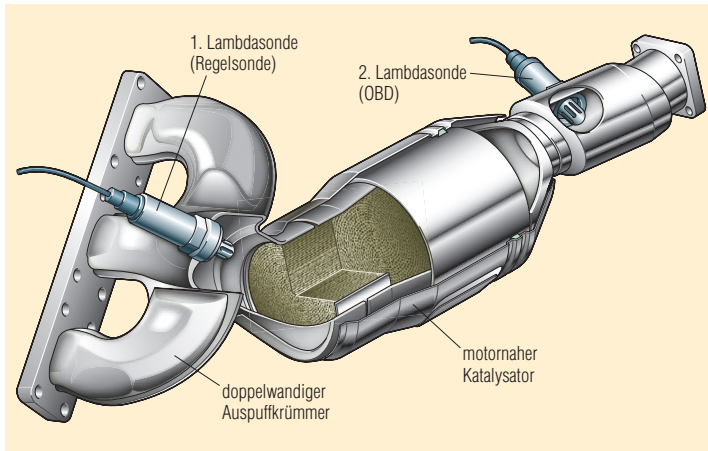


Bild 13.27 Motornaher Katalysator mit OBD-Sonde.

EOBD-Funktion bei Dieselmotoren. Fahrzeuge, die Euro IV erfüllen, verfügen ebenfalls über die EOBD-Funktion. Alle Fahrzeuge haben einen Oxidationskatalysator, eine Abgasrückführung und sonstige Techniken zur Erfüllung der Abgasvorschriften. Zum Prüfumfang bei Dieselmotoren gehören z. B. die Kontrolle von

- Einspritzbeginnregelung,
- Abgasrückführungsregelung,
- Glühsystemüberwachung,
- CAN-Datenbus,
- Ladedruckregelung,
- Partikelfilterüberwachung (falls vorhanden),
- Geber für Motordrehzahl.

13.3.2 Abgasuntersuchung in der Werkstatt

Um eine gleich bleibende Qualität der Abgasuntersuchung zu gewährleisten wird in der StVZO festgeschrieben, dass nur Meister als AU-Verantwortliche unterschreibungsberechtigt sind. Fachlich geschulte Gesellen führen die AU durch, sind aber nicht unterschreibungsberechtigt. Alle AU-zugelassenen Institutionen müssen über die vorgeschriebenen Einrichtungen verfügen und die AU-Durchführenden in festgelegten Fristen schulen lassen. Die Dokumentation jeder einzelnen AU ist vorgeschrieben.

Bei der Dokumentation müssen – entweder elektronisch oder auf Papier – folgende Informationen festgehalten werden:

- Namentliche Nennung des zuständigen AU-Personals (AU-Beauftragter, verantwortliche Gesellen oder Fachkräfte),
- Terminierung der durchgeführten und geplanten Schulungsmaßnahmen für das AU-Personal,
- festgestellte Mängel bei der AU und Klassifizierung,
- Nachweis über die zugeteilten Plaketten,
- betriebliche Maßnahmen, die die gleich bleibende Qualität bei der Durchführung der Dokumentation gewährleisten.

Jede zugelassene Prüfungsinstitution muss dafür einen AU-Beauftragten benennen.

Prüfumfang bei Ottomotoren ohne EOBD. Die folgenden Ausführungen gelten für Motoren ab der Abgasnorm Euro II.

Als erstes muss eine Sichtprüfung durchgeführt werden. Dabei wird begutachtet, ob

- die Abgasanlage vollständig ist,
- die Abgasanlage dicht ist,
- der verengte Tankeinfüllstutzen für bleifreies Benzin vorhanden ist.

Anschließend werden verschiedene Einstellungen kontrolliert:

- der Zündzeitpunkt,
- die Leerlaufdrehzahl,
- der CO-Gehalt bei Leerlaufdrehzahl und bei erhöhter Drehzahl (mind. 2500 min⁻¹).

Zusätzlich wird eine Regelkreisprüfung durch Störgrößenaufschaltung vorgenommen. Dabei wird durch ein Prüfventil Falschlucht in das Ansaugsystem eingelassen. Das Gemisch wird kurzfristig mager. Die Lambda-Regelung muss diesen Fehler innerhalb von 60 Sekunden ausgleichen und das Gemisch wieder auf einen Wert von $\lambda = 1$ einregeln können.

Zum Abschluss wird immer ein Prüfprotokoll ausgedruckt, auch wenn die Prüfung nicht bestanden wurde. Der Ausdruck enthält folgende Daten:

- Fahrzeug-Ident.-Daten,
- Fahrzeugsolldaten,
- Ergebnis der Sichtprüfung,
- Ergebnis der Leerlaufprüfung,
- Ergebnis der erhöhten Leerlaufprüfung,
- Ergebnis der Lambda-Regelkreis-Prüfung,
- Gesamtergebnis: bestanden ja/nein.

Prüfumfang bei Dieselmotoren ohne EOBD. Die Sichtprüfung bezieht sich wie beim Ottomotor auf die Sichtkontrolle der Abgasanlage. Zusätzlich wird geprüft, ob der Volllastanschlag der Einspritzanlage bei durchgetretenem Fahrpedal erreicht wird. Dies gilt nicht bei elektronischem Fahrpedal.

Bei der Abgasprüfung für Dieselmotoren wird die Rußmenge durch die Messung der Rauchgastrübung sowie die vom Hersteller vorgeschriebene Leerlauf- und Abregeldrehzahl erfasst. Dazu wird viermal nacheinander der Motor ohne Last vom Leerlauf auf die Abregeldrehzahl beschleunigt. Die Abregeldrehzahl muss 2 Sekunden beibehalten werden. Die dabei frei werdende Rußmenge wird ab der zweiten Messung erfasst und ausgewertet. Die drei gemessenen Werte müssen innerhalb einer bestimmten Bandbreite liegen, der Mittelwert der drei Messungen gilt als Messwert.

Prüfumfang bei OBD-Systemen. Für die Überprüfung von EOBD-Fahrzeugen ist eine zusätzliche Genehmigung der zuständigen Stelle (Kfz-Innung) erforderlich.

Bei der EOBD gestalten sich viele Prüfschritte einfacher, da z. B. die Drehzahl- und Temperaturerfassung selbstständig durch das Diagnosesystem erfolgt. Auch die Regelkreisüberwachung reduziert sich auf die Bewertung der ausgelesenen Ist-Daten.

Zum Auslesen der Ist-Daten ist ein spezielles Auslesegerät (Scan-Tool, Bild 13.28) notwendig. Das Auslesegerät wird an die EOBD-Schnittstelle im Bereich des Fahrersitzes angeschlossen. Ein Mindeststandard der auszulesenden Informationen bei der AU ist gesetzlich vorgeschrieben.

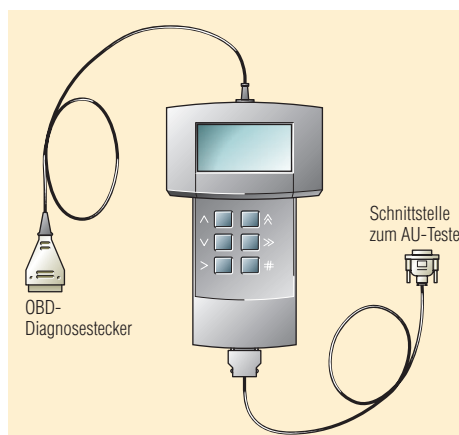


Bild 13.28 EOBD- Auslesegerät.

1. Eingabe der Fahrzeugdaten zur Fahrzeugidentifikation und Kontrolle der Solldaten (Motortemperatur, Leerlaufdrehzahl etc.) wie bei jeder anderen AU.
2. Sichtprüfung (wie gehabt).
3. Prüfungsvorbereitung:
 - Auslesegerät oder AU-Prüfgerät an die EOBD-Diagnoseschnittstelle anschließen,
 - Einschalten des Fahrschalters,
 - Kommunikation zwischen Steuergerät und Prüfgeräten sicherstellen.
4. Sichtprüfung der EOBD-Fehlerlampe bei stehendem Motor (Leuchtet die Fehlerlampe beim Anschalten?).
5. Motor starten.
6. Nochmalige Sichtprüfung der EOBD-Fehlerlampe.
7. Funktionsüberprüfung der Fahrzeug-EOBD:
 - Erkennen des Steuergerätes,
 - Auslesen des EOBD-Fehlerspeichers,
 - Fehleranzahl der gespeicherten Fehler,
 - Prüfbereitschaftstest.
8. Fahrzeugüberprüfung (Temperatur des Motors über EOBD; sonstige Prüfung wie bei einer normalen AU).
9. Ergebnisbewertung.
10. Prüfbescheinigungsausdruck (Bild 13.30, S. 302).

Bild 13.29 Durchführung einer AU bei einem EOBD-Fahrzeug.

1. Vorbereitung	
Fahrzeugzeugschein vorhanden:	<input type="checkbox"/>
Übereinstimmung Kfz-Fahrzeugschein:	<input type="checkbox"/>
AU-Solldaten vorhanden:	<input type="checkbox"/>
4-Gas-Messgerät betriebsbereit:	<input type="checkbox"/>
Motor warm:	<input type="checkbox"/>
2. 4-Gas-Messgerät	
korrekten Anschluss kontrollieren → Start der AU	
3. Eingabe der Kfz-Ident.-Daten in das AU-Gerät	
amtl. Kennzeichen:	<input type="text"/>
Fahrzeug-Ident.-Nr.:	<input type="text"/>
km-Stand laut Tacho:	<input type="text"/>
Text u. Schlüssel-Nr. zu 2:	<input type="text"/>
Text u. Schlüssel-Nr. zu 3:	<input type="text"/>
4. Eingabe der Kfz-Solldaten	
Motortemperatur:	<input type="text"/>
Leerlauf:	<input type="text"/>
Motordrehzahl (min./max.):	<input type="text"/>
Zündwinkel (max./min.):	<input type="text"/>
CO-Gehalt (max. 0,5% Vol.):	<input type="text"/>
erhöhter Leerlauf:	<input type="text"/>
Motordrehzahl (max./min.):	<input type="text"/>
Lambda-Zahl (max./min.):	<input type="text"/>
CO-Gehalt (max. 0,3% Vol.):	<input type="text"/>
Lambda-Regelkreisprüfung:	<input type="text"/>
Grundprüfung Prüfdrehzahl (min./max.) Lambda-Sprung	oder
Alternativverfahren nach Herstellerangaben	
5. Sichtprüfung	
der schadstoffrelevanten Bauteile einschließlich der Auspuffanlage auf Vorhandensein, Vollständigkeit, Beschädigung des verengten Tankeinfüllstutzens, sofern keine Ausnahmeregelung	
<ul style="list-style-type: none"> • Kraftstoffdampfprüchkaltesystem • Katalysator u. Lambda-Sonde • Abgasrückführ- u. Sekundärluftsysteme 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensoren und Aktoren soweit ohne Demontage sichtbar • Ergebnis der Sichtprüfung in das Messgerät eingeben
6. Konditionierung	
Motor und Kat./Lambda-Sonde auf Betriebstemperatur bringen (Herstellerangaben beachten)	
7. Messung der Kfz-Ist-Daten	
Motortemperatur:	<input type="text"/>
Erhöhter Leerlauf:	<input type="text"/>
Motordrehzahl :	<input type="text"/>
Lambda-Zahl (max. 1,0 ± min.):	<input type="text"/>
CO-Gehalt (max. 0,3%):	<input type="text"/>
Regelkreisprüfung:	<input type="text"/>
Leerlauf:	<input type="text"/>
Motordrehzahl (max./min.):	<input type="text"/>
CO-Gehalt (max. 0,5%):	<input type="text"/>
Zündzeitpunkt:	<input type="text"/>
a) Grundverfahren: Störgröße aufschalten → Ausregelung abwarten → Störgröße abschalten → Ausregelung abwarten oder b) Alternativverfahren: mit einem vom Fahrzeughersteller freigegebenen Diagnosegerät Bewertung des Regelkreises	
8. Auswertung durch das 4-Gas-Messgerät	
Soll-/Ist-Vergleich der eingegebenen und gemessenen Werte	
9. Prüfbescheinigung ausdrucken	
Datum und Uhrzeit:	<input type="text"/>
Ausführende Stelle:	<input type="text"/>
Fahrz.-Ident.-Daten:	<input type="text"/>
Gesamtergebnis, Abgasuntersuchung bestanden und Plakette zugeteilt oder nicht:	<input type="text"/>
Fahrzeug-Solldaten:	<input type="text"/>
Ergebnis der Sichtprüfung:	<input type="text"/>
Fahrzeug-Istdaten:	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Kontroll-Nr., Name und Anschrift der Prüfstelle	Unterschrift des AU-Verantwortlichen

Bild 13.30 AU an Fahrzeugen mit Ottomotor und lambdageregelter Gemischaufbereitung.

Arbeitsaufträge

1. Nach einem schweren Verkehrsunfall stellt ein Sachverständiger fest, dass der Schalldämpfer keine ABE hat. Überlegen Sie, welche Folgen das für den Fahrer sowie für die Person bzw. Werkstatt hat, die den Schalldämpfer eingebaut hat.
2. Sie montieren an Ihren Pkw eine „Sport-Auspuffanlage“. Welche Probleme mit dem Motorlauf (Leistung, Verbrauch, Abgase ...) kann es geben, wenn sie nicht auf Ihr Fahrzeug abgestimmt ist?
3. Der Katalysator soll schädliche Abgase entgiften. Bei welchen λ -Werten funktioniert dieser Vorgang? Warum ist die Umwandlung bei einem Dieselmotor nicht vollständig möglich?
4. Überlegen Sie, durch welche Maßnahmen die meisten Abgase vermieden werden können.
5. Welche Kontrollmöglichkeiten gibt es bei der EOBD und wer kann diese Kontrolle durchführen?
6. Was unterscheidet eine Fingersonde von einer Breitbandsonde bezüglich der Messwerte?
7. Welche Bedingungen muss eine Kfz-Werkstatt erfüllen, die eine AU-Prüfberechtigung hat?
8. Welche Folge hat es für ein EOBD-Fahrzeug, wenn die Spannungsversorgung des Motorsteuergerätes unterbrochen war?
9. Muss man Bedenken haben, wenn in Dieselmotoren NO_x mit Harnstoff reduziert werden soll?
10. Welche Folgen entstehen, wenn ein Rußpartikelfilter nicht regeneriert wird?

14 Kühl- und Schmiersysteme

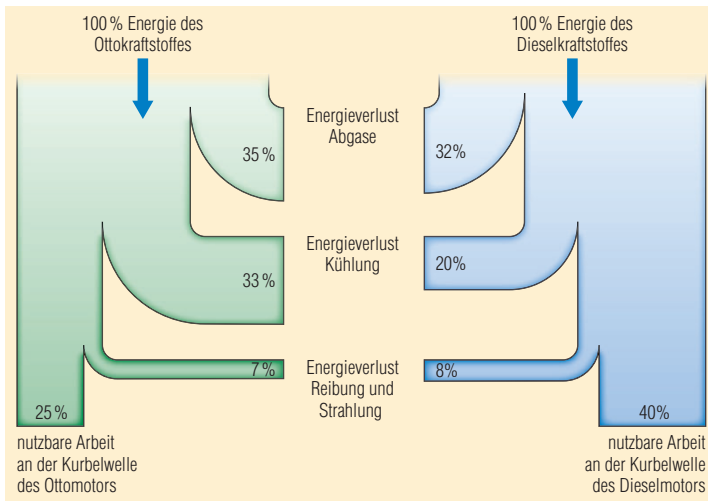


Bild 14.1 Nutzbare Energie und Verlustenergie bei einem Verbrennungsmotor.

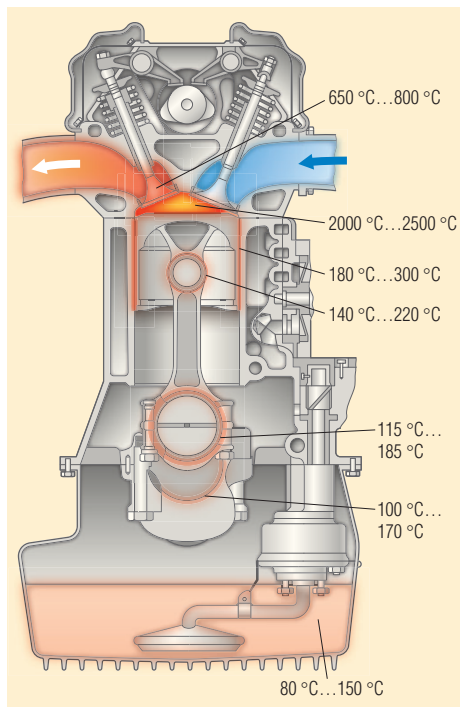


Bild 14.2 Temperaturen im Motorblock.

Der größte Teil der chemischen Energie des Kraftstoffes wird bei seiner Verbrennung im Motor als Wärmeenergie an die Umwelt abgegeben. Dabei muss rund ein Drittel der erzeugten Wärme durch das Kühlsystem abgeführt werden. Die genaue Energiebilanz zeigt das Sankey-Diagramm (Bild 14.1). Auch die Schmieröle im Motor geben Wärmeenergie an das Kühlsystem ab, sodass Schmier- und Kühlsystem in ihrer Funktion voneinander abhängen.

14.1 Motorkühlung

Beim Betrieb eines Verbrennungsmotors werden seine Bauteile thermisch hoch belastet. Besonders wichtig ist die Kühlung an den Stellen, an denen der Schmelzpunkt des Werkstoffes erreicht werden könnte. Das gilt vor allem für den Kolben, die Ventile und den Zylinderkopf (Bild 14.2).

Neben der Abführung der überschüssigen Wärme muss ein Kühlsystem noch weitere Aufgaben erfüllen:

- für ein schnelles Erreichen der Motorbetriebs-temperatur sorgen,
- Einhalten einer möglichst konstanten Motorbetriebs-temperatur unter allen Fahrbedingungen,
- Schutz der Schmierstoffe des Motors vor Überhitzung und Zersetzung,
- Frischgase vor zu großer Erwärmung schützen um den Liefergrad zu erhöhen,
- Absenken der Temperatur im Verbrennungsraum um unkontrollierte Selbstentzündung bei Ottomotoren zu vermeiden.

In der Regel werden die Kühlsysteme von Kraftwagen und hubraumstarken Krafträdern mit einer Kühlflüssigkeit betrieben. Lediglich kleinere Krafträder und stationäre Motoren werden durch Luft gekühlt.

14.1.1 Prinzipien der Flüssigkeitskühlung

Die Flüssigkeitskühlung kann nach dem Schwerkraftprinzip oder – was heute üblich ist – mit Unterstützung einer Pumpe betrieben werden. Im zweiten Fall kann die Temperatur mechanisch oder elektronisch geregelt werden.

Schwerkraftprinzip. Die Flüssigkeitskühlung nach dem Schwerkraftprinzip funktioniert ohne Umwälzpumpe (Bild 14.3). Das Wasser wird im Motor erwärmt, dehnt sich aus und steigt aufgrund seiner geringeren Dichte nach oben in den Kühler. Dort kühlt sich das Wasser schichtweise ab und sinkt nach unten, da seine Dichte wieder zunimmt. Das abgekühlte Wasser strömt zwangsweise in den Motor, weil die aufsteigenden Warmwasserteile das kalte Wasser nachsaugen. Dieses Prinzip wird in einfachen Motoren verwendet, z. B. in Zweiradmotoren. Das Schwerkraftprinzip hat folgende Nachteile:

- keine Temperaturregelung möglich,
- starke Abkühlung durch Fahrtwind,
- Kühlwirkung von der Umgebungstemperatur abhängig.

Pumpenumlaufkühlung. Die Kühlflüssigkeit wird mithilfe eines Thermostatventils in einen kleinen oder in einen großen Kühlerkreislauf gelenkt (Bild 14.4). So lange der Motor noch nicht die Solltemperatur erreicht hat, bleibt das Thermostatventil geschlossen, das Kühlwasser zirkuliert im kleinen Kreislauf (Kurzschlusskreislauf). Die geringe Wassermenge im Kurzschlusskreislauf erwärmt sich in kurzer Zeit, der Motor erreicht schnell seine Betriebstemperatur. Bereits zu diesem Zeitpunkt strahlt die Innenraum-Heizung Wärme ab, was für die Sicherheit und den Komfort der Fahrzeuginsassen wichtig sein kann.

Sobald die Wassertemperatur einen bestimmten Wert übersteigt, öffnet das Thermostatventil und leitet heißes Wasser in den großen Kreislauf zum Kühler.

Der Kühlwasserthermostat (Bild 14.5) besteht aus einem Dehnstoffelement, einer Rückholfeder und zwei Ventilplatten. Als Dehnstoff wird ein spezielles Wachs verwendet, das je nach Ausführung bei einer Temperatur von ca. 80 °C flüssig wird. Bei steigender Wassertemperatur dehnt es sich aus und drückt gegen den Gummieinsatz, der Metallstift wird aus dem Einsatz verdrängt. Da sich dieser gegen das obere Gehäuse abstützt, wird die gesamte Metalldose mit beiden Ventilplatten nach unten gedrückt. Bei vollem Hub schließt jetzt die untere Platte den kleinen Kreislauf. Gleichzeitig gibt die obere Platte den großen Kreislauf mit maximalem Querschnitt frei. Dabei strömt das Wasser vollständig zum Kühler.

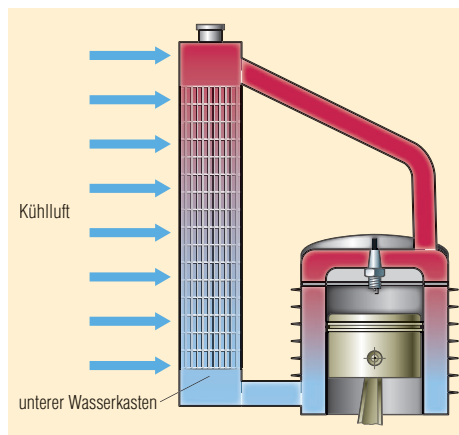


Bild 14.3 Wasserkühlung nach dem Schwerkraftprinzip.

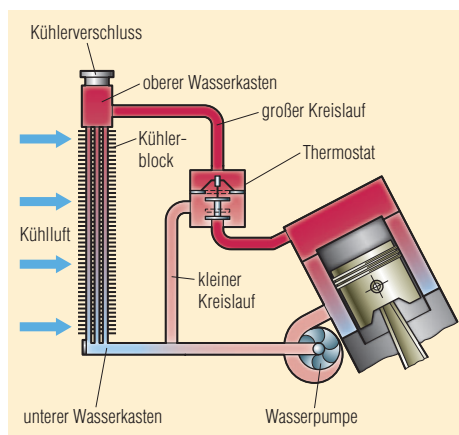


Bild 14.4 Pumpenumlaufkühlung.

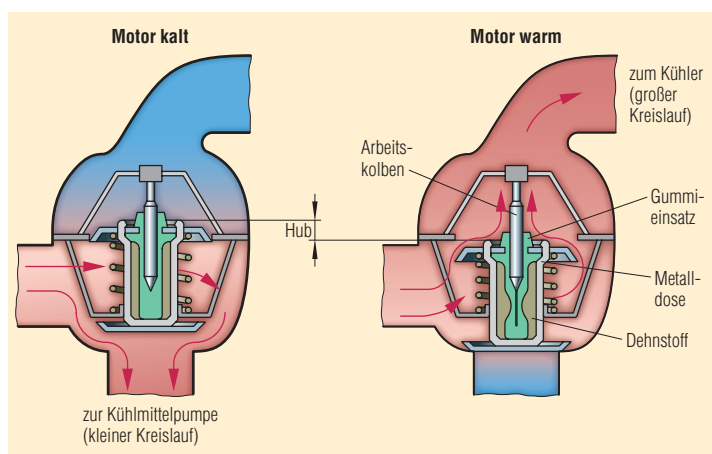


Bild 14.5 Thermostatventil.

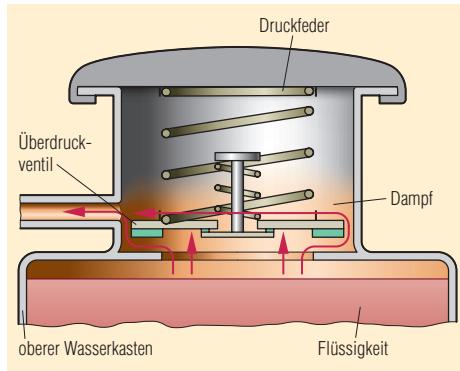


Bild 14.6 Kühlerdeckel im Überdruckbereich.

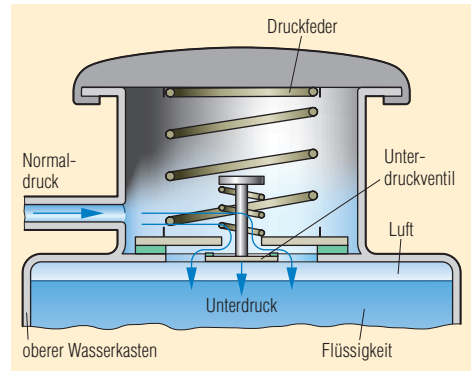


Bild 14.7 Kühlerdeckel im Unterdruckbereich.



Kühlerdeckel dürfen niemals bei heißem Motor geöffnet werden, weil der Druckabfall zu einer explosionsartigen Verdampfung des Kühlwassers führt. Extreme Unfallgefahr!

Tritt eine zu starke Abkühlung des Wassers ein (Dehnstoff zieht sich zusammen), drückt die Feder den Stift zurück und der große Kreislauf wird allmählich geschlossen. Die Strömungsquerschnitte ändern sich langsam, sodass meistens Wasser mit unterschiedlichen Anteilen in beiden Kreisläufen strömt. Der gesamte Vorgang entspricht einem kontinuierlichem Regelvorgang, in dem die Temperatur des Kühlmittels bei rund 90 °C mit einer Genauigkeit von ca. ± 5 °C konstant gehalten werden kann. Dieses System arbeitet automatisch, solange das Thermostatventil korrekt öffnet und schließt.

Der Verschlussdeckel des Kühlkreislaufes besitzt sowohl ein Überdruck- als auch ein Unterdruckventil. Das Überdruckventil öffnet erst bei ca. 1,5 bar (Bild 14.6). Sollte die bei diesem Druck entstehende Siedetemperatur (ca. 130 °C) erreicht werden, öffnet sich das Überdruckventil und der entstehende Wasserdampf kann entweichen. Beim Abkühlen der Kühlflüssigkeit reduziert sich das Flüssigkeitsvolumen, es entsteht ein Unterdruck im System. Durch Öffnen des Unterdruckventils (Bild 14.7) wird der Druck durch Nachströmen von Luft ausgeglichen.

Kühlerfrostschutzmittel. Dem Kühlwasser muss stets ein Kühlerfrostschutzmittel zugesetzt werden. Seine wesentlichen Aufgaben sind:

- sicherer Schutz gegen Einfrieren der Flüssigkeit im Kühlsystem,
- Korrosionsschutz für alle Metalle im Kühlkreislauf,
- Schutz der übrigen Werkstoffe im Kühlsystem.

Kühlerfrostschutzmittel bestehen meist aus dem Alkohol Ethylenglykol. Sie sollen nitrit-, amin- und phosphatfrei sein. Alle Motorenhersteller schreiben bestimmte Frostschutzmittel vor bzw. geben bestimmte Produkte für ihre Motoren frei.

Es gibt silicathaltige und silicatifreie Kühlerfrostschutzmittel. Eine Mischung beider Stoffe sollte grundsätzlich vermieden werden, da die Korrosionsschutzeigenschaften verloren gehen könnten. Silicatifreie Kühlerfrostschutzmittel werden vor allem bei Voll-Aluminium-Motoren verwendet. Kühlerfrostschutzmittel dürfen nur mit Wasser verdünnt eingesetzt werden. Eine zu hohe Konzentration verringert die Wirkung.

Das elektronisch geregelte Kühlsystem ermöglicht eine sehr genaue Temperaturregelung. Die jeweilige Kühlmitteltemperatur wird an den Lastzustand des Motors angepasst. Diese so genannte kennfeldgesteuerte Temperaturregelung (Bild 14.8) hat folgende Vorteile:

- Verbrauchsreduktion im Teillastbereich,
- Reduzierung von CO und HC-Rohemissionen.

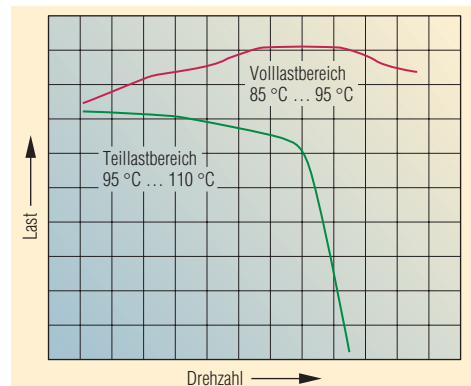


Bild 14.8 Kennfeldgesteuerte Temperaturregelung.

Das im Motorsteuergerät abgelegte Kennfeld sorgt im Teillastbereich für eine höhere Motortemperatur. Das Leistungsverhältnis wird günstiger, der Verbrauch sinkt und damit die Abgasmenge. Im Vollastbereich ermöglichen niedrigere Temperaturen eine höhere Leistung, weil durch die kältere Ansaugluft der Liefergrad deutlich verbessert wird.

Im Verteilergehäuse für das Kühlmittel ist ein elektrisch regelbarer Thermostat eingebaut (Bild 14.9). Sein mechanischer Aufbau entspricht einem normalen Dehnstoffthermostatventil, in dem ein elektrisches Heizelement integriert ist. Dieses kann bei Aktivierung durch das Steuergerät das Dehnstoffelement zusätzlich zur Wärme der Kühlflüssigkeit beheizen. Das Wachs schmilzt dann bereits bei niedrigeren Kühlmitteltemperaturen.

Im Verteilergehäuse kommen alle Zulauf- und Rücklaufverbindungen des Kühlsystems zusammen (Bild 14.10):

- Wasserkühler,
- Motorkreislauf,
- Heizungswärmetauscher,
- Getriebeölkühler (bei Automatikgetrieben).

Das Motorsteuergerät verarbeitet alle Daten, die von den einzelnen Sensoren ermittelt werden (Tabelle 14.1).

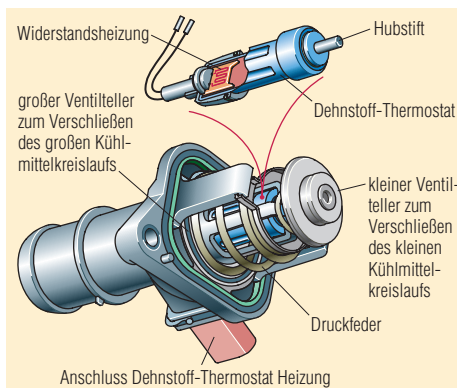


Bild 14.9 Elektrisch beheizter Thermostat.

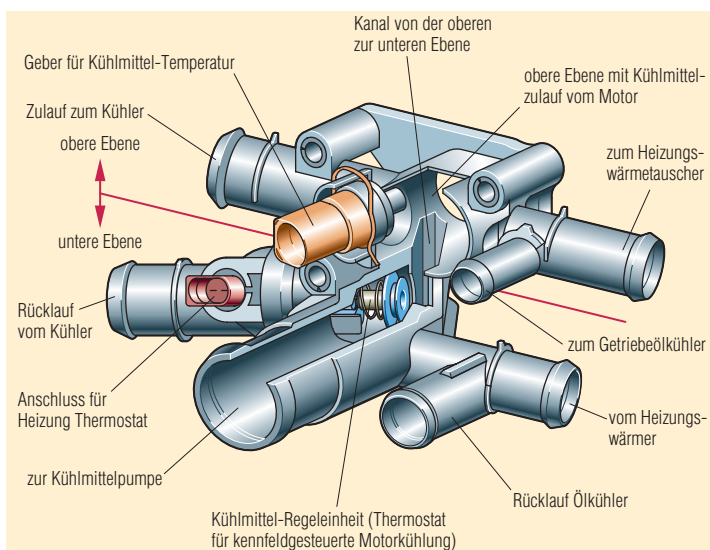


Bild 14.10 Kühlmittelverteilergehäuse für elektronische Temperaturregelung.

Sensor-Information	Auswertung im Steuergerät
Motordrehzahl	Erkennen von Vollast, Teillast, Leerlauf
Luftmassenmesser	Luftmasse (Last) und Drehzahl ergeben die Öffnung des Thermostaten (großer/kleiner Kreislauf), Geschwindigkeit und Ansaugluft-Temperatur bestimmen eine weitere Korrekturgröße bei Vollast.
Geber für Kühlmitteltemperatur	wirkt direkt in den Regelkreis (in Abhängigkeit der Kennfelder).
Fahrgeschwindigkeitssignal	ab 100 km/h wird der Lüfter nicht mehr zugeschaltet, er hätte keine Wirkung mehr, verbraucht aber Energie.
Potenzimeter für Temperaturwahl der Heizung	hält die Temperatur im Heizkreislauf konstant, auch bei Schwankungen im Kühlkreislauf, verbessert den Fahrkomfort.
Tabelle 14.1	Funktionen der Sensoren im elektronisch geregelten Kühlsystem.

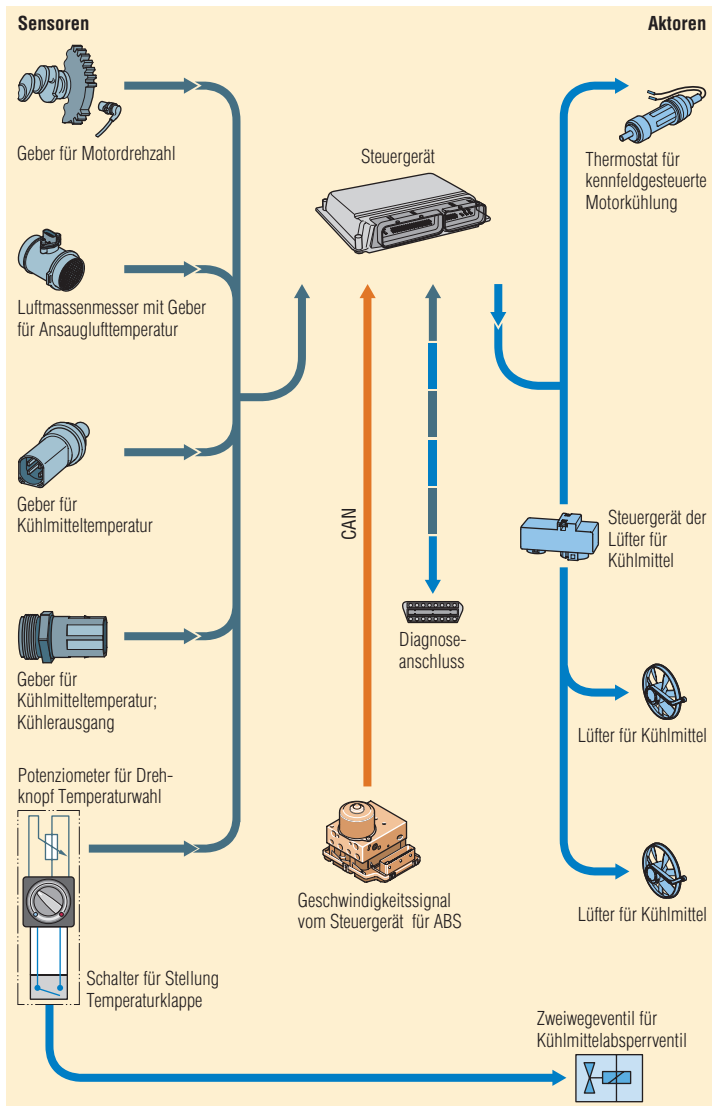


Bild 14.11 Systemübersicht der elektronischen Temperaturregelung.

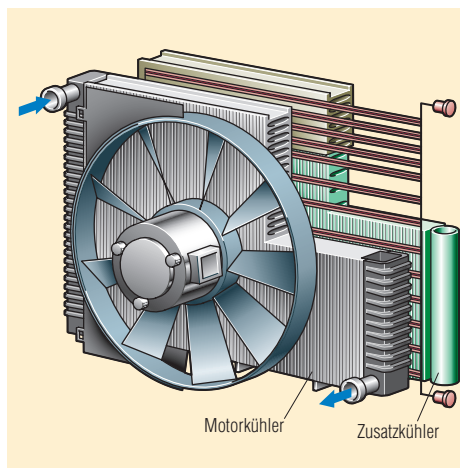


Bild 14.12 Integriertes Kühlsystem.

Durch die Kennfeldsteuerung ergibt sich in allen Fahrsituationen eine optimale Regelung des Motorlaufs (Bild 14.11). Neben dem elektrisch beheizten Thermostat wirkt das Steuergerät noch auf den Elektrolüfter des Kühlers und auf das Ventil des Heizungskreislaufs. Das elektrisch geregelte Absperrventil sorgt für eine konstante Temperatur des Heizungskreislaufs in Abhängigkeit vom eingestellten Temperaturwunsch.

14.1.2 Kühler und Lüfter einer Flüssigkeitskühlung

Kühler werden unterschieden nach der Bauart der Kühlrippen und der Strömungsrichtung des Wassers.

In Abhängigkeit von der Strömungsrichtung haben die Kühlrippen entweder oberhalb und unterhalb oder seitlich von einem Wasserkasten die Schlauchanschlüsse zum Kühlsystem. Zusätzlich können noch weitere Kühlelemente – z. B. für die Ölkühlung – angeflanscht sein. Diese Kühler sind in einem gemeinsamen Rahmen montiert, haben aber getrennte Flüssigkeitsanschlüsse (Bild 14.12).

Die verschiedenen Kühlerbauarten besitzen unterschiedliche Eigenschaften und werden entsprechend dem Bedarf ausgewählt (Tabelle 14.2).

Der Lüfter des Kühlsystems wird entweder elektrisch von einem Motor oder mechanisch durch einen Keilriemen angetrieben.

Das Kühlsystem benötigt den Lüfter nur gelegentlich. Ein laufender Lüfter verbraucht je nach Größe mehr als 5 kW Leistung und kühlt das System oft zu stark ab, da mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit die Kühlwirkung auch durch den Fahrtwind zunimmt. Daher gibt es fast nur noch Lüfterantriebe, die bei Bedarf einkuppeln.

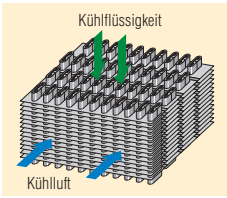
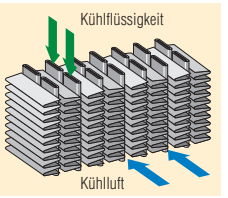
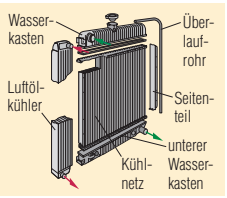
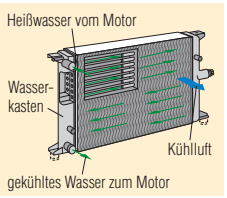
Bauart	Wellrippenkühler	Flachrippenkühler	Fallstromkühler	Querstromkühler
				
Funktion	<ul style="list-style-type: none"> die Wasserröhren haben als Zwischenraum gewellte Rippen, der Wärmeübergang wird verbessert, die Rippen sind sehr empfindlich gegen Insekten und andere Fremdkörper. 	<ul style="list-style-type: none"> die Zwischenräume werden von Blechen ausgefüllt, der Wärmeübergang ist nicht gut, die Rippen sind sehr stabil und unempfindlich gegenüber Fremdkörpern, häufige Verwendung bei Nutzfahrzeugen. 	<ul style="list-style-type: none"> Standardbauweise mit Wasserkasten oben und unten, erleichtert den natürlichen Wasserlauf von warm nach kalt. 	<ul style="list-style-type: none"> häufig bei Fahrzeugen mit niedriger Bauhöhe, Wasserkästen befinden sich rechts und links, zusätzlich ist ein Ausgleichbehälter notwendig.

Tabelle 14.2 Kühlerbauarten.

Dafür bietet sich eine Viscokupplung an (Bild 14.13). Diese wird ständig von einem Keilriemen angetrieben und schließt sich automatisch, sobald die vom Kühler ankommende Luft die zulässige Maximaltemperatur erreicht hat. Die Kupplung öffnet, sobald die Luft vom Kühler unter den Minimalwert gesunken ist.

Ein Alternative ist das Elektrolüfterystem (Bild 14.14). Vorteile sind die beliebige Einbauposition und die gute Steuerbarkeit. Als Nachteil gilt die begrenzte Leistung des Elektromotors.

Achtung! Der ausgebaute Lüfter mit Viscokupplung darf nur stehend gelagert werden!

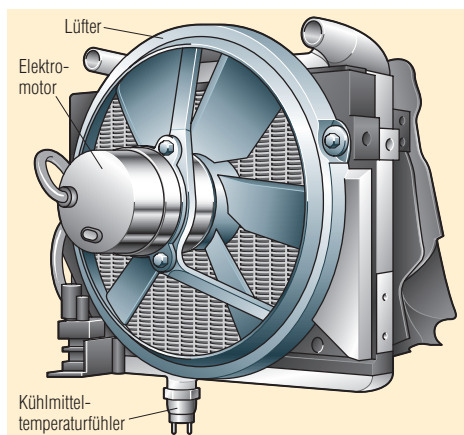


Bild 14.14 Elektrischer Lüfterantrieb.

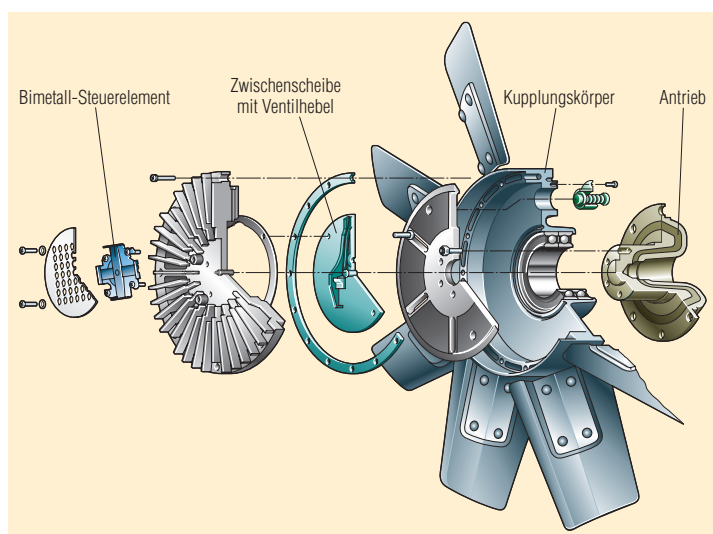


Bild 14.13 Lüfterantrieb mit Viscokupplung.

14.1.3 Luftkühlung

Bei der Luftkühlung übernimmt entweder der Fahrtwind oder ein Gebläse die Kühlung. Kühlrippen am Motor vergrößern die Oberfläche und ermöglichen so eine bessere Wärmeabfuhr (Bild 14.15). Wegen der guten Wärmeleitfähigkeit bestehen die Kühlrippen oft aus Aluminium.

Die Luftkühlung hat gegenüber der Flüssigkeitskühlung die in Tabelle 14.3 aufgelisteten Vor- und Nachteile.

Stationäre Motoren in Pumpenanlagen, Kompressoren, Baumaschinen usw. sind häufig luftgekühlt, weil das Gebläsekühlsystem direkt im Motor eingebaut ist und keine weiteren Montageplätze, z. B. für einen Kühler, erforderlich sind (Bild 14.16). Das System ist sehr kompakt und funktioniert auch bei hohen Lufttemperaturen.

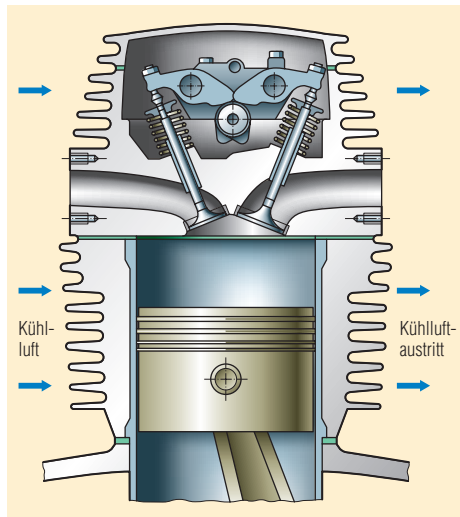


Bild 14.15 Motorblock mit Luftkühlung.

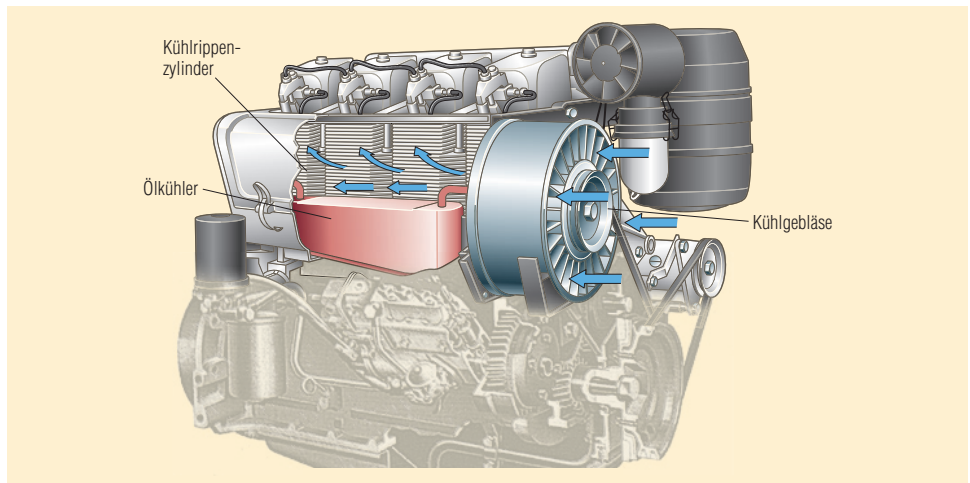


Bild 14.16 Luftgekühlter Mehrzylindermotor.

Vorteile

- einfache Bauweise (keine Kühlkanäle im Motorblock)
- kleiner Raumbedarf (fehlender Kühler)
- geringes Gewicht (keine Flüssigkeit zur Kühlung)
- kein Frostschutz erforderlich
- stationär in alle Einbautagen verwendbar (Kühlung mit eingebautem Gebläse)
- unempfindlich und fast wartungsfrei

Nachteile

- ungleichmäßige Kühlwirkung bei Mehrzylindermotoren
- große Temperaturunterschiede beim Betrieb des Motors (Lastzustände)
- größere Toleranz zwischen Kolben und Zylinder wegen größerer Wärmedehnung (geringere Leistung)
- sehr laute Geräusche durch Gebläse
- Leistungsverlust durch Gebläse

Tabelle 14.3

Vor- und Nachteile der Luftkühlung.

14.2 Motorschmierung

Um den Verschleiß der bewegten Teile in einem Verbrennungsmotor möglichst gering zu halten, muss unter allen Betriebsbedingungen für eine ausreichende Schmierung gesorgt werden. Im Einzelnen gehören dazu folgende Aufgaben:

- Schmierung der Gleitlagerstellen im Motor,
- Kühlung der Motorteile, die einer besonders hohen Erwärmung unterliegen (Kolben, Zylinderwand, ...),
- Abdichtung vom Kolben mit seinen Kolbenringen gegen die Zylinderwand,
- „Abwaschen“ von Ablagerungen,
- Bindung von Schmutzpartikeln im Schmiermittel,
- Schutz vor Korrosion.

Nach längeren Betriebszeiten lagern sich Schmutzpartikel im Öl an, die durch regelmäßigen Ölwechsel entfernt werden müssen. Bei Benzinmotoren sorgt unverbrannter Kraftstoff

von häufigen Kaltstartvorgängen für eine unerwünschte Verdünnung. Bei Dieselmotoren führen abgewaschene Rußpartikel zu einer Eindickung des Öls. Beide Verunreinigungen gefährden eine ausreichende Schmierung der Motoren. Zu den weiteren Verunreinigungen im Motoröl gehören:

- Staubpartikel,
- metallische Abriebteilchen,
- Schlammbildung durch Wasser(-kondensat).

14.2.1 Arten der Schmierung

Druckumlaufschmierung. Bei der Druckumlaufschmierung wird das Öl unter Druck aus der Ölwanne an die Schmierstellen gepumpt. Im gesamten Motorblock sind entsprechende Versorgungskanäle vorhanden (Bild 14.17). Die wichtigsten Schmierstellen sind die Bereiche der Kurbelwelle und der Nockenwelle.

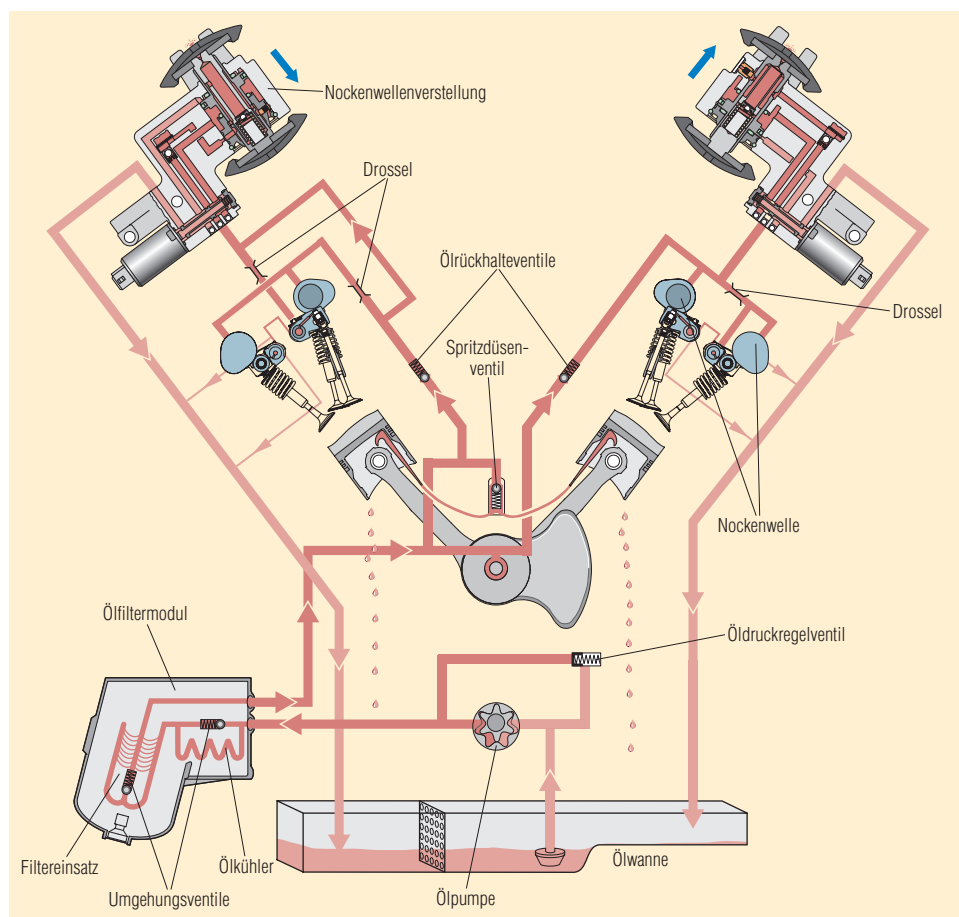


Bild 14.17 System einer Druckumlaufschmierung.

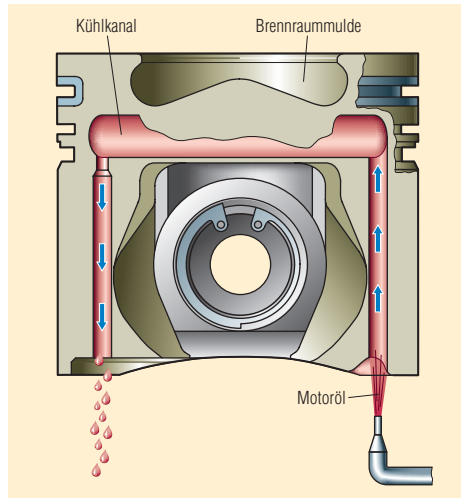


Bild 14.18 Von unten mit Öl gekühlter Kolben.

Das Öl benetzt die Schmierstellen und tropft anschließend zurück in die Ölwanne (Ölsumpf). Zusätzlich kann das Öl eine mögliche Nockenwellenverstellung und den Pleuellager versorgen. Die Pleuellager direkt einspritzender Dieselmotoren werden von unten mit einem Ölstrahl angespritzt um eine Überhitzung zu verhindern (Bild 14.18).

Die Ölpumpe befindet sich im unteren Bereich des Motors. Von dort saugt sie das Öl aus dem tiefsten Punkt der Ölwanne an und fördert es in das Ölfiltermodul. Nach der Filterung gelangt es zu den Schmierstellen. Das System enthält eine Reihe von Ventilen, die für den richtigen Systemdruck und eine ausreichende Schmierung unter den verschiedenen Betriebsbedingungen sorgen:

- Das Öldruckregelventil verhindert einen zu hohen Öldruck, der mit zunehmender Drehzahl der Ölpumpe steigen würde. Wird der Förderdruck zu groß, fließt das zu viel geförderte Öl zurück in die Ölwanne.
- Die Umgehungsventile im Filtermodul sorgen dafür, dass das Öl auch dann zu den Schmierstellen gelangt, wenn Ölkühler oder der Hauptstromfilter verstopft sind (allerdings ungekühlt oder ungefiltert).
- Die Ölrückhalteventile zwischen Pleuellager und Pleuellager verhindern, dass der Druck im Pleuellagerkopf abfällt und die Pleuellager leerlaufen.

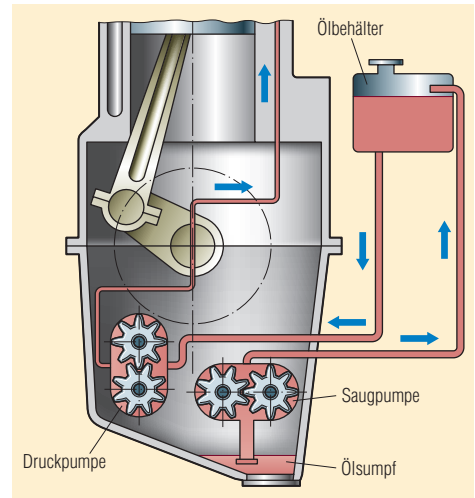


Bild 14.19 Trockensumpfschmierung.

Damit bei schneller Kurvenfahrt oder längerer Schräglage des Fahrzeugs das Öl nicht zur Seite gedrückt wird und dadurch die Ölpumpe „Luft zieht“, können in die Ölwanne Schwallbleche eingebaut werden.

Die Trockensumpfschmierung besteht aus einer kleinen Ölwanne, zwei Ölförderpumpen und einem gesonderten Ölbehälter, der neben dem Motorblock montiert ist (Bild 14.19). Die Drumpumpe versorgt die Schmierstellen mit Drucköl, die Saugpumpe sorgt dafür, dass der Ölbehälter stets mit dem abgetropften Öl gefüllt ist. Dieses Schmiersystem wird bei Motoren verwendet, die für einige Zeit eine extreme Schräglage haben können (Geländefahrzeuge) oder die durch schnelle Kurvenfahrt zeitweise Ölmenge in der Ölwanne bekommen könnten (Rennfahrzeuge). Der besondere Vorteil ist die niedrige Bauhöhe, der Nachteil die notwendigen zwei Ölpumpen.

Schmierung bei Zweitaktmotoren. Die meisten Zweitaktmotoren arbeiten mit einer Mischschmierung (Gemischschmierung), die aufgrund ihrer Funktion keine baulichen Besonderheiten benötigt (preiswert). Eine Umwelt schonendere Alternative ist die Getrenntschmierung.

- Mischschmierung durch Ölzusatz im Kraftstoff: Das spezielle Zweitaktöl wird im Verhältnis 1 : 50 bis 1 : 100 dem Kraftstoff beigemischt.
- Getrenntschmierung (Frischölschmierung): Das Öl wird aus einem separaten Tank mit einer Dosierpumpe direkt zu den Schmierstellen gefördert. Der Verbrauch von Öl ist geringer, die Rauch- und Geruchsbelastung sinkt.

14.2.2 Ölpumpen

Ölpumpen (Ölförderpumpen) müssen einen ausreichenden Öldruck bei hohem Förderstrom (bis ca. 350 l/h) liefern. Sie müssen sehr leistungsfähig und funktionssicher sein, da bei Ausfall der Ölversorgung der Motor innerhalb kurzer Zeit stark geschädigt werden kann. Daher wird der Fahrer bei einem Öldruckverlust oder Ölmenge durch eine Warnleuchte im Armaturenbrett auf die Gefahr aufmerksam gemacht.

Die meisten Pumpen arbeiten mit zahnradartigen Konstruktionen, bei denen das Volumen im Saugbereich zwischen den Zahnraden vergrößert und in der Druckstufe verkleinert wird. Das angesaugte Öl hat keinen Platz zwischen den Zähnen und wird in den Druckkanal gefördert.

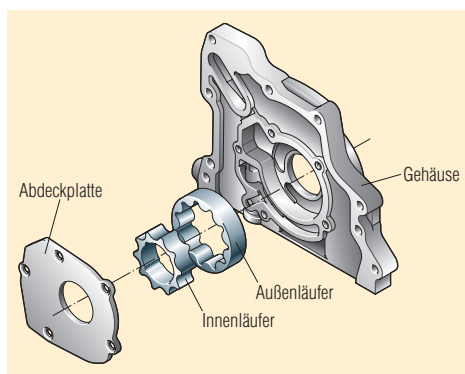


Bild 14.20 Bauteile einer Kurbelwellen-Ölförderpumpe.

Rotorpumpe. Bei ihr wird der Innenläufer angetrieben, der den Außenläufer mitdreht (Bild 14.21). Beim Ansaugen vergrößert sich das Volumen zwischen den Zahnraden und erzeugt einen Unterdruck. Am oberen Ende des Förderweges verengt sich das Volumen, das Öl wird über den Ablaufkanal in den Ölkreis gedrückt. Dieses System liefert eine große Fördermenge und wird bei großen Motoren verwendet.

Die Außenzahnradpumpe ist einfach herzustellen und zuverlässig (Bild 14.22). Das Öl wird vom Zahnrad um das Innengehäuse herum gefördert.

Innenzahnradpumpe (Sichelpumpe). Das Innenrad ist meist direkt auf der Kurbelwelle befestigt und erhält dadurch Antrieb und Führung (Bild 14.23). Das innenverzahnte Außenrad läuft exzentrisch um die Sichel. Durch das größer werdende Volumen wird das Öl angesaugt und vom Innen- und Außenrad an der Sichel vorbei zur Druckseite gefördert. Da auf der Druckseite das

Volumen durch die zusammengeführten Zahnradpaare wieder kleiner wird, strömt das Öl zwangsläufig in den Auslasskanal. Die Förderleistung ist groß, die Pumpe läuft besonders geräuscharm.

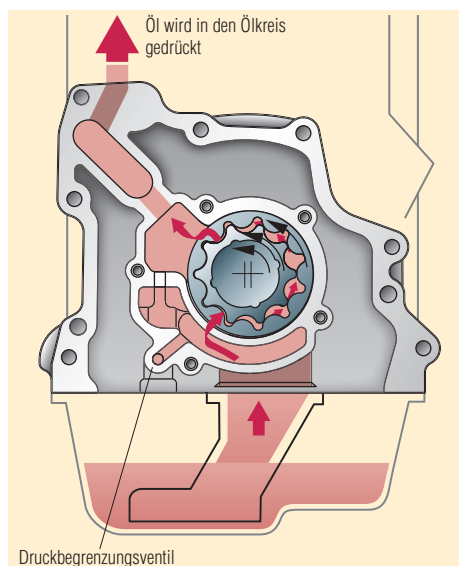


Bild 14.21 Rotorpumpe.

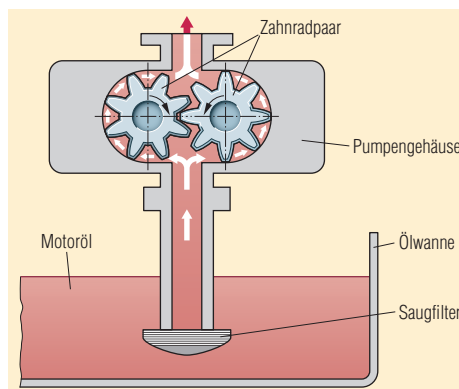


Bild 14.22 Außenzahnradpumpe.

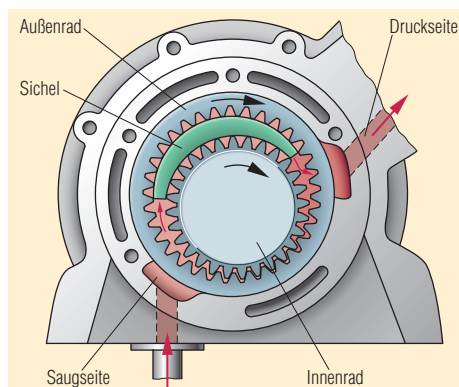


Bild 14.23 Innenzahnradpumpe.

14.2.3 Ölfilterung

Die Schmiereigenschaften eines Motoröls können nur über längere Zeit erhalten bleiben, wenn schädliche Stoffe regelmäßig aus dem Öl herausgefiltert werden. Dies ist Aufgabe des Ölfiltersystems. Es können Ölfiltermodule mit eingesetzten Filterpatronen benutzt werden, die zusätzlich die Kühlfunktion übernehmen (Bild 14.24). Das gesamte von der Pumpe geförderte Öl strömt durch das Filter. Um bei Verstopfungen

die Schmierung zu garantieren ist ein Filterumgehungsventil (Bypassventil) eingebaut, das öffnet, wenn der Öldruck zu groß wird und die Filterpatrone nicht mehr genügend Öl durchlässt.

Wechselfilter haben ein eigenes Gehäuse (Bild 14.25). Diese Bauart ist sehr kompakt; beim Ölwechsel muss das Gehäuse mitentsorgt werden. Bei der Filterpatrone wird nur der Einsatz ausgetauscht, die Entsorgung ist entsprechend günstig.

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Einbaustellen für die Filterung: im Haupt- oder im Nebenstrom (Tabelle 14.4).

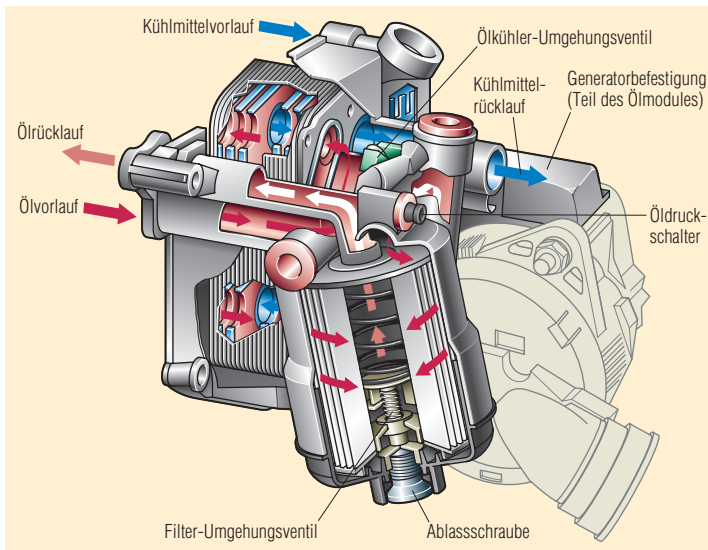


Bild 14.24 Ölfiltermodul.

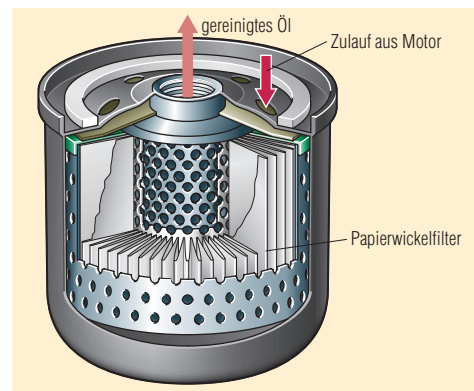


Bild 14.25 Wechsel-Ölfilter.

Hauptstromfilter	Nebenstromfilter	kombinierter Haupt- und Nebenstromfilter
<ul style="list-style-type: none"> • Hauptstromfilter sind Grobfilter, sie filtern nur große Partikel heraus, • großer Mengendurchsatz, • die gesamte Ölmenge wird ständig gefiltert. 	<ul style="list-style-type: none"> • Feinfilter können Partikel bis auf 10 µm herausfiltern, • die Durchflussmenge ist gering, • nur ein Teil des Öls wird im Nebenstrom gefiltert. 	<ul style="list-style-type: none"> • die Kombination beider Systeme ermöglicht eine ständige Grobfilterung und eine teilweise Feinfilterung, • Teile des Öls werden laufend feingefiltert, nach einigen Durchläufen ist das gesamte Ölvolumen feingefiltert.
Tabelle 14.4		Ölfiltersysteme.

14.3 Schmierstoffe für Motoren (Motoröle)

An Motoröle werden höchste Qualitätsanforderungen gestellt, damit sie für den Einsatz in modernen Motoren geeignet sind. Motoröle werden in einem komplizierten mehrstufigen Prozess hergestellt. Sie bestehen aus Grundölen und Additiven.

Grundöle. Motoröle werden aus verschiedenen Grundölen zusammengestellt, die direkt aus dem Raffinierungsprozess kommen.

Bild 14.26 zeigt das Molekülmodell eines Grundöls mit Paraffinen. Paraffine werden schon bei Temperaturen um den Gefrierpunkt fest und müssen daher aus dem Grundöl entfernt werden.

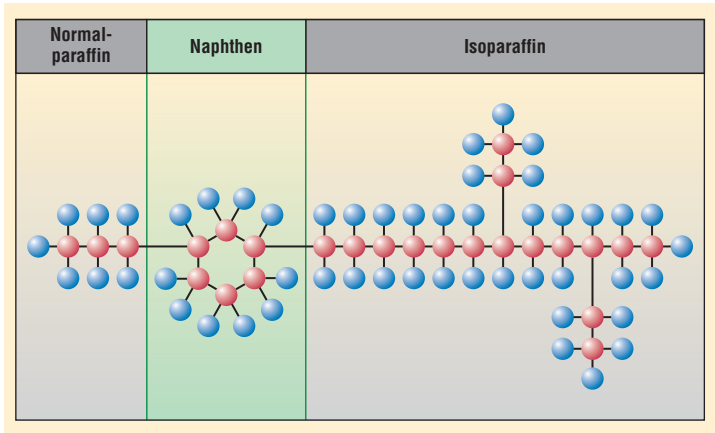


Bild 14.26 Kohlenwasserstoffkette (Grundöl) mit Paraffinen.

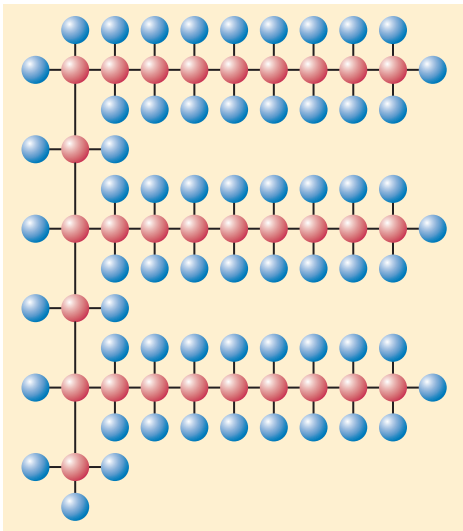


Bild 14.27 Kohlenwasserstoffkette mit synthetischem PAO.

Dagegen zeigt Bild 14.27 eine durch chemische Prozesse hergestellte Version, das PAO (Poly-Alpha-Olefin). Weil die Kohlenwasserstoffketten zuerst chemisch zerlegt und dann wie gewünscht wieder zusammengesetzt werden, heißt eine solche Verbindung auch Synthetiköl. Das PAO ist ein wichtiger Grundstoff zur Herstellung von Ölen mit niedriger Viskosität.

Additive. Neben den Grundölen, die je nach Anforderung miteinander gemischt werden, kommen Additive in geringen Mengen vor. Tabelle 14.5 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Additive.

raffinieren:
Öle und andere (Natur-)produkte reinigen und veredeln.

Kraftstoffherstellung → S. 207

VI: Viskositätsindex

Pourpoint: Stockpunkt

Additiv	Antioxidantien	Detergens/ Dispersants	Korrosionsschutz	extreme Pressure
Wirkung	verhindert schnelle Verharzung und Ölkohle	verhindern Ablagerungen	neutralisiert aggressive Stoffe	verhindert direkten Kontakt der aufeinander gleitenden Teile
Additiv	Reibwertveränderer	VI-Verbesserer	Pourpoint-Erniedriger	Antischaumwirkstoffe
Wirkung	verbessert Leichtlauf-eigenschaften	Fließverbesserung bei niedrigen Temperaturen	senkt den Stockpunkt bei niedrigen Temperaturen	verflüssigt Ölschaum und sichert dadurch den Schmierfilm
Tabelle 14.5 Bezeichnung und Wirkung von Additiven.				

Viskosität. Darunter versteht man die Fähigkeit einer Flüssigkeit, ihrer Verformung einen Widerstand entgegenzusetzen (Zähflüssigkeit). Beim Öl wird die Viskosität mit zunehmender Temperatur geringer, allerdings ist der Schmierfilm dann auch nicht mehr so tragfähig. Bild 14.28 zeigt das unterschiedliche Viskositätsverhalten bei verschiedenen Temperaturen zweier verschiedener Ölsorten.

Die Kennzeichnung der Viskosität eines Schmieröls erfolgt nach SAE-Viskositätsklassen. Prinzipiell wird zwischen Einbereichsölen (erfüllen nur eine Viskositätsklasse) und Mehrbereichsölen (erfüllen mehrere Viskositätsklassen) unterschieden.

Die Kennzeichnung erfolgt durch eine Zahlen-/Buchstabenkombination:

SAE: Society of Automotive Engineers (Vereinigung der Automobilingenieure)

Einteilung der SAE-Klassen: beginnt bei 0W (dünnflüssig) und endet bei 50W (dickflüssig)

SAE 10W (Einbereichsöl). Die Zahl gibt den Temperaturbereich an, in dem das Öl eingesetzt werden kann.

SAE 10W 40 (Mehrbereichsöl). Die erste Zahl kennzeichnet den unteren Temperaturbereich im Winter, die zweite Zahl den oberen Bereich im Sommer, bei dem das Motoröl seine Schmierfunktion noch sicher erfüllen kann (Bild 14.29).

Die Viskosität ist nur eins von vielen Merkmalen für die richtige Auswahl eines Motorenöls. Sie stellt kein Qualitätsmerkmal dar. Es gibt aber Qualitätsnormen, die für folgende Merkmale Mindestanforderungen stellen:

- Öleindickung,
- Verschleiß,
- Ablagerungen,
- Motorsauberkeit,
- Rußabtragevermögen.

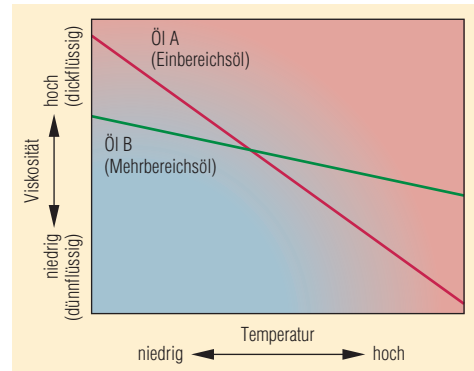


Bild 14.28 Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur.

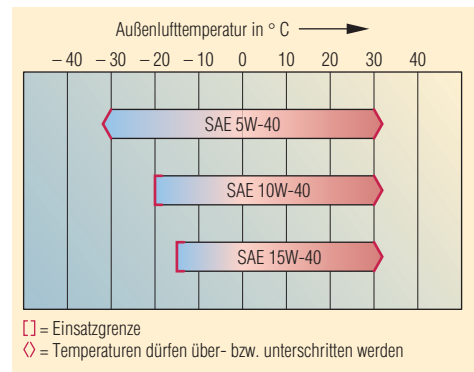
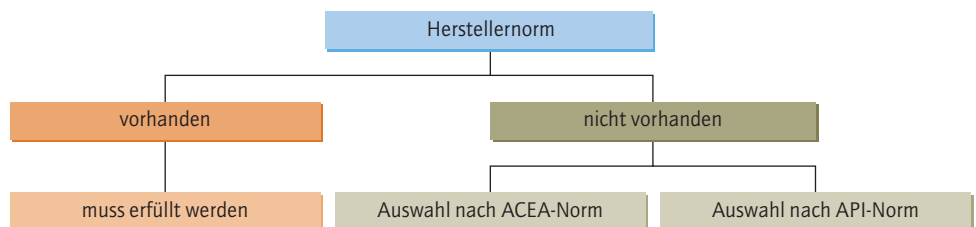


Bild 14.29 Viskositätsabhängiger Einsatzbereich von Motorölen.

Qualitätsnormen von Motorölen. Verschiedene Qualitätskennzeichnungen können auf der Verpackung des Öls zu finden sein:

- API = Spezifikationen des American Petroleum Institute,
- ACEA = European Oil Sequences for Service-fill Oils (ab 1996),
- Herstellernormen von z.B. BMW, MAN, DaimlerChrysler, Porsche, Scania, Volvo, VW ...,
- MIL = Spezifikationen der US-Armee.

Im Falle eines Ölwechsels gilt für die Werkstatt die im Schaubild dargestellte Vorgehensweise.



Wenn eine Herstellernorm vorhanden ist, muss das verwendete Öl sie erfüllen, d. h. die entsprechende Norm muss aufgeführt sein. Ohne besondere Herstellernorm kann man sich an der aktuellen ACEA-Vorschrift orientieren.

Die ACEA unterteilt Motorenöle in vier Klassen und gibt den Beginn der Gültigkeit mit einer Jahreszahl an.

A3₉₈ → Benzinmotoren, gültig ab 1998

B3₉₈ → Pkw-Dieselmotoren ohne Rußpartikelfilter, gültig ab 1998

C1₀₄ → Pkw-Dieselmotoren mit Rußpartikelfilter, gültig ab 2004

E6₀₄ → Nkw-Dieselmotoren, gültig ab 2004

Ein wichtiges Merkmal ist die HTHS-Viskosität (**H**ohe **T**emperatur – **H**ohe **S**chergeschwindigkeit bei hoher Drehzahl des Motors). Einen Überblick über den Anwendungsbereich der ACEA-Ölnormen auch im Vergleich zur API-Norm gibt Tabelle 14.6.

Bezeichnung nach ACEA	Eigenschaften	Vergleichbare API-Norm	Herstellerspezifische Norm (Beispiele)
Pkw-Motoren mit Otto- oder Dieselmotor ohne Rußpartikelfilter			
A1 / B1-04	Einbereichsmotorenöl mit niedriger HTHS	SJ / EC	Ford WSS-M2C 91 3-A
A3 / B3-04	Mehrbereichsöl mit verbesserter Kolbensauberkeit, Viskositätsstabilität bei Rußbelastung	SL/CF	
A3 / B4-04	für direkt einspritzende Pkw-Dieselmotoren	SL/CF	MB 229.3 VW 503 01
A5 / B5-04	entspricht B4, jedoch mit 2,5 % geringerem Kraftstoffverbrauch	—	VW 50601
Pkw-Dieselmotoren mit Rußpartikelfilter			
C1-04	für Pkw-Diesel mit Rußpartikelfilter Sulfataschegehalt max. 0,5 %		nur Ford
C2-04	für Pkw-Diesel mit Rußpartikelfilter Sulfataschegehalt max. 0,8 %		nur Peugeot
C3-04	für Pkw-Diesel mit Rußpartikelfilter Sulfataschegehalt max. 0,8 %		MB 229.31 BMW Longlife-04 VW 507 00
Nkw-Motoren und Arbeitsmaschinen			
E2-96	Universalöl für aufgeladene Motoren	CF	
E4-99	Geeignet für Euro-III-Motoren	CG-4	
E6-04	für Euro-IV-Motoren mit Abgasrückführung (AGR) SCR-NO _x , Sulfataschegehalt < 1 %	CI-4	MB 228.51 MAN M 3277
E7-04	für Euro-IV-Motoren mit AGR, SCR-NO _x , Sulfataschegehalt < 2 %	CI-4	MAN M 3277aa
Tabelle 14.6	Ölnormen im Vergleich.		

14.4 Schmierstoffe für Getriebe und Lager

Schmierstoffe für Schaltgetriebe müssen die gleichen Anforderungen erfüllen wie Motoröl. Als Viskositätsbereich kommen folgende Werte infrage:

- normale Getriebe:
SAE 75W-90 oder 80W-90,
- Hypoidantriebe:
SAE 75W bis 85W-140.

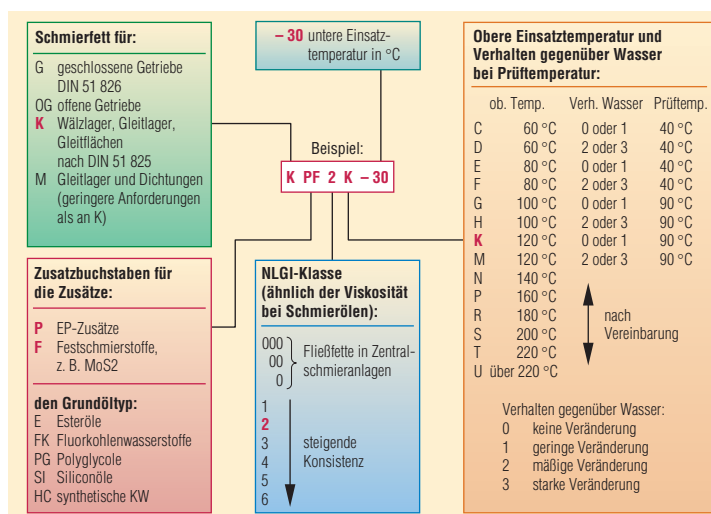
Bei Auswahl nach den API-Leistungsklassen gibt es die Gruppen GL1 bis GL5 sowie MT-1 für unsynchronisierte Nkw-Getriebe (Tabelle 14.7).

ATF-Öle. Automatikgetriebe benötigen besondere Öle (ATF=Automatic-Transmission-Fluids), weil sie zusätzliche Eigenschaften erfüllen müssen:

- gute Wärmeabfuhr,
- Übernahme von Schaltfunktionen in hydraulischen Schaltungen,
- Dichtungsverträglichkeit,
- hohe Alterungsbeständigkeit mit dem Ziel einer Dauerfüllung (muss nie ausgetauscht werden).

API-Klasse	MIL-Spezifikation	Einsatzart/ Einsatzbedingungen	Firmenvorschriften (Beispiele)
GL1	–	gering belastete Schaltgetriebe	Volvo-Nkw
GL2	–	Industrie-/Schneckengetriebe	
GL3	–	normal belastete Schaltgetriebe	Fiat
GL4	MIL-L-2105	hochbelastete Schaltgetriebe, gering belastete Hypoidgetriebe	MAN 341 MB Blatt 235.1
GL5	MIL-L-2105 B MIL-L-2105 C MIL-L-2105 D	hochbelastete Hypoidgetriebe, Schaltgetriebe wenn vorge- schrieben/zugelassen	MAN 342 MB Blatt 235.0
MT-1	MIL-PRF-2105 E	unsynchronisierte Schaltge- triebe in amerikanischen Nkw	Eaton, Fuller

Tabelle 14.7 Leistungsklassen für Getriebeöle.



Es gibt keine allgemeine Norm, sondern nur Herstellernormen. Jeder ATF-Ölhersteller weist spezielle Freigaben der Getriebehersteller aus.

Schmierfette sind stark eingedickte Öle, die die Aufgabe der Dauerschmierung bei Zahnrädern, Wälz- und Gleitlagern, Scharnieren usw. übernehmen. Dazu müssen sie folgende Eigenschaften erfüllen:

- weich bei niedrigen, nicht flüssig bei hohen Temperaturen,
- beständig gegen Heißwasser,
- dichtungsverträglich,
- alterungsbeständig.

Die Kennzeichnung von Schmierfetten wird in einer Kombination von Buchstaben und Zahlen festgehalten (Bild 14.30).

Bild 14.30 Kennzeichnung von Schmierfetten.

Arbeitsaufträge

1. Bei der Analyse eines Motorschadens wird mangelhafte Schmierung durch überhitztes Öl festgestellt. Überlegen Sie, welche Ursachen für einen solchen Schaden infrage kommen.
2. Warum werden luftgekühlte Motoren nur selten eingesetzt?
3. Bei einem Dehnstoffthermostaten ist der Metallstift verbogen, der maximale Hub wird nicht erreicht. Was ist die Folge?
4. Wodurch rechtfertigt sich der Aufwand eines elektronisch geregelten Kühlsystems?
5. Warum werden Lüfterantriebe fast nur schaltbar verwendet?
6. Die Trockensumpfschmierung kommt bei Großserienfahrzeugen selten vor. Überlegen Sie, welche technischen und wirtschaftlichen Gründe es dafür gibt.
7. Erkundigen Sie sich nach dem Öl- und Filterwechsel an einem Ihnen nicht bekannten Fabrikat. Wie werden Öl- und Filterwechsel durchgeführt?
8. Das Ölwechselintervall ist erheblich überschritten, der Hauptstromfilter lässt durch Ablagerungen kaum noch Öl passieren. Was sind die möglichen Folgen?
9. Woher kommt der Begriff des Synthetiköls, welche technische Bedeutung hat es?
10. Welchen Sinn machen Herstellernormen neben den allgemeinen Qualitätsnormen bei Motorölen?

15 Kupplungen

15.1 Aufgaben und Anordnung im Antriebsstrang

Die Kupplung ist eine kraftschlüssige und lösbare Verbindung zwischen Motor und Wechselgetriebe (Bild 15.1).

Durch das Trennen von Motor und Wechselgetriebe wird das Schalten der Gänge ermöglicht. Darüber hinaus können moderne Kupplungen noch weitere Aufgaben erfüllen:

- weiches und ruckfreies Anfahren,
- Geräusche im Antriebsstrang durch Schwingungsdämpfung minimieren,
- schneller und störungsfreier Gangwechsel,
- Motor und Kraftübertragungsteile bei Blockade vor Überlastung schützen,
- Langsamfahren wie beispielsweise beim Rangieren ermöglichen,
- Anhalten ohne Abstellen des Motors.

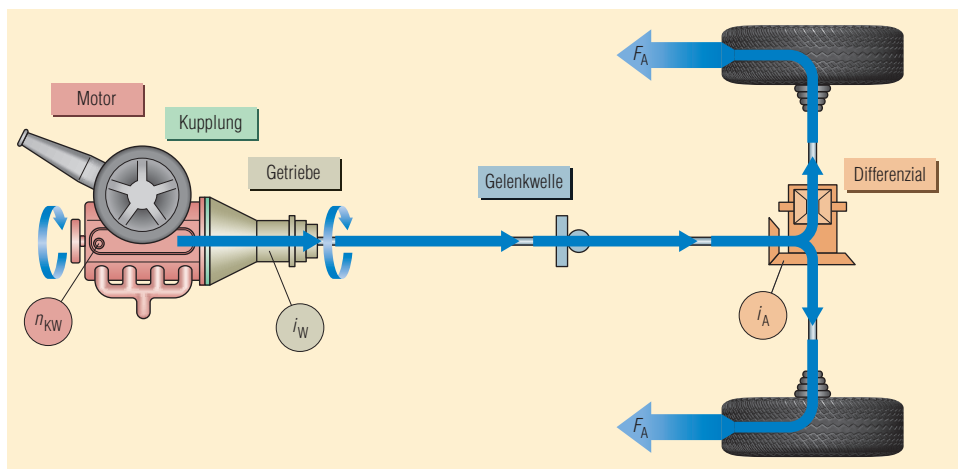


Bild 15.1 Anordnung der Kupplung im Triebwerk.

15.2 Bauarten

Für die vielfältigen Aufgaben werden verschiedene Kupplungsformen gebaut (Tabelle 15.1).

Wegen ihrer Vorteile wird heute im Pkw-Bereich überwiegend die Membranfederkupplung eingesetzt. Sie entspricht dem Wunsch des Kunden nach hohem Bedienungskomfort. Eigenschaften:

- einfacher rotationssymmetrischer Aufbau, dadurch hohe Drehzahlfestigkeit,
- die Membranfederungen übernehmen die Ausrückfunktion,
- geringe axiale Baulänge,
- hoher Anfahrkomfort durch abstimmbare Belagfederung,
- vergleichsweise geringe Ausrück- und Haltekräfte trotz hoher übertragbarer Drehmomente.

Die Kennlinien in Bild 15.2 verdeutlichen die Vorteile der Membranfederkupplung gegenüber der veralteten Schraubenfederkupplung. Die Ausrückkraft im ausgekuppelten Zustand (Kupplungspedal durchgetreten) ist viel geringer als bei der Schraubenfederkupplung. Das Halten der Kupplung und das fein dosierte weiche Anfahren sind somit erheblich einfacher.

Der Verlauf der Anpresskraft einer Membranfederkupplung in Bild 15.3 verdeutlicht, dass diese durch Belagabnutzung zuerst sogar steigt. Bei Erreichen der zulässigen Belagabnutzung entspricht sie etwa dem Neuzustand. Die Ausrückkraft erhöht sich währenddessen nur geringfügig.

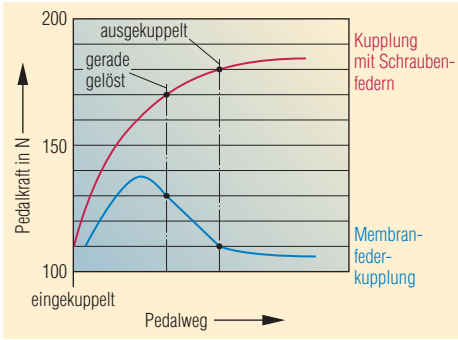


Bild 15.2 Pedalkraft von Membranfederkupplung und Schraubenfederkupplung im Vergleich.

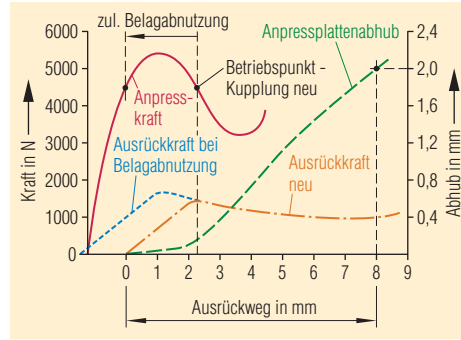


Bild 15.3 Ausrückkraft und Anpresskraft der Membranfederkupplung.

Skizze	Bauart	Verwendungszweck	Besonderheit
Reibungskupplungen			
	Einscheibenkupplung	Anfahr- und Schaltkupplung	<ul style="list-style-type: none"> • gängigste Bauform mit Membranfeder (Tellerfeder) • selten mit Schraubenfedern • Trockenkupplung
	Zweischeibenkupplung	Anfahr- und Schaltkupplung	<ul style="list-style-type: none"> • höheres übertragbares Drehmoment, daher Einbau in Lkws oder Rennwagen
	Mehrscheiben- oder Lamellenkupplung	Anfahr- und Schaltkupplung	<ul style="list-style-type: none"> • gute Drehmomentübertragung auch bei geringem Durchmesser, daher Einbau in Krafträdern möglich • häufig als Nasskupplung im Ölbad
	Fliehkraftkupplung	Anfahrkupplung in Verbindung mit Stufenlosgetrieben	<ul style="list-style-type: none"> • ermöglicht das automatische Einkuppeln ab einer bestimmten Motordrehzahl • Einbau in kleinen Krafträdern mit stufenlosem Getriebe
Strömungskupplung			
	Hydrodynamische Kupplung (Föttinger-Kupplung)	Anfahrkupplung in Verbindung mit Stufenlosgetrieben	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftübertragung über Flüssigkeitsströmung • sehr weiches Anfahren möglich • unvermeidbarer Schlupf zwischen An- und Abtrieb

Tabelle 15.1 Kupplungsbauarten in Kraftfahrzeugen.

15.3 Aufbau und Arbeitsweise der Einscheibenkupplung mit Membranfeder

Die Hauptteile der Kupplung sind (Bild 15.4):

- Kupplungsdruckplatte mit Kupplungsgehäuse und Membranfeder,
- Kupplungsscheibe,
- Ausrückmechanismus.

In Tabelle 15.2 sind die wichtigsten Bauteile der Einscheibenkupplung mit Membranfeder und ihre Funktionen erläutert.

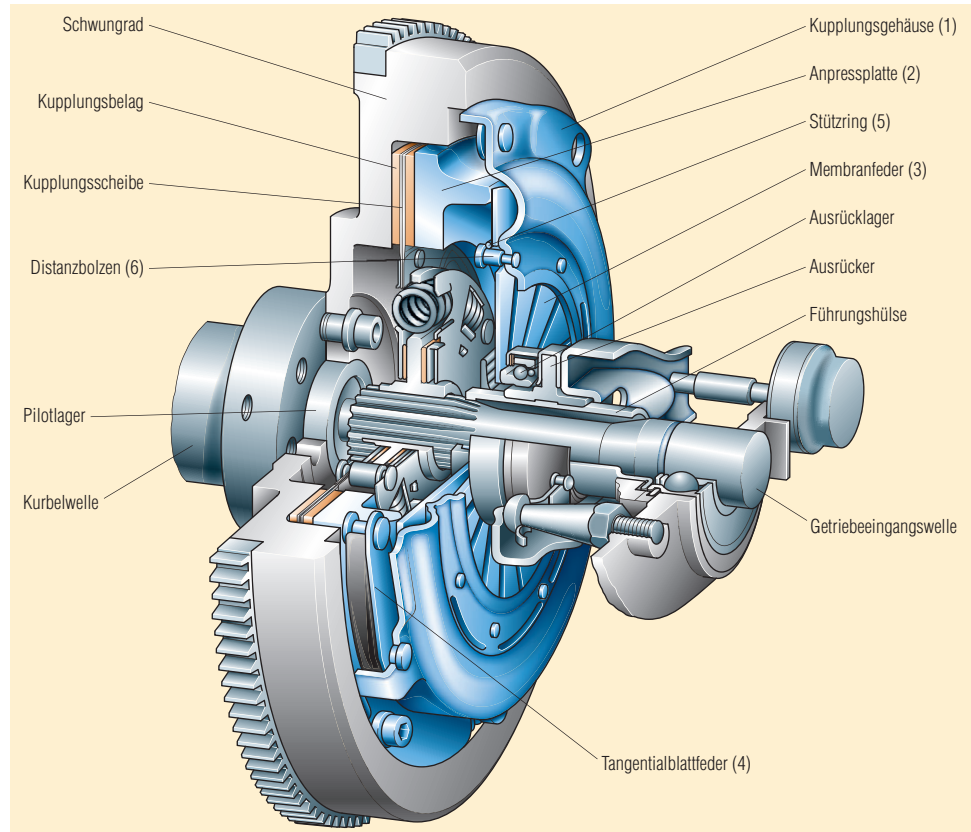


Bild 15.4 Aufbau der Einscheibenkupplung mit Membranfeder.

15.3.1 Kraftfluss im eingekuppelten Zustand

Der Kraftfluss in einer Membranfederkupplung (Bild 15.5) beginnt im Motor an der Kurbelwelle. An der Schwungscheibe teilt sich der Kraftfluss. Zum Teil wird er kraftschlüssig direkt auf die Kupplungsscheibe übertragen. Der Rest gelangt über Kupplungsgehäuse und -anpressplatte auf

die Kupplungsscheibe. Von hier wird das Drehmoment formschlüssig über das Vielkeilprofil der Kupplungsscheiben-Nabe an das Getriebe weitergeleitet.

Im ausgekuppelten Zustand drückt das Ausrücklager auf die Membranfederzungen. Dadurch kippt die Membranfeder um die Stützringe und entlastet die Anpressplatte. Die Anpressplatte wird durch die Tangentialblatfedern abgehoben. Das ermöglicht die axiale Verschiebung der Kupplungsscheibe auf der Getriebeantriebswelle. Dadurch löst sich der Kupplungsbelag von Anpressplatte und Schwungscheibe. Die Kupplungsscheibe läuft frei und die Verbindung Motor – Getriebe ist unterbrochen.

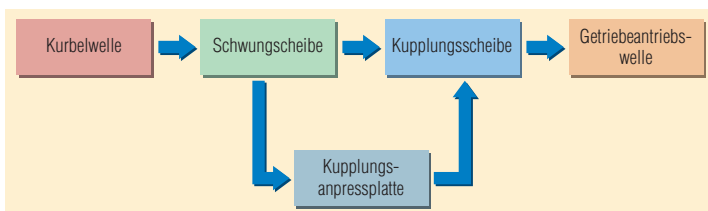


Bild 15.5 Kraftfluss in einer Membranfederkupplung.

Bezeichnung	Funktionsbeschreibung
Kupplungsgehäuse (1)	<ul style="list-style-type: none"> • trägt die Membranfeder • trägt die Anpressplatte
Kupplungsdruckplatte (1 – 6)	<ul style="list-style-type: none"> • mit Schrauben an der Schwungscheibe befestigt • bildet mit Kupplungsscheibe und Schwungrad ein Reibungssystem
Anpressplatte (2)	<ul style="list-style-type: none"> • leitet das Drehmoment vom Gehäuse kraftschlüssig an die Kupplungsscheibe weiter
Membranfeder (3)	<ul style="list-style-type: none"> • erzeugt die Anpresskraft • drückt die Anpressplatte gegen den Kupplungsbelag
(Tangential)blatfedern (4)	<ul style="list-style-type: none"> • zur Befestigung der Anpressplatte am Gehäuse (Drehmomentübertragung) • ziehen die Anpressplatte beim Auskuppeln zum Gehäuse • zentrieren die Anpressplatte
Stützringe (5)	<ul style="list-style-type: none"> • Drehpunkt, um den die Membranfeder beim Auskuppeln kippt
Distanzbolzen (6)	<ul style="list-style-type: none"> • zur Befestigung der Membranfeder im Gehäuse
Kupplungsscheibe	<ul style="list-style-type: none"> • leitet das Drehmoment formschlüssig über die Nabe an die Getriebeeingangswelle weiter • dämpft Motordreherschwingungen mithilfe der Torsionsdämpfungseinrichtung • sorgt für ein weiches Anfahren mithilfe der Belagfederung
Führungshülse	<ul style="list-style-type: none"> • führt das Ausrücklager mittig zur Membranfeder
Ausrücklager	<ul style="list-style-type: none"> • überträgt die Ausrückkraft der Ausrückgabel auf die Membranfeder • lagert die stillstehende Ausrückgabel auf der drehenden Membranfeder
Pilot- oder Führungslager	<ul style="list-style-type: none"> • zur einwandfreien Führung und Lagerung der Getriebeantriebswelle
Tabelle 15.2	Bauteile und Funktionen der Membranfederkupplung.

15.4 Kupplungsbetätigung

Aus Komfortgründen und zur besseren Dosierbarkeit muss die hohe Ausrückkraft am Ausrücklager (2000 N) auf etwa 150 N vermindert werden. Bei angenommenen 10 Kupplungsbetätigungen pro km während Stadtfahrten würde man rasch ermüden, wenn mit dem Fuß eine zu hohe Kraft aufzubringen wäre.

Auch ein zu geringer Kraftaufwand wäre nachteilig, da die menschliche Beinmuskulatur so kräftig ist, dass ein genaues Dosieren der Kupplung und damit ein weiches Anfahren nicht möglich wären.

15.4.1 Mechanische Kupplungsbetätigung

Die Übertragung der Fußkraft erfolgt über Seilzug oder Gestänge. Der Leerweg des Kupplungspedals und das Kupplungsspiel werden hier nach Herstellervorschrift eingestellt.

Das Kupplungsspiel zwischen dem Ausrücklager und der Membranfeder ist bei Fahrzeugen ohne Selbstnachstellung für den einwandfreien Betrieb der Kupplung notwendig. Es wird im Lauf des Betriebs durch die Abnutzung der Kupplungsbeläge immer kleiner.

Mit zunehmender Abnutzung des Belags verschiebt sich die Anpressplatte zur Schwungscheibe. Die Membranfeder macht diese Verschiebung mit, indem sie wie ein Hebel um ihren Drehpunkt (Stützring in Bild 15.4) kippt. Die Membranfederungen verschieben sich dadurch immer mehr zum Ausrücklager, bis das Spiel nicht mehr vorhanden ist.

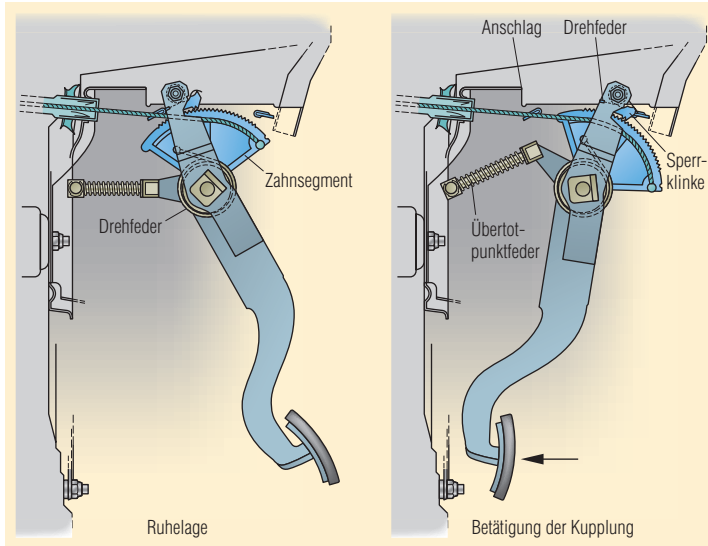


Bild 15.6 Selbstnachstellende Kupplungsbetätigung mit Zahnsegment.

Bei weiterer Abnutzung des Belags rutscht die Kupplungsscheibe schließlich durch. Dadurch erwärmt sie sich stark und die Beläge können eventuell verbrennen.

Viele moderne Fahrzeuge verfügen über eine selbstnachstellende Betätigungseinrichtung. Diese Einrichtung kann sowohl direkt am Kupplungspedal (Bild 15.6) als auch im Seilzug angebracht sein.

Das Zahnsegment hält über eine Drehfeder das Kupplungsseil in Ruhelage leicht unter Spannung. So kann der Verschleiß des Belags ausgeglichen werden, da das Seil nachgibt. Bei Betätigung der Kupplung greift die Sperrklinke in das Zahnsegment, sodass das Kupplungsseil spannen und die Kupplung trennen kann.

Bei den Betätigungseinrichtungen ohne Kupplungsspiel drückt das Ausrücklager ständig leicht auf die Membranfeder. Es läuft daher immer mit einer geringen Vorlast von 80 N bis 100 N mit.

15.4.2 Hydraulische Kupplungsbetätigung

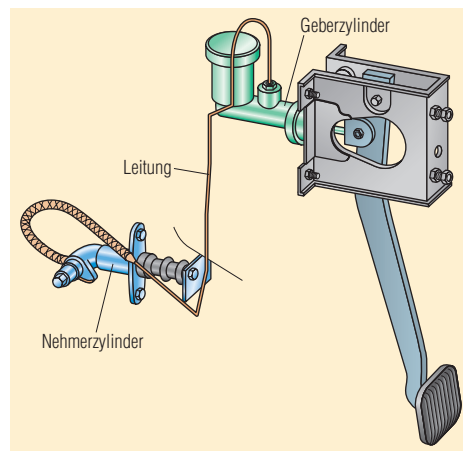


Bild 15.7 Einfache hydraulische Kupplungsbetätigung.

Die vom Fuß abgegebene Kraft wird in einem Geberzylinder in einen hydraulischen Druck umgewandelt und über eine Leitung zum Nehmerzylinder übertragen (Bild 15.7). Im Geberzylinder befindet sich eine Ausgleichsbohrung, über die Hydraulikflüssigkeit entweichen kann, wenn der Druckraum durch Belagverschleiß im Nehmerzylinder kleiner wird.

Eine Kupplungsspiel-Einstellung wird nur notwendig, wenn der Stößel des Nehmerzylinders einen festen Anschlag besitzt. Ansonsten drückt eine Feder im Nehmerzylinder das Ausrücklager mit einer geringen Vorspannung auf die Membranfeder.

Der Nehmerzylinder kann auch zusammen mit dem Ausrücklager direkt auf der Getriebeantriebswelle sitzen (Zentralausrückung, Bilder 15.8 und 15.9).

Die hydraulische Kupplungsbetätigung setzt sich wegen ihrer Vorteile immer mehr durch:

- einfaches Verlegen der hydraulischen Leitung auch über große Entfernungen,
- hoher Wirkungsgrad durch geringe Reibungsverluste,
- kein Verschleiß in Gelenken oder im Seilzug,
- einfache hydraulische Übersetzung.

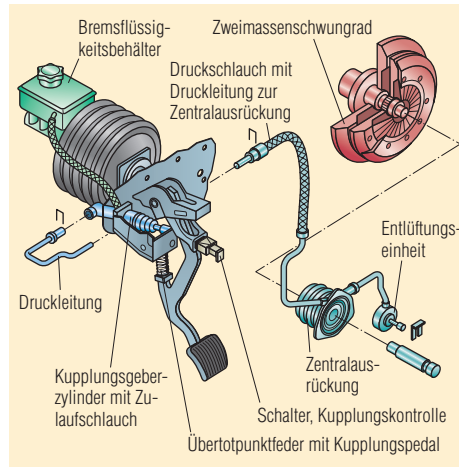


Bild 15.8 Hydraulische Kupplungsbetätigung mit Zentralausrückung.

15.5 Ausrücklager

Die Ausrückgabel ist schwenkbar in der Kupplungsglocke befestigt. Die in der Kupplungsdruckplatte befindliche Membranfeder dreht ständig mit Motordrehzahl. Bei Kupplungsbetätigung stellt das Ausrücklager eine Verbindung zwischen fest stehender Ausrückgabel und rotierender Membranfeder her.

Das Ausrücklager ist ein Wälzlager mit einer Dauerschmierung. Es ist gekapselt und wartungsfrei. Man unterscheidet schwenkbare und die heute üblichen zentral geführten Ausrücklager.

Die zentral geführten Ausrücklager sitzen auf einer Hülse, durch die sie zentriert und geführt werden (Bild 15.9). Die Hülse ist fest mit dem Getriebegehäuse verbunden. Diese Ausrücklager laufen immer genau zentrisch auf der Membranfeder.

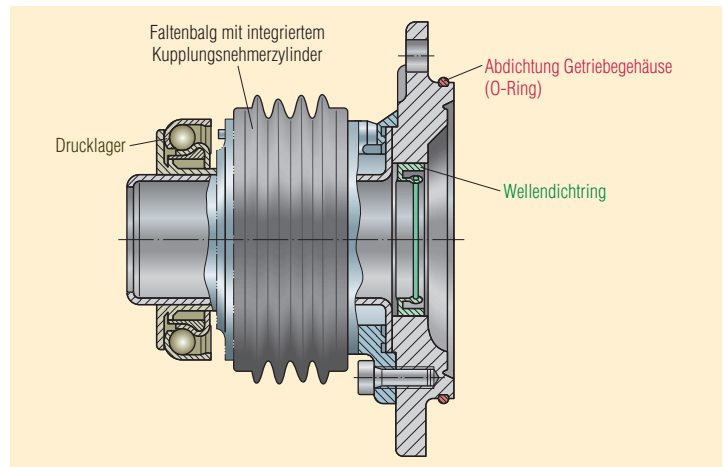


Bild 15.9 Zentral geführtes Ausrücklager mit hydraulischer Kupplungsbetätigung.

15.6 Kupplungsscheiben

Die Kupplungsscheibe ist nur auf den ersten Blick einfach aufgebaut. Ihre vielfältigen Aufgaben (siehe Tabelle 15.2) haben jedoch zur Folge, dass auf engstem Raum sehr viele Funktionen untergebracht werden müssen.

15.6.1 Torsionsdämpfung

Im modernen Kraftfahrzeug geht das Bestreben nach möglichst geringen bewegten Massen. Dies führt zu immer kleineren Schwungrädern. Dadurch gelangen jedoch mehr der unvermeidlichen Drehschwingungen des Verbrennungsmotors zum Antriebsstrang, wo sie Verschleiß und Geräusche verursachen. Eine der Hauptaufgaben der Kupplungsscheibe ist es daher, diese Drehschwingungen zu dämpfen. Weitere Möglichkeiten zur Dämpfung der Drehschwingungen sind das Zweimassenschwungrad oder ein elektronisches Kupplungssystem.

elektronische Kupplungssysteme
→ S. 327

Bild 15.10 zeigt eine Kupplungsscheibe mit zweistufigem Torsionsdämpfer und zusätzlichem Vordämpfer. In seiner grundsätzlichen Funktion unterscheidet er sich nicht von einfacheren Dämpfern.

Mitnehmer- und Gegenscheibe (15 und 16) sind miteinander verbunden und drehbar auf der Nabe (14) gelagert. Sie stützen sich über die

Dämpferfedern (10 bis 13) am Nabenflansch (17) ab, der fest mit der Nabe verbunden ist. Die Federn sind dabei so ausgelegt, dass der sich unter Last ergebende Winkelausschlag nie so groß wird, dass der Nabenflansch am Anschlagbolzen (6) anschlägt. Die Federung wird durch die Reibungseinrichtung (7, 8, 9, 18) gedämpft.

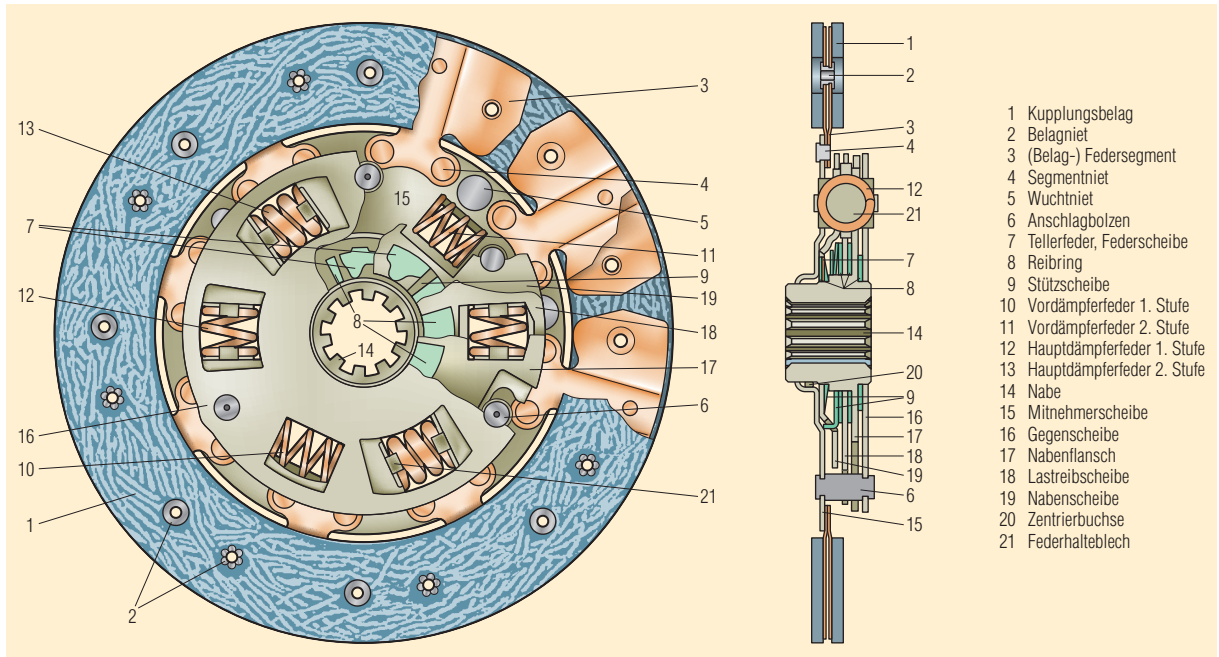


Bild 15.10 Kupplungsscheibe mit Torsionsdämpfung und Belagfederung.

15.6.2 Belagfederung

In modernen Kraftfahrzeugen wird eine Kombination aus Torsionsdämpfung und Belagfederung verwendet (Bild 15.10). Die Belagfederung sorgt für ein weiches Einkuppeln und damit für ein ruckfreies Anfahren.

Da die Belagfederung beim Einkuppeln zusammengepresst werden muss, wird der Einkuppelvorgang verlängert und damit die Getriebedrehzahl langsamer der Motordrehzahl angepasst.

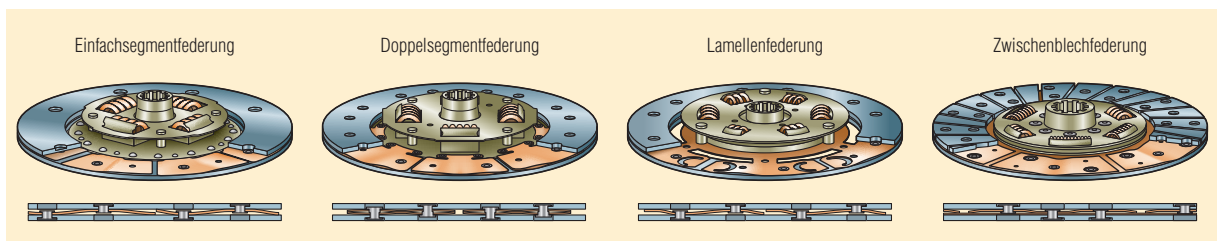


Bild 15.11 Belagfederungsarten.

Abhängig vom Einsatzgebiet und den Anforderungen gibt es unterschiedliche Belagfederungsarten, wobei die Lamellenfederung die gebräuchlichste Bauart darstellt (Bild 15.11).

15.6.3 Kupplungsbeläge

Die Reibbeläge einer Kupplung sind stark beanspruchte Bauteile, die folgende Anforderungen erfüllen müssen:

- Abriebfestigkeit,
- Hitzebeständigkeit,
- hohe Wärmeleitfähigkeit,
- Rupfunempfindlichkeit durch weitest gehend gleiche Reibungszahl μ für Haften und Gleiten,
- gleichbleibend hohe Reibungszahl μ auch bei Erwärmung.

Asbest als Werkstoff wurde wegen der Gesundheitsrisiken vor allem durch organische Beläge ersetzt. Die faserigen Werkstoffe (Kohle-, Aramid-, Glasfasern) werden durch Kunstharz gebunden und zur Steigerung der Festigkeit sowie zur besseren Wärmeableitung auf ein Metallgewebe aufgebracht.

Anorganische Beläge aus metallischen oder keramischen Sinterwerkstoffen werden in Kupplungen eingesetzt, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Neben der hohen Hitzebeständigkeit besitzen sie auch eine bessere Verschleißfestigkeit als organische Beläge. Sie werden meist als Reibplättchen gefertigt.

15.7 Sonderbauformen

15.7.1 Elektronische Kupplungssysteme

Elektronische Kupplungssysteme (EKS) nehmen dem Fahrer das Kuppeln ab, das Schalten funktioniert wie gewohnt. Solche Fahrzeuge besitzen daher zwar ein normales manuelles Schaltgetriebe, aber kein Kupplungspedal. Die Betätigung der Kupplung erfolgt je nach System elektromotorisch oder hydraulisch, eine Steuerlektronik sorgt für optimales Ein- und Auskuppeln. Die Sensorsignale, die für eine einwandfreie Funktion benötigt werden, werden von anderen Steuergeräten übernommen oder von speziellen Sensoren gemeldet (Bild 15.12, S. 328).

Je nach Ausführung können elektronische Kupplungssysteme verschiedene Funktionen übernehmen:

- Bei **ausgeschalteter Zündung** wird die Kupplung geschlossen. Schalten (z. B. in den Leerlauf) ist bei getretener Bremse aber trotzdem möglich.
- Im **Stand** wird bei laufendem Motor gerade so weit eingekuppelt, dass der entstehende Schlupf für einen Kriechzustand, ähnlich wie bei Automatikfahrzeugen, sorgt. Dies erleichtert das Anfahren vor allem am Berg.
- Beim **Anhalten** wird automatisch ausgekuppelt und in den Kriechzustand übergeleitet, wenn nicht gebremst wird.
- Zum **Anfahren** wird die Kupplung automatisch so geschlossen, dass das Anfahren sanft und ruckfrei möglich ist ohne den Motor abzuwürgen.
- Das **Schalten** leitet der Fahrer durch Betätigen des Schalthebels ein. Ein Sensor erkennt die Schaltabsicht und meldet dies der Steuerlektronik, die die Kupplung öffnet und nach dem Gangwechsel sanft wieder einkuppelt. Auch das automatische Betätigen der Drosselklappe ist möglich, sodass der Fahrer den Fuß beim Schalten nicht mehr vom Gaspedal nehmen muss.

Arbeitsaufträge

1. Welche Aufgaben hat die Kupplung?
2. Welche Arten von Reibungskupplungen gibt es?
3. Warum wird im Pkw-Bereich überwiegend die Membranfederkupplung eingesetzt?
4. Welche Aufgaben haben die Tangentialblattfedern in der Kupplung?
5. Wie verläuft der Kraftfluss im eingekuppelten Zustand?
6. Welche Vorteile hat die hydraulische gegenüber der mechanischen Kupplungsbetätigung?
7. Welche Aufgaben hat die Kupplungsscheibe und mit Hilfe welcher Einrichtungen werden diese erfüllt?
8. Welche Eigenschaften müssen Kupplungsbeläge haben und welche Werkstoffe werden daher eingesetzt?
9. Schlagen Sie in Ihrer Werkstatt-Literatur nach, welche Kupplungsbauart, Kupplungsbetätigung, Kupplungsscheibe und Kupplungsbeläge bei dem neuesten Fahrzeugmodell verwendet werden. Nutzen Sie dazu auch zeichnerische Darstellungen und Bauteile aus dem Ersatzteillager.

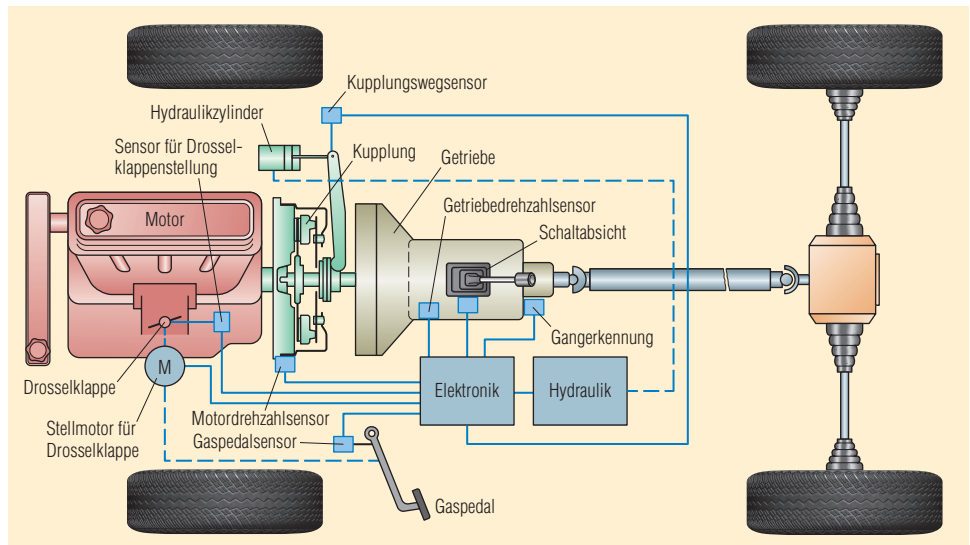


Bild 15.12 Aufbau eines elektronischen Kupplungssystems.

Self Adjusting
Clutch: SAC

- Eine **Momentennachführung** ermöglicht, dass sich das von der Kupplung übertragene Moment (Kupplungsmoment) an das derzeitige Motordrehmoment anpasst. Dadurch wird eine sehr schnelle Reaktion auf die Schaltabsicht und auf Lastwechsel ermöglicht. Bei Gaswegnahme (Motordrehmoment fällt) wird die Kupplung schon leicht geöffnet, sodass bei Betätigen des Schalthebels nur noch sehr wenig Zeit bis zum vollständigen Auskuppeln vergeht. Bei einem plötzlichen Gasstoß (steiler Motordrehmomentanstieg) kann das Ruckeln des Fahrzeugs durch eine kurze Schlupfphase der Kupplung verhindert werden.
- Im **Fahrbetrieb** kann ein geringer Kupplungsschlupf eingestellt werden. Dadurch werden die vorhandenen Motordrehbewegungen von der Kupplung „herausgefiltert“ ohne das übertragene Motordrehmoment zu verringern. Der geringe Drehzahlunterschied (10 min^{-1} bis 100 min^{-1}) zwischen Motor und Getriebe führt nur zu einem sehr geringen Energieverlust und daher zu kaum nennenswertem Mehrverschleiß an der Kupplungsscheibe.
- Das **Blockieren der Antriebsräder**, wenn auf glatter Fahrbahn Gas weggenommen wird, kann durch Öffnen der Kupplung verhindert werden.

15.7.2 Selbsteinstellende Kupplung

Die hohen Motordrehmomente heutiger Fahrzeuge brauchen Kupplungen mit höheren Übertragungsmomenten, was zwangsläufig auch zu einer größeren Pedalkraft führt. Um diese zu reduzieren, muss entweder das Ausrücksystem optimiert werden, oder aber man sorgt für eine automatische Verschleißnachstellung mithilfe einer selbsteinstellenden Kupplung (SAC).

Durch zunehmenden Verschleiß der Kupplungsbeläge steigt die Ausrückkraft an. Eine Verschleißnachstellung sorgt dafür, dass während der gesamten Lebensdauer der Kupplung die Pedalkraft auf gleicher Höhe gehalten wird.

Die Vorteile des Systems sind:

- niedrige Ausrück- und Pedalkräfte über die gesamte Lebensdauer der Kupplung,
- geringerer Ausrücklagerweg und Pedalweg und damit erhöhter Fahrkomfort,
- größere Verschleißreserve und damit höhere Lebensdauer der Kupplung,
- Wegfall von evtl. notwendigen Servo-Betätigungssystemen,
- gleich bleibend hohes Kupplungsmoment und damit die Möglichkeit den Kupplungsdurchmesser zu verkleinern.

Die SAC funktioniert über die Messung der Ausrückkraft. Der Anstieg der Ausrückkraft zeigt an, dass die Beläge dünner werden. Der Verschleiß muss durch eine geeignete Vorrichtung ausgeglichen werden.

Die Ausrückkraft wird durch eine Sensortellerfeder erfasst, die außen im Deckel der Kupplung eingehängt ist (Bild 15.13). Die Haupttellerfeder wird beim Auskuppeln betätigt und stützt sich dabei auf der Sensortellerfeder ab. Die Kennlinie der Sensortellerfeder ist so gewählt, dass sie bei einer Erhöhung der Ausrückkraft an der Haupttellerfeder nachgibt (Bild 15.14). Dabei verschiebt sich der Drehpunkt der Haupttellerfeder so weit, dass ein federbelasteter Nachstellkeil den entstehenden Spalt ausgleichen kann. Dies wiederholt sich bei jedem Auskuppeln.

Die Nachstellkeile sind wegen der auftretenden Fliehkräfte in Form eines Rampenrings in Umfangsrichtung angeordnet (Bild 15.15). Dieser ist über drei kleine Druckfedern vorgespannt.

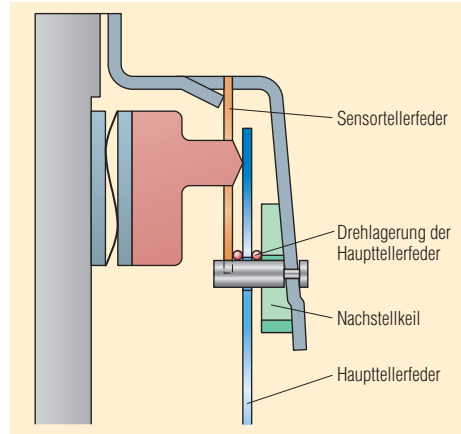


Bild 15.13 Prinzipdarstellung der selbst-einstellenden Kupplung (SAC).

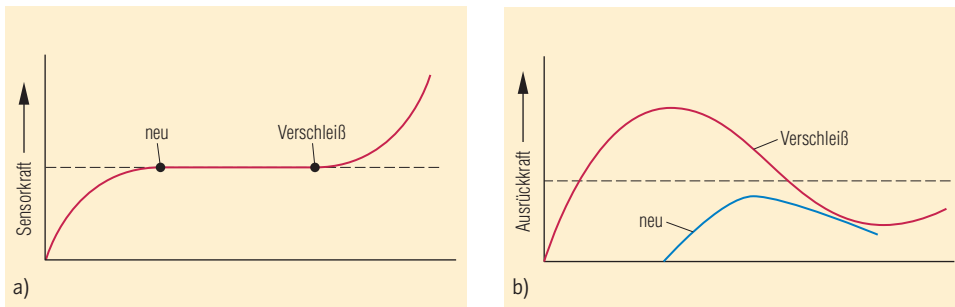


Bild 15.14 Vergleich der Kennlinien der Sensortellerfeder (a) und der Haupttellerfeder (b).

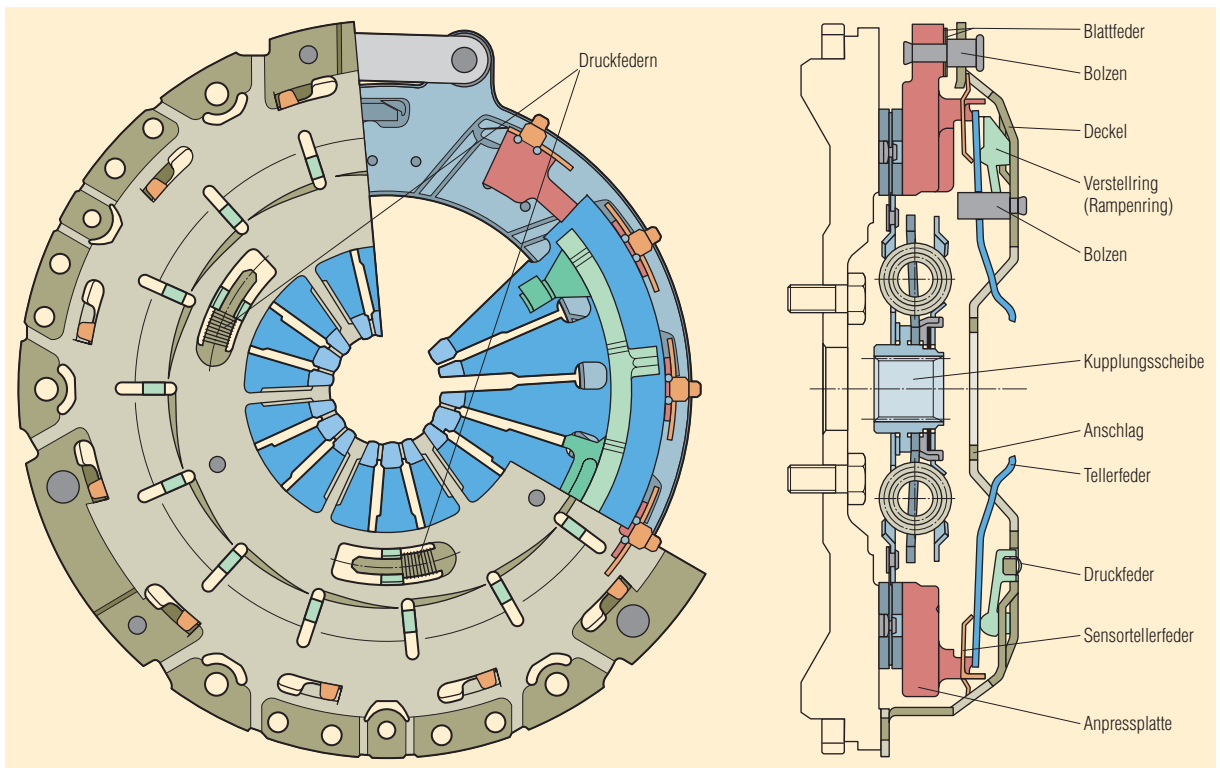


Bild 15.15 Selbsteinstellende Kupplung (SAC).

15.7.3 Magnetpulverkupplung

Diese Sonderbauform (Bild 15.16) nutzt zur Kraftübertragung ein magnetisierbares Pulver. Das sehr feine Pulver befindet sich in den Ringnuten der Kupplungsscheibe. Fließt in der Magnetspule Strom, baut sich in dieser ein Magnetfeld auf, das von der Stromstärke abhängt. Dieses wiederum magnetisiert das Pulver. Dadurch kommt es zu einer Verfestigung des Pulvers, die mit zunehmender Magnetfeldstärke steigt und den Kraftfluss herstellt.

Angewendet wird diese Kupplungsart beispielsweise in Stufenlosgetrieben.

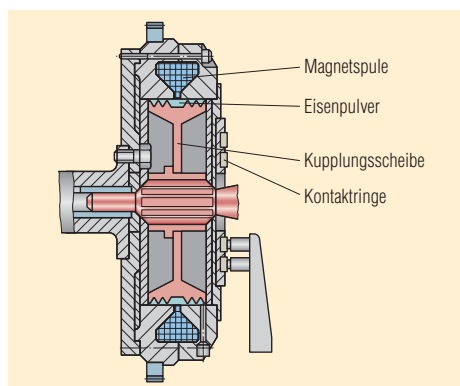


Bild 15.16 Magnetpulverkupplung.

15.8 Kupplungsstörungen – Werkstattpraxis

Störung	Mögliche Schadensursachen
Kupplung rutscht	<ul style="list-style-type: none"> • Belag verölt, verfettet, verkohlt oder gebrochen • Anpressplatte oder Schwungrad überhitzt oder riefig • Ausrücklager oder Kupplungsbetätigung schwer gängig • Membranfeder gebrochen • zu geringes Kupplungsspiel
Kupplung trennt nicht	<ul style="list-style-type: none"> • Nabenprofil der Kupplungsscheibe ist beschädigt oder verrostet • Seitenschlag der Kupplungsscheibe; zu dicke Beläge • Anpressplatte gebrochen • Membranfederzungen stark eingelaufen • Pilotlager fest • Ausrücklager fest • mechanische Kupplungsbetätigung mit zu viel Spiel (Verschleiß) • Luft in hydraulischer Kupplungsbetätigung • zu großes Kupplungsspiel
Kupplung macht Geräusche	<ul style="list-style-type: none"> • Schaltgeräusche durch Trennschwierigkeiten • Torsionsdämpfung defekt • Pilotlager defekt (nur im ausgekuppelten Zustand zu hören) • Ausrücklager defekt
Kupplung rupft	<ul style="list-style-type: none"> • Beläge verfettet • falsch abgestimmte Beläge eingebaut • Tangentialblattfedern verbogen; ruckende Kupplungsbetätigung • Kupplungsdeckel beim Einbau verzogen • Silentblöcke der Antriebsaggregate defekt
Tabelle 15.3	Ursachenfeststellung bei Kupplungsstörungen.

Silentblöcke:

Gummifedern, die zur elastischen Lagerung oder Befestigung von Bauteilen dienen. Sie ermöglichen eine gute Schwingungsisolierung.

15.8.1 Kupplungsprüfung

In der Praxis können bestimmte Schäden an der Kupplung durch eine einfache Prüfung festgestellt werden.

Prüfung im Stand. Motor und Kupplung sollen betriebswarm sein. Feststellbremse anziehen, auskuppeln und großen Gang einlegen. Im ausgekuppelten Zustand Motordrehzahl leicht erhöhen. Schnell einkuppeln. Ist die Kupplung in Ordnung, so wird der Motor abgewürgt. Läuft der Motor aber weiter, so rutscht die Kupplung durch.

Prüfung während einer Probefahrt. Motor und Kupplung sollen betriebswarm sein. Im kleinen Gang (möglichst an einer leichten Steigung) fahren, auskuppeln, großen Gang einlegen, viel Gas geben und schnell einkuppeln. Die Kupplung muss sofort fassen, d. h. die Motordrehzahl muss abfallen. Dreht der Motor hoch, so rutscht die Kupplung. Ist dieses Rutschen nur sehr kurz, so ist die Kupplung noch verwendbar, hält das Rutschen aber an, muss die Kupplung überholt werden.

Prüfen auf einwandfreies Trennen der Kupplung. Diese Prüfung ist nur in Fahrzeugen mit nicht synchronisiertem Rückwärtsgang möglich. Motor und Kupplung sollen betriebswarm sein. Fahrzeug im Stand auskuppeln, Motordrehzahl leicht erhöhen und Rückwärtsgang einlegen. Es dürfen keine kratzenden Schaltgeräusche auftreten, sonst trennt die Kupplung nicht einwandfrei.

Montagehinweise

Vor den Montagearbeiten:

1. korrekte Teilezuordnung beachten,
2. Pilotlager auf Gängigkeit prüfen,
3. Wellendichtringe motor- und getriebeseitig prüfen,
4. Schwungrad auf Riefen und Beulen prüfen,
5. Kupplungsscheibe auf Seitenschlag prüfen,
6. Getriebeeingangswelle auf Beschädigung prüfen,
7. Führungshülse des Ausrücklagers auf Beschädigung prüfen.

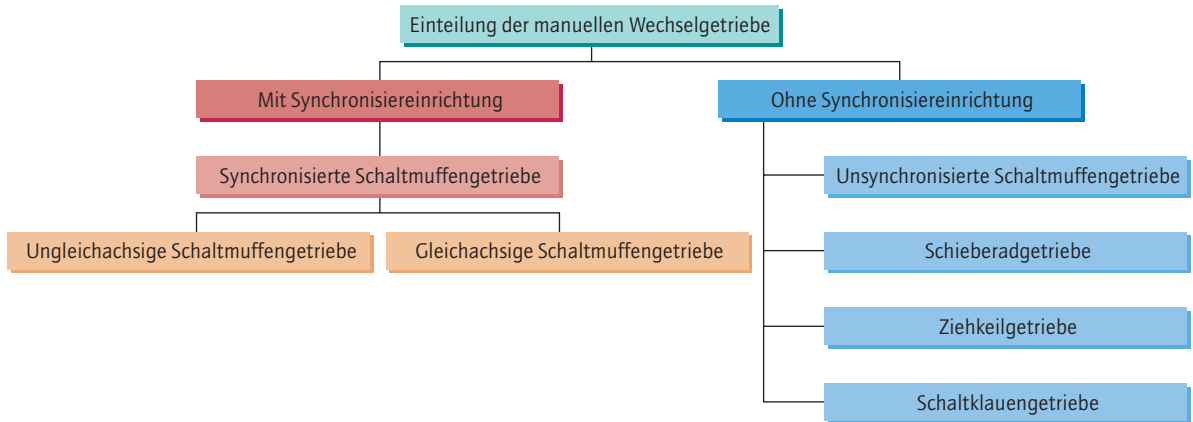
Bei der Montage:

1. Nabenprofil und Ausrücklager-Führungshülse mit Spezialfett dünn fetten und überschüssiges Fett entfernen,
2. Einbaulage der Kupplungsscheibe beachten,
3. Kupplungsscheibe mit Zentrierdorn ausrichten,
4. Zentrierung Kupplungsdruckplatte – Schwungrad beachten,
5. Kupplungsdruckplatte in mehreren Schritten über Kreuz mit vorgeschriebenem Drehmoment anziehen,
6. evtl. Schraubensicherung verwenden,
7. Kupplungsspiel einstellen,
8. Kupplungsbetätigung auf Funktion und Verschleiß prüfen,
9. Hydrauliksystem entlüften.

Arbeitsaufträge

1. Ist unter den Fahrzeugen, die Sie reparieren, eines mit elektronischem Kupplungssystem? Welche Funktionen werden bei diesem Typ automatisiert? Schlagen Sie auch in Werbeprospekten und Weiterbildungsliteratur nach.
2. Auf welchem Funktionsprinzip basiert die selbsteinstellende Kupplung?
3. Welche Hauptstörungen können in einer Kupplung auftreten und welche Ursachen gibt es für diese Störungen?
4. Prüfen und beurteilen Sie in der Werkstatt die Kupplung eines älteren Fahrzeugs.
5. Welches Spezialwerkzeug ist bei der Kupplungsmontage in Ihrer Werkstatt vorgeschrieben?

16 Manuelle Wechselgetriebe



16.1 Aufgaben von Wechselgetrieben

Elastischer Bereich: Drehzahlbereich eines Verbrennungsmotors zwischen höchstem Drehmoment und höchster Leistung.

Verbrennungsmotoren haben keinen konstanten Drehmoment- und Leistungsverlauf über den ihnen zur Verfügung stehenden Drehzahlbereich (Bild 16.1). Um diesen Nachteil auszugleichen, werden Wechselgetriebe in den Antriebsstrang zwischen Kupplung und Achsantrieb geschaltet. Dadurch wird erreicht, dass der Motor möglichst im elastischen Bereich betrieben wird.

Durch trennbare Zahnradpaarungen im Wechselgetriebe werden Übersetzungen geschaltet. Sie ermöglichen die

- Wandlung der Motordrehzahl,
- Wandlung des Motordrehmoments,
- Umkehrung der Drehrichtung (Rückwärtsgang),
- Kraftflussunterbrechung (Leerlauf) für den Fahrzeugstillstand.

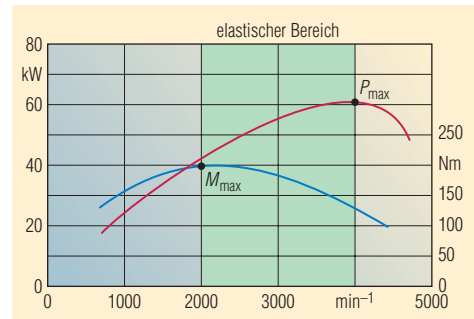


Bild 16.1 Drehmoment- und Leistungsverlauf eines Verbrennungsmotors.

16.1.1 Drehzahlwandlung

Fahrwiderstände

F_W :
Luftwiderstand F_L
Rollwiderstand F_R
Steigungswiderstand F_S

Bei einer starren Verbindung zwischen Kupplung und angetriebenen Rädern wäre jeder Motordrehzahl eine bestimmte Fahrzeuggeschwindigkeit zugeordnet. So würde beispielsweise ein Fahrzeug mit Reifen 185/60 R 14 bei einer Motordrehzahl von 5000 min^{-1} theoretisch mit einer Geschwindigkeit von $529,5 \text{ km/h}$ fahren. Dem stehen jedoch die bei dieser Geschwindigkeit auftretenden sehr hohen Fahrwiderstände entgegen. Um eine Geschwindigkeit von 20 km/h fahren zu können, dürfte der Motor lediglich mit 189 min^{-1} drehen, was weit unterhalb der Grenze für den Rundlauf des Motors liegt.

Das bedeutet, dass die Motordrehzahl durch die Übersetzungen im Wechselgetriebe so weit angepasst werden muss, dass die gewünschte Fahrgeschwindigkeit ermöglicht wird.

16.1.2 Drehmomentwandlung

Das im Verbrennungsmotor erzeugte Drehmoment dient der Überwindung der Fahrwiderstände. Vor allem der Luftwiderstand nimmt mit steigender Fahrgeschwindigkeit zu (Bild 16.2).

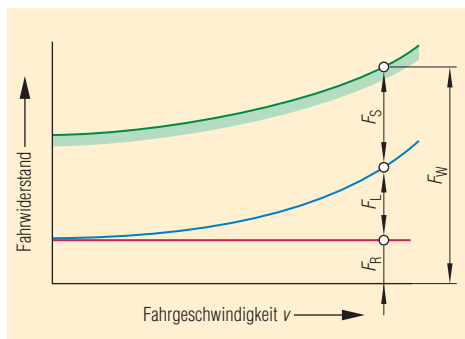


Bild 16.2 Fahrwiderstände in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Durch die Drehzahlwandlung ergibt sich gleichzeitig eine Drehmomentwandlung im Wechselgetriebe (Bild 16.3).

Dadurch ändert sich die an den Antriebsrädern zur Verfügung stehende Zugkraft je nach gewähltem Übersetzungsverhältnis (Bild 16.4).

Bei dem gezeigten 4-Gang-Getriebe steht das höchste Drehmoment bei vier Fahrgeschwindigkeiten zur Verfügung, sodass eine gute Beschleunigung von 0 km/h bis zu v_{\max} (hier ca. 175 km/h) ermöglicht wird. Bei einer weiteren Getriebestufung mit mehr Gängen lässt sich das Motordrehmoment noch besser an die jeweilige Fahrsituation anpassen, sodass der Betrieb des Motors überwiegend im elastischen Bereich möglich ist.

16.1.3 Drehrichtungsänderung

Um ein Fahrzeug auch rückwärts bewegen zu können ist es nötig, die Drehrichtung der Antriebsräder zu ändern. Dies geschieht im Wechselgetriebe, indem ein Zwischen- oder Rücklaufrad zugeschaltet wird (Bild 16.5).

Das Rücklaufrad ändert lediglich die Drehrichtung, am Übersetzungsverhältnis zwischen antreibendem und angetriebenem Rad ändert es nichts.

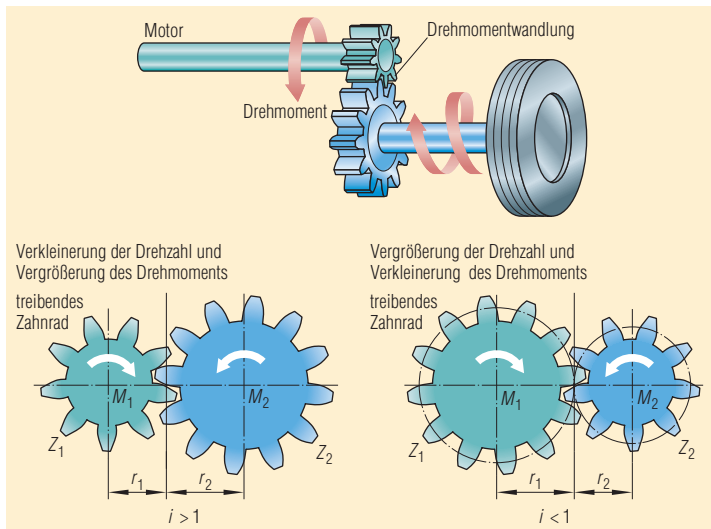


Bild 16.3 Drehmoment- und Drehzahlwandlung.

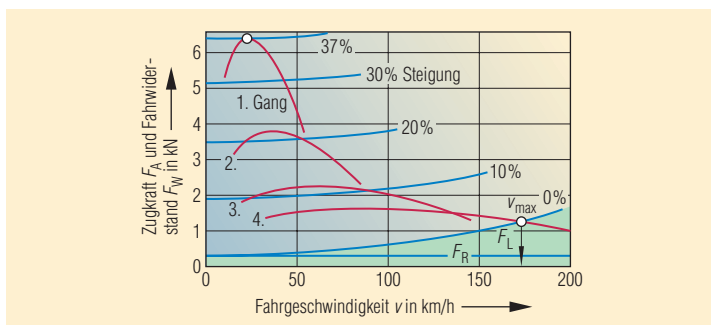


Bild 16.4 Fahrtdiagramm.

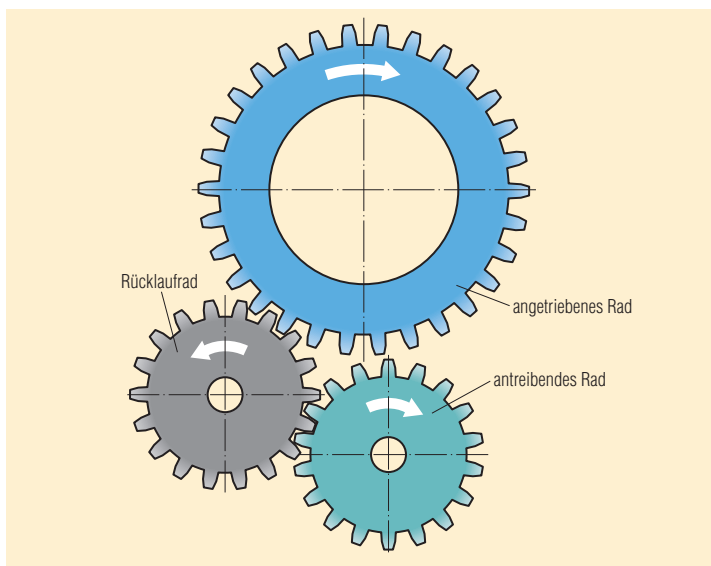


Bild 16.5 Drehrichtungsänderung im Rückwärtsgang.

16.2 Schaltgetriebe ohne Synchronisereinrichtung

16.2.1 Schieberadgetriebe

Hauptwelle:

Sie wird auch Abtriebswelle genannt. Diese Welle verlässt das Getriebe und treibt den Achsantrieb.

direkter Gang:

Das Übersetzungsverhältnis zwischen Antriebswelle und Hauptwelle ist 1 : 1.

Zwischengas:

Einkuppeln und Gasgeben im Leerlauf.

Zwischenkuppeln:

Einkuppeln und kurzes Warten ohne Gasgeben im Leerlauf.

Bei diesem sehr einfachen Getriebe (Bild 16.6) sitzt die Kupplungsscheibe auf der Antriebswelle. Das Antriebsrad ist ständig mit dem Gegenrad auf der Vorgelegewelle im Eingriff. Die Schieberäder sind axial verschiebbar aber drehfest mit der Hauptwelle verbunden. Die Zahnräder der Vorgelegewelle sind axial nicht verschiebbar und drehfest mit der Vorgelegewelle verbunden.

Ein Kraftfluss zur Hauptwelle wird durch Verschieben der Schieberäder auf der Hauptwelle erreicht. Dadurch kommen diese mit ihren Gegenrädern auf der Vorgelegewelle zum Eingriff. Es kann nur geschaltet werden, wenn das Schieberad und das Vorgelegerad gleiche Umfangsgeschwindigkeit haben.

Der „direkte Gang“ wird durch Verbinden von Antriebs- und Hauptwelle geschaltet. In diesem Fall läuft die Vorgelegewelle leer mit.

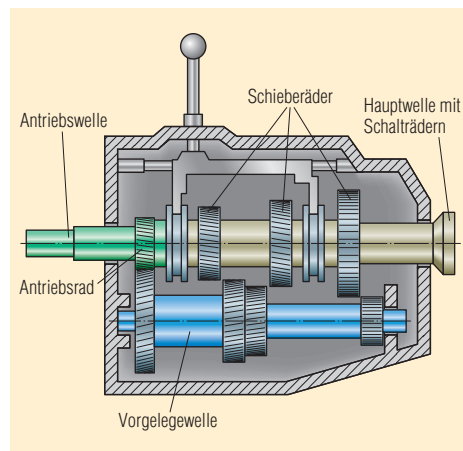


Bild 16.6 Schieberadgetriebe.

16.2.2 Schaltmuffengetriebe

Schaltmuffengetriebe gleichen im Grundaufbau den Schieberadgetrieben. Allerdings sind alle Zahnräder im Eingriff und laufen ständig mit. Dazu ist es notwendig, dass die Gangräder auf der Hauptwelle lose gelagert sind (Losräder). Die Räder der Vorgelegewelle sind fest mit dieser verbunden (Festräder). Es werden schräg verzahnte Zahnräder benutzt.

Die formschlüssige Verbindung zwischen dem jeweiligen Gangrad und der Hauptwelle entsteht durch Verschieben der Schaltmuffe (Bild 16.7).

Der Schaltmuffenträger sitzt fest auf der Hauptwelle, die Schaltverzahnung ist fest mit dem Gangrad verbunden. Die Schaltmuffe verbindet den Schaltmuffenträger formschlüssig mit der Schaltverzahnung. Dadurch wird der Kraftfluss von der Vorgelegewelle über Gangräder, Schaltverzahnung, Schaltmuffe und Muffenträger zur Hauptwelle hergestellt.

Ein Schalten ist nur möglich, wenn Schaltmuffe und Hauptwellenrad die gleiche Drehzahl haben. Dies wird beim Schaltvorgang durch Zwischen gas (beim Zurückschalten) und Zwischenkuppeln (beim Hochschalten) erreicht.

Der Vorteil des Schaltmuffengetriebes ist die Verwendung der schräg verzahnten Zahnräder. Hier sind mehr Zähne als bei geradverzahnten Rädern im Eingriff. Dadurch sind diese Zahnräder höher belastbar bzw. sie können kleiner sein und laufen geräuschärmer.

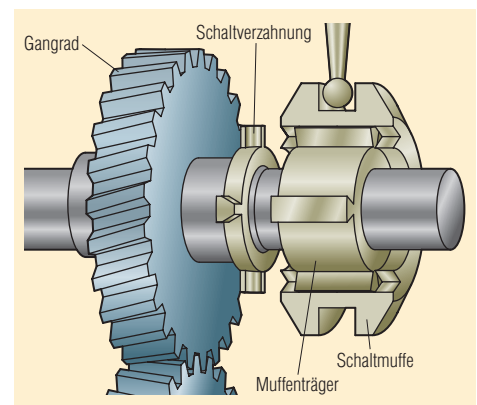


Bild 16.7 Schaltmuffe.

16.2.3 Ziehkeilgetriebe

Ziehkeilgetriebe (Bild 16.8) werden wegen der kompakten Bauweise in Krafträdern eingebaut. Die Gangräder der Antriebswelle sind fest, die der Abtriebswelle lose gelagert und alle ständig miteinander im Eingriff. Beim Schalten wird der Ziehkeil axial bis zur Mitte des zu schaltenden Gangrades verschoben. Dabei werden die in der Abtriebswelle befindlichen Kugeln nach außen in Nuten im Gangrad gedrückt. Dadurch kommt es zu einer formschlüssigen Verbindung zwischen Gangrad und Abtriebswelle. Der Kraftfluss von Antriebs- zu Abtriebsrad ist hergestellt.

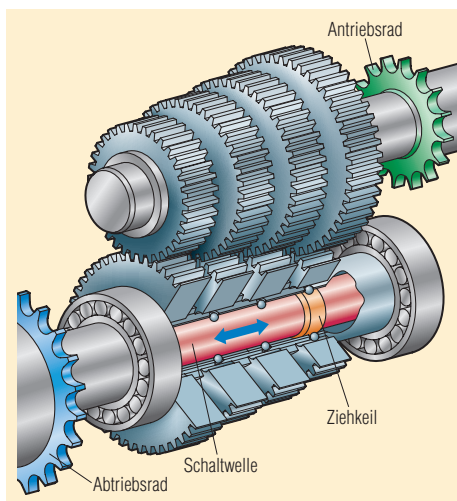


Bild 16.8 Ziehkeilgetriebe.

16.2.4 Schaltklauengetriebe

Ähnlich wie beim Ziehkeilgetriebe werden die Gänge nacheinander durchgeschaltet (sequenzielle Schaltung) und alle Gangräder von An- und Abtriebswelle sind ständig miteinander im Eingriff.

Ein Teil der Zahnräder sitzt drehfest und axial nicht verschiebbar auf einer der Wellen, denen auf der anderen Welle Zahnräder gegenüber sitzen, die ihrerseits drehbar und axial nicht verschiebbar sind.

Die Verbindung von drehbaren und drehfesten Zahnrädern wird über die Schalträder vorgenommen. Sie sind drehfest und axial verschiebbar auf den Wellen gelagert und mit Schaltklauen versehen, die in Aussparungen in den Gangrädern eingreifen und damit den Kraftfluss herstellen.

Die Schalträder werden häufig über Schaltgabeln verschoben, die in Kulissen einer Schaltwalze geführt sind (Bild 16.9).

Schaltklauengetriebe werden vorwiegend in Krafträdern eingebaut.

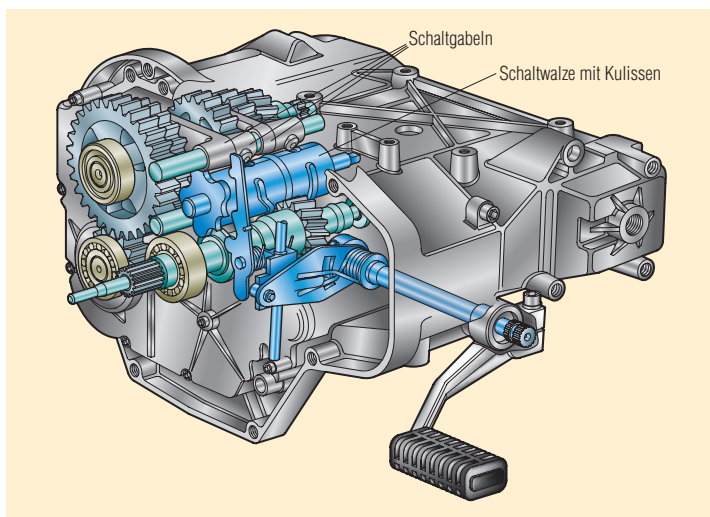


Bild 16.9 Fünfgang-Schaltklauengetriebe.

Kulissen:
Nuten, die um die Schaltwalze herum verlaufen.

16.3 Schaltgetriebe mit Synchronisiereinrichtung

Synchronisierte Getriebe werden als Schaltmuffengetriebe gebaut. Um dem Fahrer das Schalten zu erleichtern und den Gangwechsel möglichst geräusch- und verschleißarm zu gestalten, wird die Drehzahlangleichung zwischen Schaltmuffe und Hauptwellenrad automatisiert.

Es wird unterschieden zwischen

- einfacher Synchronisierung und
- Sperrsynchronisierung.

Bei der Sperrsynchronisierung wird der Schaltvorgang so lange gesperrt, bis ein vollständiger Gleichlauf erreicht ist.

Synchronisierung:
Allgemein die Herstellung von Gleichlauf zwischen zwei Vorgängen, Maschinen, Geräten oder Geräteteilen.

16.3.1 Gleichachsige und ungleichachsige Getriebe

Gleichachsige Getriebe (Bild 16.10) werden auch als Dreiwellen-Getriebe bezeichnet (Antriebswelle, Haupt- oder Abtriebswelle und Vorgelegewelle). Antriebswelle und Hauptwelle liegen in einer Flucht, wobei die Hauptwelle in der Antriebswelle gelagert ist. Die Vorgelege-

welle wird ständig durch das erste Zahnradpaar angetrieben. Die Gangräder sind permanent im Eingriff. Das Schalten der Gänge erfolgt durch Verschieben der Schaltmuffen, die sowohl auf der Haupt- als auch auf der Vorgelegewelle sitzen können.

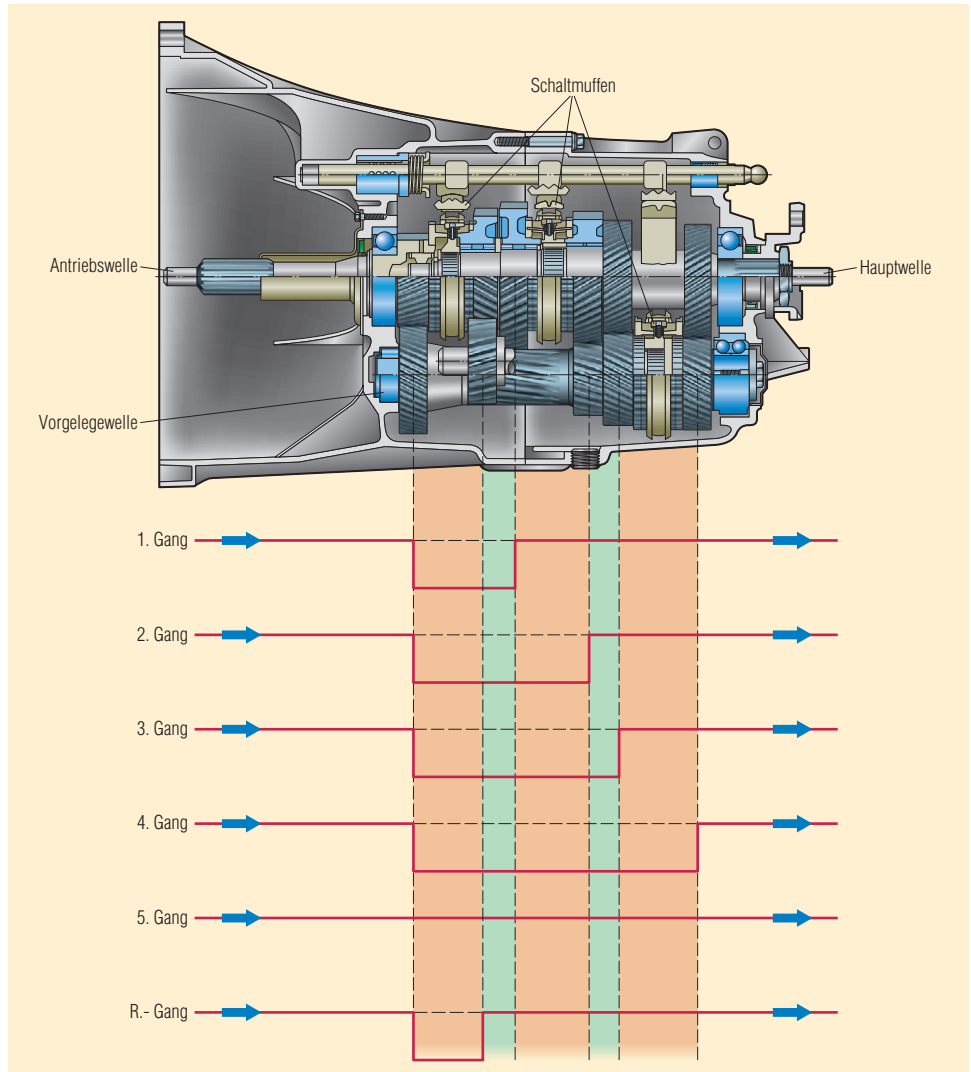


Bild 16.10 Gleichachsiges Getriebe mit Kraftfluss.

Ungleichachsige Getriebe (Bild 16.11) werden auch als Zweiwellen-Getriebe bezeichnet (Antriebswelle und Haupt- oder Abtriebswelle). Antriebswelle und Hauptwelle liegen nicht in einer Flucht. Auch hier sind die Gangräder ständig im Eingriff. Das Schalten der Gänge erfolgt durch Verschieben der Schaltmuffen, die auf der Haupt- oder auf der Antriebswelle sitzen können.

Ungleichachsige Getriebe werden bei Fahrzeugen mit Frontmotor und Frontantrieb oder Heckmotor und Heckantrieb eingebaut. Bei quer angeordnetem Motor ermöglicht dies die Verwendung von Stirnrädern im Achsgetriebe.

Quermotor:

Der Motor ist quer zur Fahrtrichtung angeordnet.

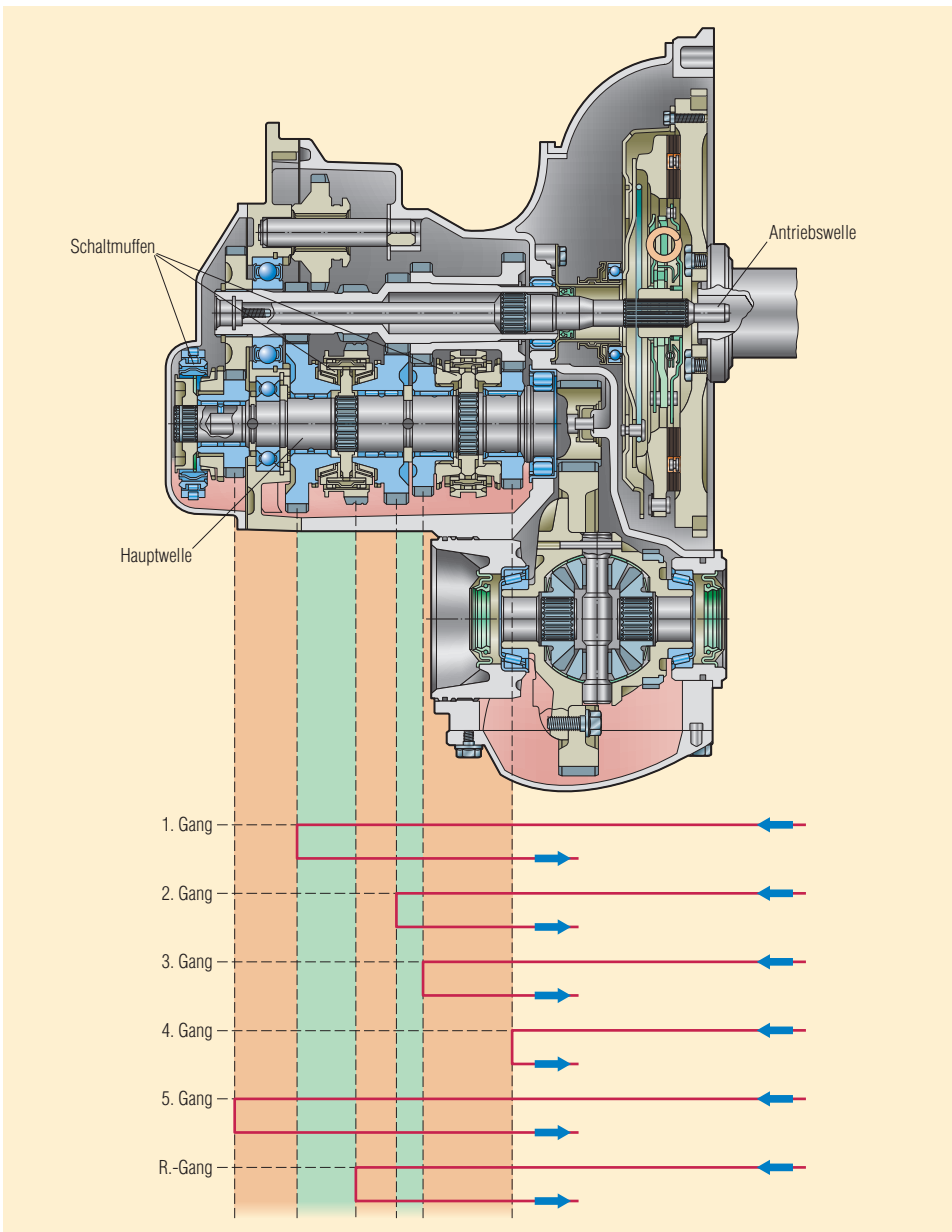


Bild 16.11 Ungleichachsiges Getriebe mit Kraftfluss.

16.3.2 Einfache Synchronisierung

Bei der einfachen Synchronisierung wird der Gleichlauf durch Gleitreibung zwischen Synchronkörper und Gangrad hergestellt (Bild 16.12). Im Gegensatz zur Sperrsynchronisierung ist es allerdings bei schnellem Schalten möglich, dass der Gleichlauf noch nicht vollständig erreicht ist.

Werden die Schaltmuffe und der Synchronkörper in Richtung eines Gangrades verschoben, berühren sich zuerst die Reibkegel von Synchronkörper und Gangrad. Die entstehende Reibung beschleunigt das Gangrad bis zum Gleichlauf, sodass anschließend die Schaltmuffe geräuschlos und ohne Widerstand über die Schaltverzahnung geschoben werden kann. Der Kraftfluss ist hergestellt.

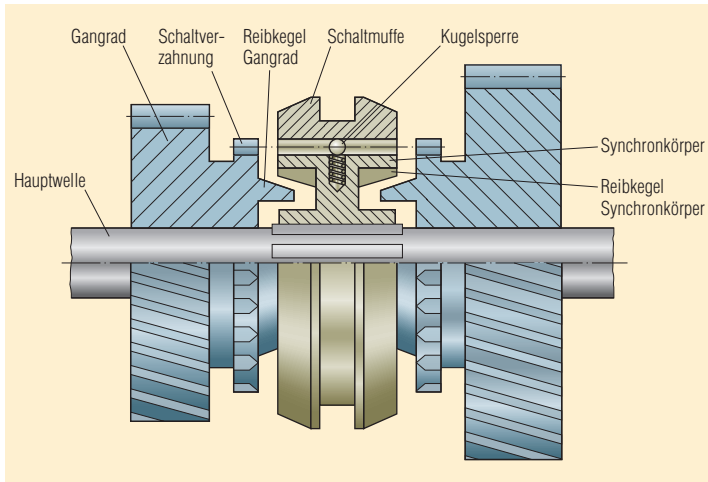


Bild 16.12 Einfache Synchronisierung.

16.3.3 Sperrsynchronisierung System Borg-Warner

Diese Synchronisiereinrichtung (Bild 16.13) besteht aus Schiebemuffe, Synchronkörper, Sperrstücken, Synchronringen, Druckfedern und Kugeln. Der Synchronkörper ist über eine Kerbverzahnung formschlüssig mit der Welle verbunden. Die Sperrstücke sitzen verschiebbar in Nuten im Synchronkörper und werden durch die Federn an die Schiebemuffe gedrückt. Die Kugeln sitzen in kleinen Vertiefungen in der Schiebemuffe und halten diese dadurch in der Mittelstellung.

Der Synchronring hat innen eine kegelige Reibfläche, außen eine Sperrverzahnung und Aussparungen, in denen die Sperrstücke sitzen. Das Gangrad besitzt auf der Seite zum Synchronkörper außen eine kegelige Reibfläche und dahinter eine Schaltverzahnung (Bild 16.14).

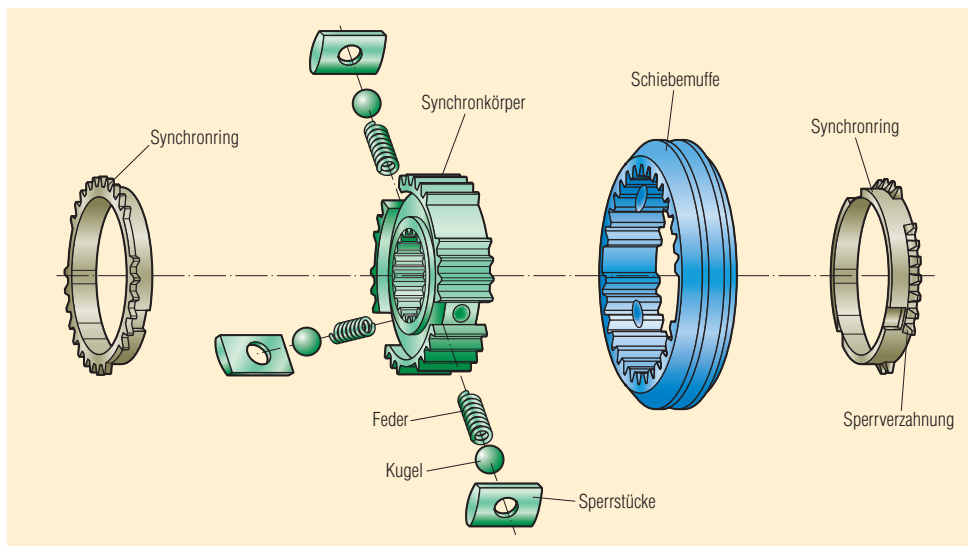


Bild 16.13 Bauteile der Sperrsynchronisierung System Borg-Warner.

In Neutralstellung (Bild 16.14) sitzt die Schiebemuffe in Mittelstellung. Sie ist durch die federbelasteten Sperrstücke so weit arretiert, dass unbeabsichtigtes Schalten vermieden wird.

Wird die Schiebemuffe in Richtung des Gangrades verschoben (Bild 16.15), werden die Sperrstücke durch die Kugeln mitgenommen. Sie drücken den Synchronring gegen die Reibfläche des Gangrades. Solange sich Schiebemuffe und Gangrad nicht gleich schnell drehen, entsteht ein Reibungsmoment, welches den Synchronring so weit verdreht, bis die Sperrstücke seitlich an den Aussparungen des Synchronrings anliegen. In dieser Stellung liegen die Zähne der Sperrverzahnung des Synchronringes so vor der Schaltverzahnung des Gangrades, dass die Schiebemuffe nicht in die Schaltverzahnung verschoben werden kann. Der Schaltvorgang ist gesperrt.

Nachdem der Gleichlauf hergestellt ist, wirkt kein Reibungsmoment mehr auf den Synchronring. Nun kann er von Anschrägungen an den Spitzen der Innenverzahnung der Schiebemuffe etwas verdreht werden. Die Schiebemuffe ist nicht mehr gesperrt und lässt sich über die Schaltverzahnung des Gangrades schieben. Der Kraftfluss ist hergestellt (Bild 16.16).

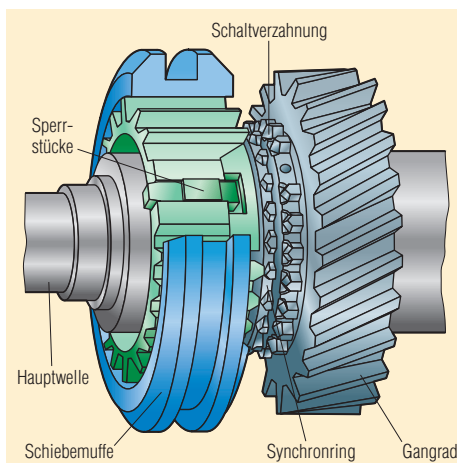


Bild 16.14 Neutralstellung.

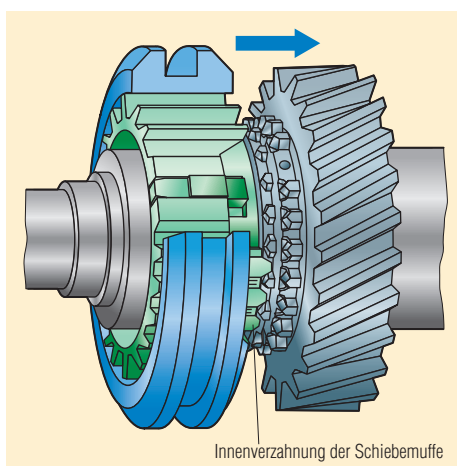
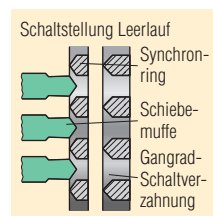


Bild 16.15 Sperr- und Synchronisierstellung.

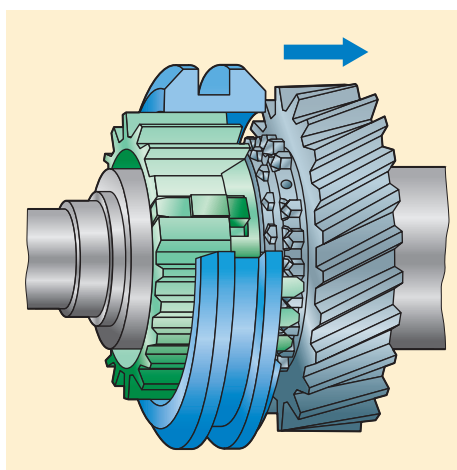
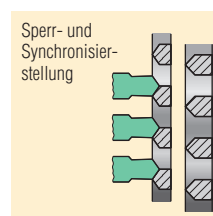
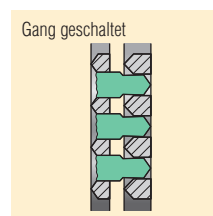


Bild 16.16 Schaltstellung.



16.3.4 Sperrsynchronisierung System Porsche

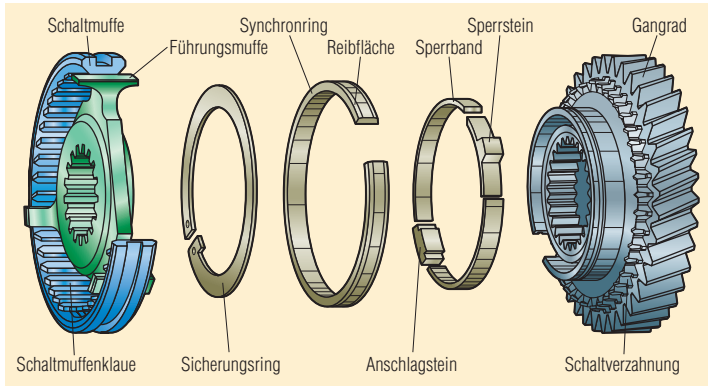


Bild 16.17 Bauteile der Sperrsynchronisierung System Porsche.

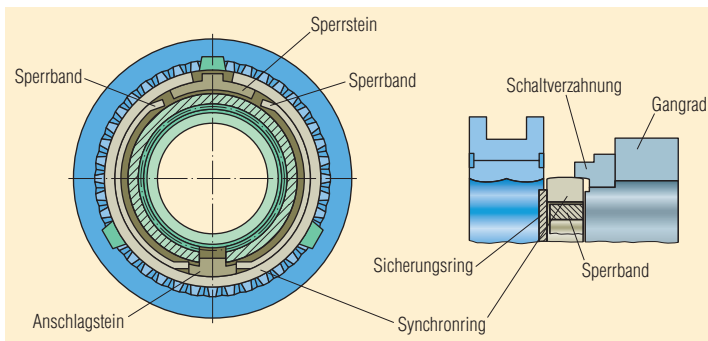


Bild 16.18 Neutralstellung.

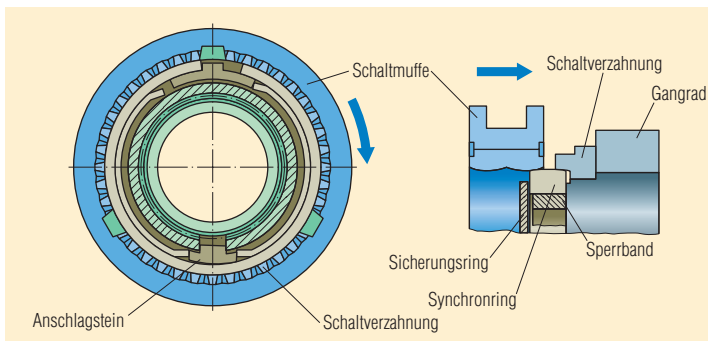


Bild 16.19 Sperr- und Synchronisierstellung.

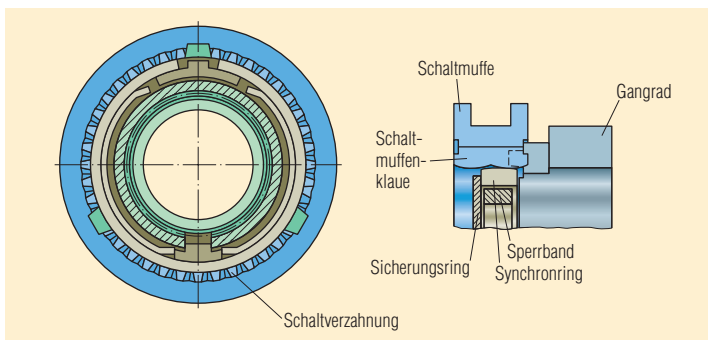


Bild 16.20 Schaltstellung.

Vorteil dieser Sperrsynchronisierung (Bild 16.17) ist die Selbstverstärkung (Servowirkung) der Sperrwirkung. Dadurch wird der Schaltvorgang verkürzt.

Das Gangrad ist drehbar auf der Hauptwelle gelagert. Auf dem Gangrad sitzt in einer Aussparung der Anschlagstein, an dessen Außenseite zwei Sperrbänder anliegen. Zwischen den anderen beiden Enden der Sperrbänder liegt der Sperrstein, der mit seiner Außenseite zwischen den Ringenden des Synchronringes liegt. Sämtliche Teile werden durch einen Sicherungsring auf dem Gangrad gehalten.

Die Schaltmuffe steckt axial verschiebbar und drehfest auf der Führungsmuffe, welche fest auf der Hauptwelle sitzt.

In Neutralstellung (Bild 16.18) sitzt die Schaltmuffe in Mittelstellung und dreht zusammen mit der Führungsmuffe mit Hauptwellendrehzahl.

Beim Schaltvorgang wird die Schaltmuffe in Richtung des Gangrades verschoben (Bild 16.19). Dabei drückt sie auf die Außenseite des Synchronringes, da der Außendurchmesser des Synchronrings geringfügig größer ist als der Innendurchmesser der Schaltmuffe. Der Synchronring wird durch das entstehende Reibungsmoment verdreht. Dieser stützt sich über den Sperrstein an einem Sperrband ab. Das Sperrband stützt sich über den Anschlagstein am Gangrad ab und wird dadurch aufgespreizt. Diese Spreizung drückt den Synchronring stärker gegen die Schaltmuffe, sodass das Reibungsmoment vergrößert wird, wodurch auch das Sperrband mit größerer Kraft gespreizt wird (Selbstverstärkung).

Der Schaltvorgang ist so lange gesperrt bis Gleichlauf zwischen Synchronring und Schaltmuffe hergestellt ist. Die Spreizwirkung am Sperrband entfällt, der Synchronring lässt sich leicht zusammendrücken. Jetzt kann die Schaltmuffe über den Synchronring in die Schaltverzahnung des Gangrades geschoben werden (Bild 16.20). Der Kraftfluss ist hergestellt.

16.3.5 Mehrkonus-Synchronisiereinrichtungen

Über eine Erhöhung der Reibflächen (ähnlich wie bei der Mehrscheibenkupplung) kann das bei der Synchronisierung entstehende Reibungsmoment erhöht werden. Dies führt zu einem leichteren und schnelleren Schaltvorgang. Außerdem ist der Verschleiß an den einzelnen Reibflächen geringer.

In ihrer Grundfunktion entsprechen die Doppel- und die Drei-Konus-Sperrsynchroisierung (Bilder 16.21 und 16.22) der Sperrsynchroisierung System Borg-Warner. Durch den Einbau von Zwischenringen und zusätzlichen Synchronringen wurde die Zahl der Reibflächenpaarungen auf zwei bzw. drei erhöht.

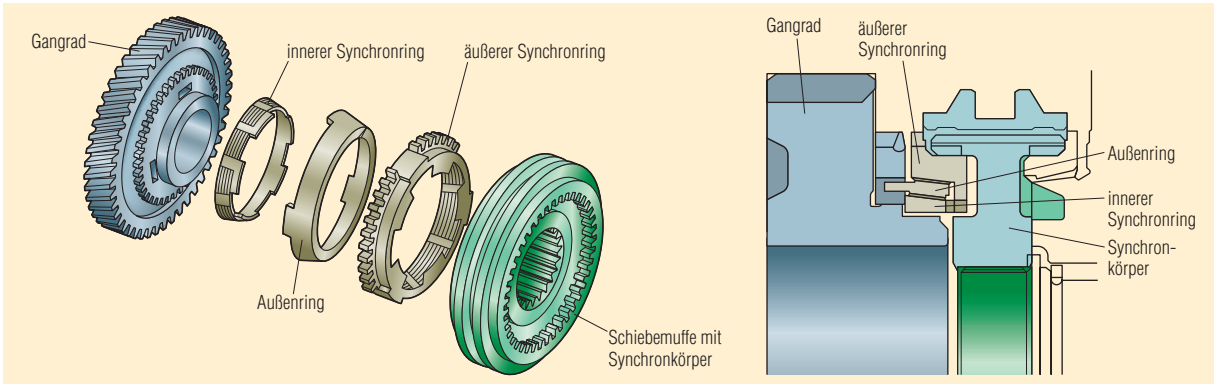


Bild 16.21 Doppel-Konus-Sperrsynchroisierung.

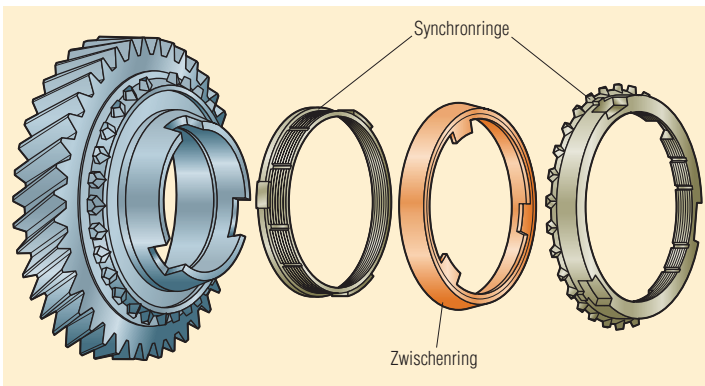


Bild 16.22 Drei-Konus-Sperrsynchroisierung.

16.4 Gruppengetriebe

Die im Nutzkraftfahrzeugbau verwendeten Getriebe müssen auf viele unterschiedliche Einsatzgebiete abgestimmt sein. Dies erfordert Getriebesysteme mit bis zu 16 Gängen um den großen Übersetzungsbereich mit optimaler Gangabstufung zu ermöglichen.

Dazu werden normale Wechselgetriebe mit einer Vorschaltgruppe (Splittgruppe) und/oder einer Nachschaltgruppe (Bereichsgruppe) kombiniert.

16.4.1 Vorschaltgruppe

Das Getriebe besteht aus einer Hauptgruppe mit 6 Gängen und einer Vorschaltgruppe (Bild 16.23). Diese Splittgruppe ermöglicht das Schalten einer weiteren festen Übersetzung von der Antriebswelle zur Vorgelegewelle.

Durch wechselweises Schalten der Splittgruppe (schnelle und langsame Gruppe) werden die 6 Gänge der Hauptgruppe verdoppelt. Der Übersetzungsbereich wird in 12 feinere Gangabstufungen aufgegliedert, indem zwischen zwei Gängen des Wechselgetriebes die Splittgruppe betätigt wird.

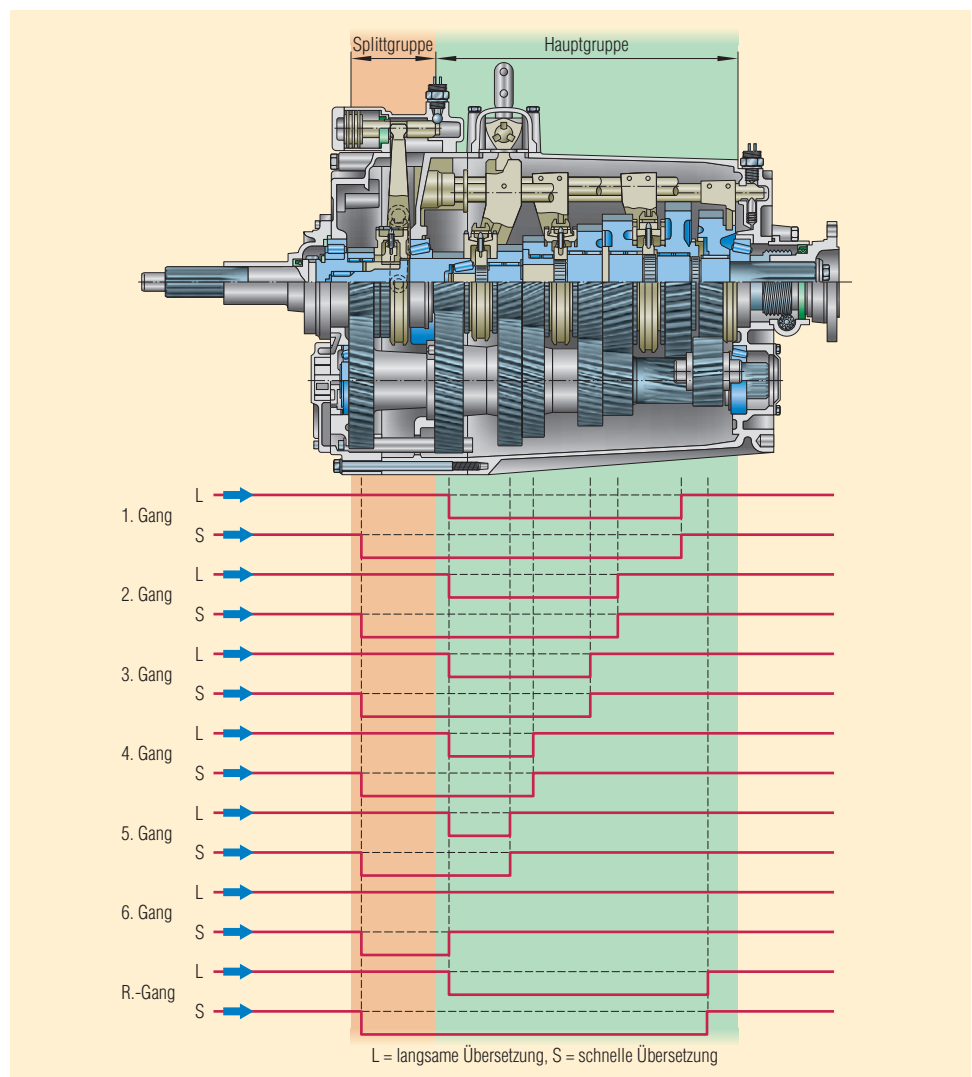


Bild 16.23 Gruppengetriebe mit Vorschaltgruppe.

16.4.2 Nachschaltgruppe

Durch eine Bereichsgruppe wird der Übersetzungsbereich eines herkömmlichen Wechselgetriebes erweitert (Bild 16.24).

Zu dem Viergangteil in Dreiwellenbauweise, welches zusätzlich einen Kriechgang (Crawler) besitzt, wird ein Planetensatz als Bereichsgruppe

nachgeschaltet. Durch das Umschalten der Bereichsgruppe wird die Gangzahl verdoppelt. Die „langsame Gruppe“ ergibt die Gänge 1 bis 4, die Schaltstellung „schnelle Gruppe“ die Gänge 5 bis 8. Mit dem Crawler stehen hier also 9 Gänge zur Verfügung.

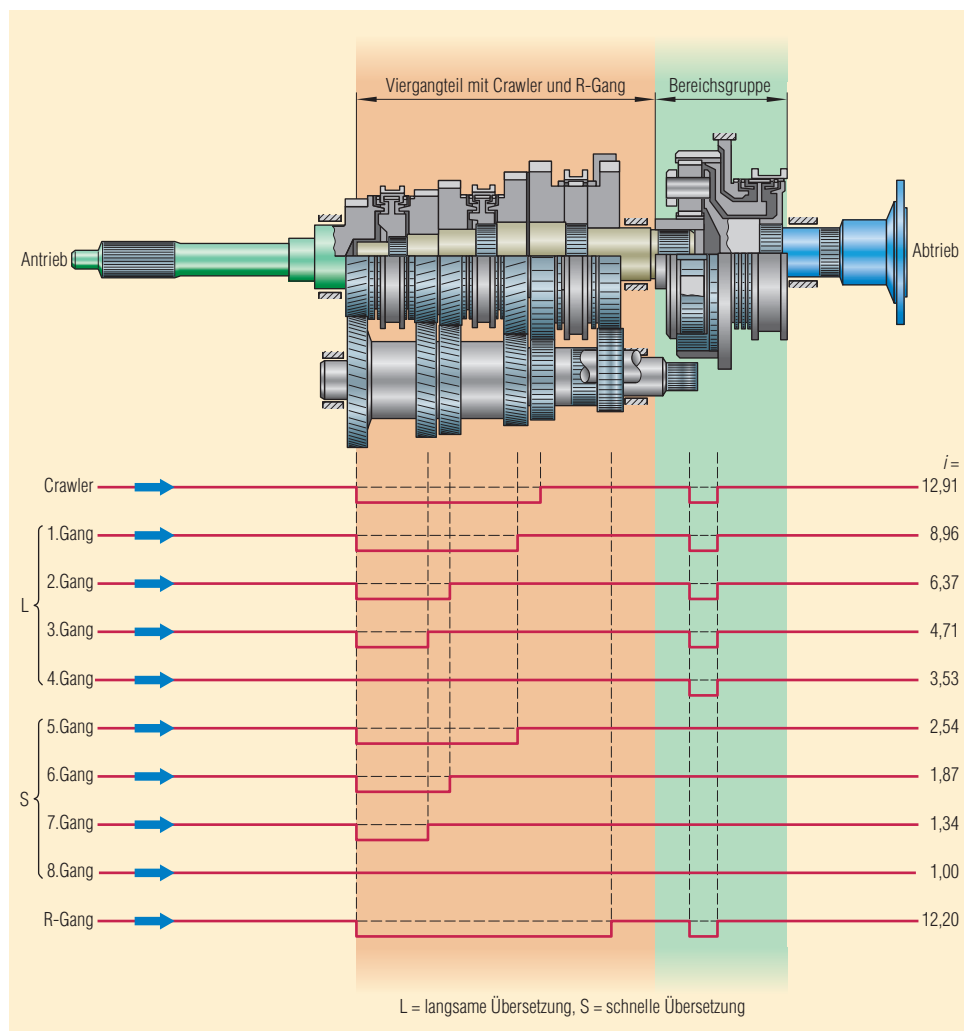


Bild 16.24 Kraftfluss eines Bereichsgruppengetriebes.

16.4.3 Kombination von Vor- und Nachschaltgruppe

Um eine möglichst feine Abstufung der Gänge und einen erweiterten Übersetzungsbereich zu erreichen, werden vor allem in Lastenfernverkehr ein Viergangteil mit Bereichsgruppengetriebe

und einer Splittgruppe kombiniert. Auf diese Weise erhält man ein Getriebe mit $2 \times 4 \times 2 = 16$ Übersetzungsstufen.

16.5 Werkstattpraxis

Wartungsarbeiten beschränken sich vor allem auf

- Ölstandskontrolle und gegebenenfalls Ölwechsel,
- Schmierung von Schaltungsteilen und Prüfung auf Verschleiß und Leichtgängigkeit.

Neben einer Sichtprüfung auf Undichtheit und schadhafte Gehäuseteile kann man eine Funktionsprüfung und eine Geräuschprüfung vornehmen.

Fehler	Fehlerursache	Fehlerbeseitigung
Schwerschaltbarkeit		
Gänge zu Beginn der Fahrt schwer einzulegen.	Kaltes Öl. Es ist normal, dass dann, besonders bei Rückschaltungen, die Gänge schwer einzulegen sind.	Öl warmfahren.
Die Gänge sind auch bei warmem Getriebe schwer einzulegen.	Falsches, d. h. vom Hersteller nicht zugelassenes, dickflüssiges Öl.	Vom Hersteller zugelassenes Öl verwenden.
Gänge sind immer schwer einzulegen.	Durch glatte, verschlissene Reibkonen an Gangrad und Synchronring wird die Synchronisierung erschwert.	Verschlissene Teile ersetzen.
Geräusche im Getriebe		
Leerlaufklappern oder Leerlaufrasseln	Bei Dieselmotoren kann es durch die Drehschwingungen des Motors im Leerlauf zu Getriebeklappern kommen.	Das ist harmlos, wenn es bei erhöhter Drehzahl aufhört.
Geräusch beim Schalten	Defekte Synchronisiereinrichtung	Defekte Teile ersetzen.
Heulgeräusche	Dies deutet auf Verschleiß an Getriebelagern oder defekte Verzahnungen hin und hört auf, wenn bei laufendem Motor die Kupplung getreten wird.	Defekte Teile ersetzen.
Undichtheit		
Ölverlust an der An- oder Abtriebswelle, was evtl. eine rutschende Kupplung zur Folge hat.	Defekter Wellendichtring (schadhaft oder verhärtet) an der An- oder Abtriebswelle. Eine verstopfte Getriebeentlüftung verursacht einen Überdruck im Getriebe.	Wellendichtringe ersetzen. Getriebeentlüftung säubern.
Herausspringender Gang		
Gang springt heraus	Verbogene Schaltgabel, abgenutzte Schaltverzahnung, defekte Schaltarretierung	Defekte Teile ersetzen.
Tabelle 16.1	Störungen an Schaltgetrieben.	

Arbeitsaufträge

1. Warum werden Wechselgetriebe auch als Kennungswandler bezeichnet?
2. Werden in Ihrer Werkstatt Fahrzeuge mit gleichachsigen oder mit ungleichachsigen Getrieben repariert? Wie kann man dies erkennen?
3. Informieren Sie sich mithilfe von Getriebezeichnungen, ob es noch Wechselgetriebe mit unsynchronisierten Gängen oder mit geradverzahnten Stirnrädern gibt. Was stellen Sie fest?
4. Worin liegt der Unterschied zwischen der einfachen Synchronisierung und der Sperr-synchronisierung?
5. Beschreiben Sie die Funktionsweise der Sperr-synchronisierungen System Borg-Warner und System Porsche.
6. Welches ist der Vorteil der Mehrkonus-Synchronisiereinrichtungen?
7. Wie wirken sich der zusätzliche Einbau einer Vorschaltgruppe und einer Nachschaltgruppe auf den Übersetzungsbereich des verwendeten Getriebes aus?
8. Informieren Sie sich in einem Reparaturleitfaden über einen Fehlersuchplan für Getriebegeräusche. Welche Ursachen werden dort genannt?

17 Automatische Wechselgetriebe

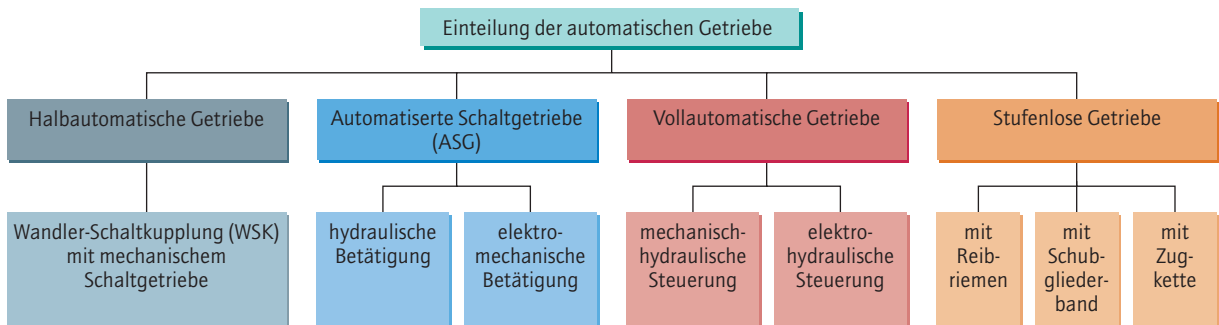
Der Einsatz von automatischen Getrieben wird häufig mit dem Wunsch nach mehr Komfort beim Schalten der Gänge begründet. Moderne Automatikgetriebe haben allerdings weitere Eigenschaften, die z. T. erst durch den Einsatz der Elektronik ermöglicht werden:

- sehr kurze Schaltzeiten,
- optimale Schaltpunktlage und Schaltqualität,
- Veränderung der Schaltpunkte in Abhängigkeit von gewähltem Fahrprogramm, Fahrbedingungen oder Fahrertyp,

- Drehschwingungen des Motors werden bei Einsatz eines Drehmomentwandlers gedämpft.

Dagegen stehen folgende Nachteile:

- höherer Kraftstoffverbrauch,
- erheblich höheres Gewicht,
- höherer Preis gegenüber dem manuellen Schaltgetriebe.



17.1 Halbautomatische Getriebe und automatisierte Schaltgetriebe

Halbautomatische Getriebe. Hierunter versteht man eine Kombination aus einer Wandler-Schaltkupplung (WSK) und einem mechanischen Schaltgetriebe. Besonders in Fahrzeugen, die häufig anfahren müssen, erleichtern sie die Bedienung erheblich, denn das Anfahren erfolgt automatisch. Der Schaltvorgang hingegen erfolgt weiterhin manuell durch den Fahrer.

Die Wandler-Schaltkupplung besteht aus einem hydrodynamischen Drehmomentwandler, einer Wandler-Überbrückungskupplung und einer konventionellen Schaltkupplung. Der Wandler steigert das Motordrehmoment beim Anfahren um das 2,5-fache und ermöglicht ein ruckfreies Anfahren. Die Überbrückungskupplung überbrückt den Wandler bei bestimmten Fahrzuständen, um den Kraftstoffverbrauch zu verringern. Die Schaltkupplung wird nur zum Schalten der Gänge benötigt, beim Anfahren und Anhalten bleibt sie geschlossen.

Automatisierte Schaltgetriebe (ASG). Diese Getriebe werden vor allem im Nutzkraftwagenbereich zur leichteren Bedienung und zur Erhöhung des Fahrkomforts eingesetzt. Wegen

des geringeren Verbrauchs, der niedrigeren Kosten und des geringeren Gewichts werden diese Getriebe zunehmend auch im Pkw-Bereich eingesetzt. Je nach Ausführung erfolgt nur der Schaltvorgang oder zusätzlich auch der Kupplungsvorgang automatisch. Die Betätigung wird durch ein Steuergerät vorgenommen, welches Aktoren (Elektromotoren oder Hydraulikeinheiten an Getriebe und Kupplung) auslöst (Bild 17.1).

Der Fahrer signalisiert über einen Wählhebel den Schaltwunsch und löst damit den Schalt- und Kupplungsvorgang aus. Weiterhin sind folgende Funktionen möglich:

- Anzeige des eingelegten Gangs in der Instrumententafel,
- automatisches Rückschalten beim Unterschreiten einer bestimmten Geschwindigkeit, sodass beim nächsten Anfahrvorgang der richtige Gang eingelegt ist,
- ein Überdrehen des Motors oder eine zu niedrige Motordrehzahl werden verhindert,
- ein automatisierter Betrieb ist möglich, bei dem der Fahrer das Schalten vollständig dem Steuergerät überlässt.

hydrodynamischer Drehmomentwandler → S. 349

Wandler-Überbrückungskupplung → S. 350

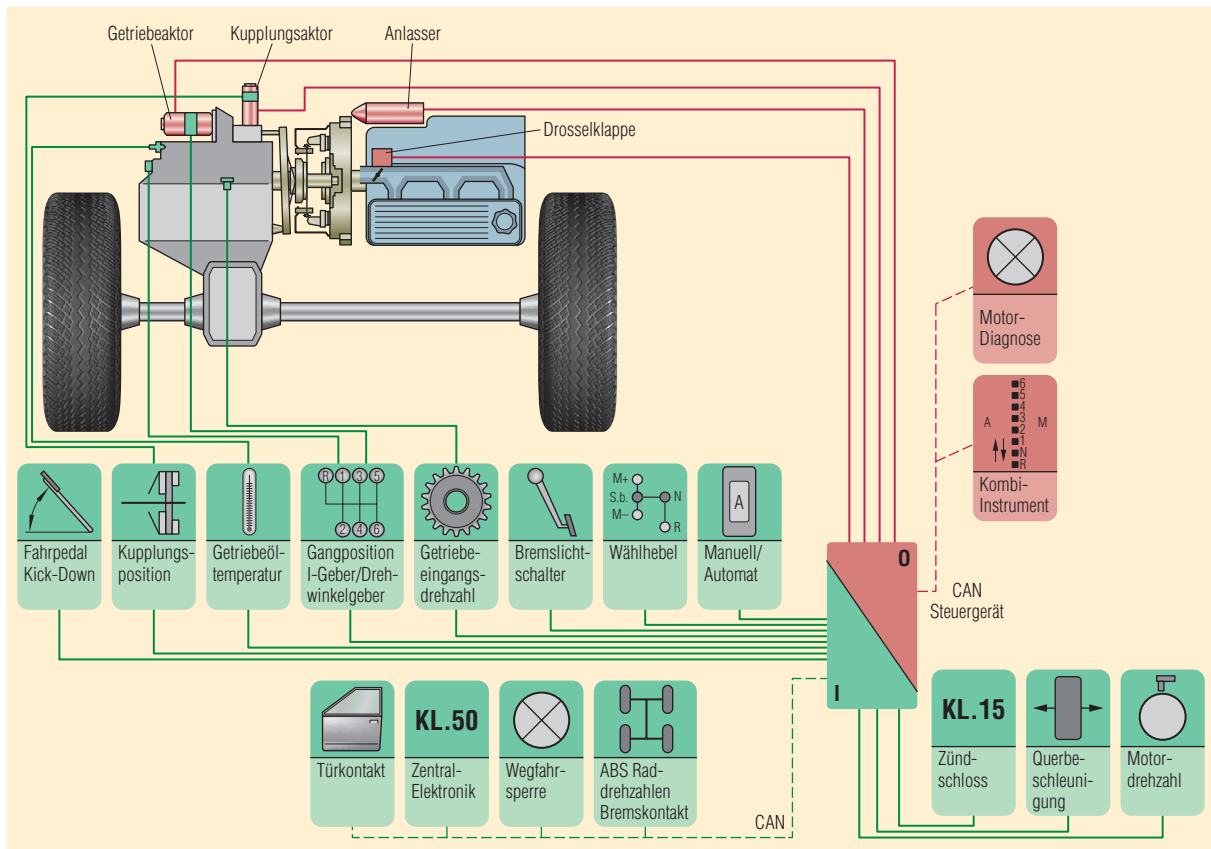


Bild 17.1 Systemaufbau des automatisierten Schaltgetriebes.

17.2 Aufbau der vollautomatischen Getriebe

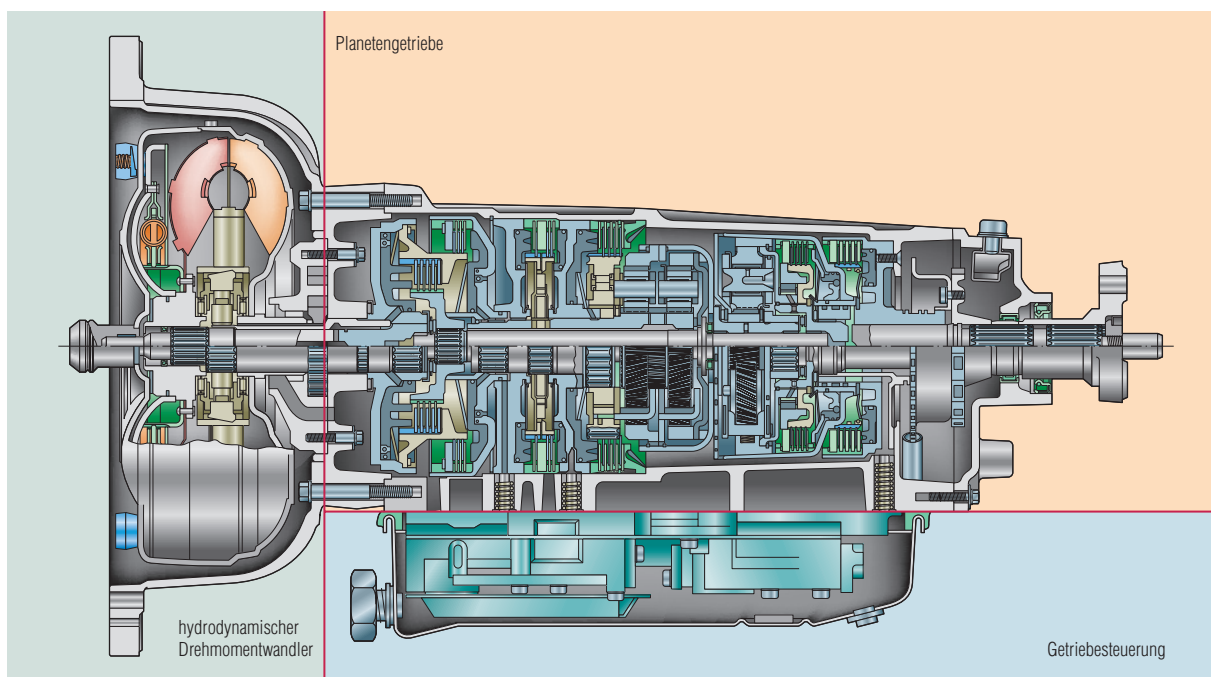


Bild 17.2 Baugruppen von vollautomatischen Getrieben.

Vollautomatische Getriebe bestehen aus folgenden Baugruppen (Bild 17.2, S. 347):

- hydrodynamischer Drehmomentwandler, häufig mit Überbrückungskupplung,
- Planetengetriebe,
- mechanisch-hydraulische oder elektronisch-hydraulische Getriebesteuerung.

17.3 Hydrodynamische Kupplung und hydrodynamischer Drehmomentwandler

17.3.1 Hydrodynamische Kupplung

Die hydrodynamische Kupplung funktioniert nach dem Prinzip der Energieübertragung mithilfe von Flüssigkeiten (Bild 17.3).

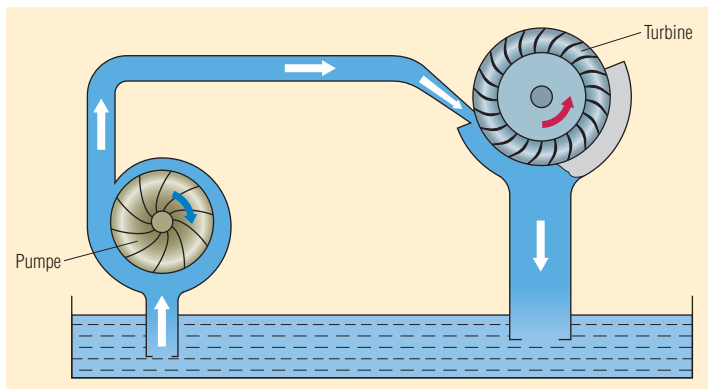


Bild 17.3 Prinzip der Energieübertragung durch Flüssigkeit.

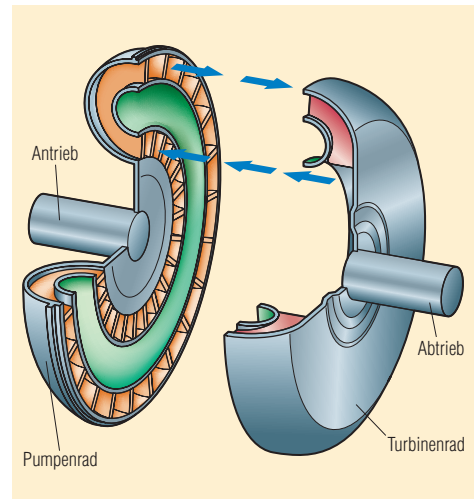


Bild 17.4 Hydrodynamische Kupplung.

Die Pumpe (Pumpenrad) und die Turbine (Turbinenrad) werden dazu in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Das Gehäuse ist mit Öl als Übertragungsmedium gefüllt (Bild 17.4).

Das Pumpenrad ist mit dem Antrieb verbunden und dreht sich folglich immer mit Motordrehzahl. Dabei wird das Öl durch die Fliehkraft nach außen geschleudert. An der Außenseite des Pumpenrades trifft das Öl mit hoher Strömungsenergie auf das Turbinenrad. Ein großer Teil der Energie wird an das Turbinenrad abgegeben und setzt es in Bewegung. Das Turbinenrad ist mit dem Abtrieb verbunden, sodass das Fahrzeug anfährt und beschleunigt.

Der Nachteil der hydrodynamischen Kupplung ist ihr prinzipbedingter Schlupf.

Im Leerlauf des Verbrennungsmotors und stillstehendem Abtriebsstrang (Gang eingelegt, Bremse betätigt) beträgt der Schlupf 100%,

denn die Turbine dreht sich nicht. Der Kraftfluss ist unterbrochen.

Ein schlupffreier Lauf ist nicht möglich, da das Öl nur so lange vom Pumpenrad zum Turbinenrad strömen kann, wie ein Drehzahlunterschied zwischen den beiden Rädern besteht. Drehen Pumpe und Turbine gleich schnell, so ist die Fliehkraftwirkung auf das Öl an beiden Rädern gleich, sodass das Öl nicht mehr in Rotation versetzt wird. Durch geeignete Formgebung der beiden Schaufelräder wird der Schlupf auf etwa 2 % begrenzt. Der Energieverlust führt zu einer Erwärmung des Öls.

Wegen des großen Schlupfbereichs ist die hydrodynamische Kupplung nicht geeignet als Anfahrkupplung für Automatikgetriebe, denn dadurch entstehen starke Leistungseinbußen, träges Fahrverhalten und ein hoher Kraftstoffverbrauch.

Schlupf:

Gibt den prozentualen Verlust der Drehzahl beim Übergang vom Pumpenrad zum Turbinenrad an.

$$s = \left(1 - \frac{n_T}{n_P}\right) \cdot 100\%$$

17.3.2 Hydrodynamischer Drehmomentwandler

Der hydrodynamische Drehmomentwandler hat einen erheblich kleineren Schlupfbereich. Daher wird er zusammen mit Automatikgetrieben als Anfahrkupplung eingesetzt.

Aufbau und Funktion. Der hydrodynamische Drehmomentwandler entspricht in Aufbau und Funktion der hydrodynamischen Kupplung. Durch den zusätzlichen Einbau eines Leitrades wird jedoch während der Schlupfphase das Abtriebsdrehmoment des Turbinenrades erhöht (Bild 17.5). Ähnlich wie bei einem Kettengetriebe findet während dieser Phase eine Übersetzung ins Langsame statt, denn das Pumpenrad dreht schneller als das Turbinenrad. Wie beim Kettengetriebe führt dies zu einer Erhöhung des Drehmoments.

Der Wandler arbeitet im Schlupfbereich wie ein hydraulisches Getriebe mit variabler Übersetzung. Bei großem Schlupf reduziert er die Drehzahl und erhöht das Drehmoment. Mit geringer werdendem Schlupf nimmt die Übersetzung ab und das Drehmoment erhöht sich nur noch wenig. Bei kleinem Schlupf arbeitet der Wandler schließlich nur noch als hydrodynamische Kupplung (Bild 17.6).

Der Drehmomentwandler befindet sich zwischen Motor und eigentlichem Automatikgetriebe an vergleichbarer Position wie die Trennkupplung beim Schaltgetriebe. Man kann bei stehendem Fahrzeug und Motor im Leerlauf einen Gang einlegen. Zwar überträgt der Drehmomentwandler in dieser Situation ein geringes Drehmoment, sodass das Fahrzeug zu kriechen anfängt. Es kann jedoch mit der Feststell- oder Betriebsbremse angehalten werden. Wenn Gas gegeben wird, d.h. bei höherer Drehzahl, überträgt der Drehmomentwandler ein höheres Drehmoment, sodass das Fahrzeug fährt.

Wirkungsweise. Das Wandlergehäuse wird vom Motor angetrieben. Das Pumpenrad ist fest mit diesem Gehäuse verbunden und beschleunigt beim Drehen das Öl durch die Zentrifugalkraft von innen nach außen. An der Innenwandung des Gehäuses wird das Öl zum Turbinenrad gelenkt. Der Ölstrom treibt das Turbinenrad an

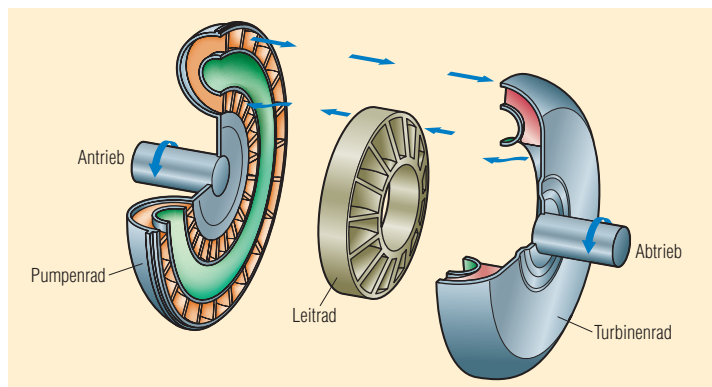


Bild 17.5 Aufbau des hydrodynamischen Drehmomentwandlers.

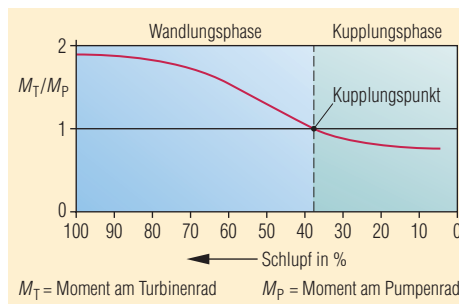


Bild 17.6 Drehmomentverlauf des hydrodynamischen Drehmomentwandlers in Abhängigkeit vom Schlupf.

Kriechen:

Das Fahrzeug fährt bei gelöster Bremse langsam an, ohne dass der Fahrer Gas gibt.

und wird von diesem in der Strömungsrichtung umgelenkt (Bild 17.7, S. 350). Dann trifft das Öl im Nabebereich des Drehmomentwandlers auf die Flügel des Leitrades und fließt von dort zum Pumpenrad zurück. Das Turbinenrad ist mit der Eingangswelle des Getriebes verbunden.

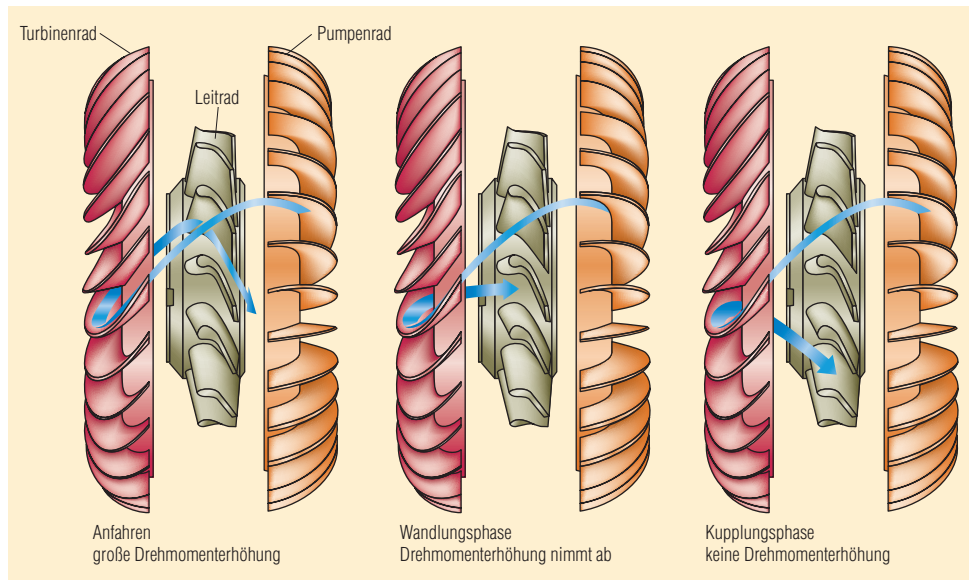


Bild 17.7 Der Ölstrom im Drehmomentwandler.

Freilauf:

Er überträgt ein Drehmoment zwischen zwei rotierenden Teilen nur in einer Richtung, entspricht also einer Bremse, die nur in einer Richtung wirkt. (s. S. 358)

Wandlungsphase. Bei großem Schlupf, d.h. bei großem Drehzahlunterschied zwischen Pumpenrad und Turbinenrad, erhöht das Leitrad das abgegebene Drehmoment, indem es den Ölstrom umlenkt und in Drehrichtung in das Pumpenrad fließen lässt. Damit sich das Leitrad während dieser Phase nicht dreht, stützt es sich über einen Freilauf am Getriebegehäuse ab. Dieser Freilauf verhindert die Drehung des Leitrads entgegen der Drehrichtung von Pumpen- und Turbinenrad. Durch die Umlenkung des Ölstroms entsteht ein Moment am Leitrad, welches auch auf das Turbinenrad wirkt. Das Moment des Pumpenrades und das des Leitrades addieren sich während des Wandlungsbereichs zum Turbinenradmoment.

Kupplungsphase. Bei geringem Schlupf, d.h. wenn das Turbinenrad nahezu die Drehzahl des Pumpenrades erreicht hat, bewirkt das Leitrad keine Drehmomenterhöhung mehr. Der Ölstrom trifft auf die Rückseite der Leitrad-schaufeln. Es dreht dank des Freilaufs in gleicher Richtung wie Pumpen- und Turbinenrad.

Durch die Drehmomenterhöhung kommt das Automatikgetriebe schneller in die Kupplungsphase.

17.3.3 Wandler-Überbrückungskupplung

Der Schlupf des Drehmomentwandlers, der während der Wandlungsphase zur Drehmomenterhöhung genutzt wird, führt während der Kupplungsphase zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch. Daher wird bei modernen Automatikgetrieben der Schlupf in bestimmten Betriebszuständen beseitigt, indem der Drehmomentwandler durch die Wandler-Überbrückungskupplung (WK) überbrückt wird. Das heißt, es entsteht eine starre Verbindung zwischen Pumpen- und Turbinenrad (Bild 17.8).

Wandler-Überbrückungskupplung offen. Das Öl fließt durch die Antriebswelle zum belagseitigen Bereich der Wandler-Überbrückungskupplung und von dort in den Turbinenraum. Dadurch ist der Öldruck hinter dem WK-Kolben und im Turbinenraum ausgeglichen, es besteht keine Druckdifferenz und das Schließen der Wandler-Überbrückungskupplung wird verhindert.

Wandler-Überbrückungskupplung geschlossen. Die Fließrichtung des Öls wird über die Betätigung eines Ventils durch das Steuergerät umgekehrt. Gleichzeitig wird der belagseitige Raum der Wandler-Überbrückungskupplung entlüftet. Der Öldruck im Turbinenraum wirkt auf den WK-Kolben und presst diesen mit dem Reibbelag an das Wandlergehäuse. Da WK-Kolben und Turbinenrad fest miteinander verbunden sind, ist eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Pumpen- und Turbinenrad hergestellt.

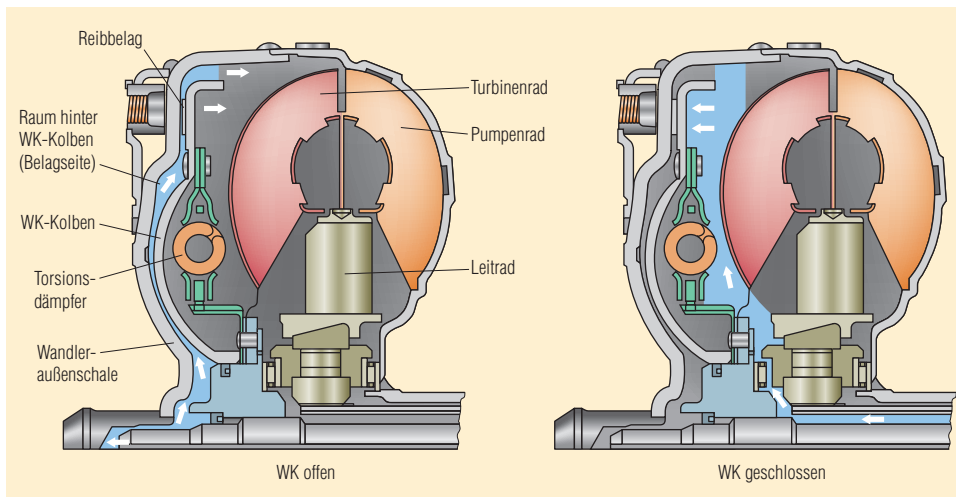


Bild 17.8 Wandler-Überbrückungskupplung.

Geregelte Wandler-Überbrückungskupplung (GWK). Moderne Wandler-Überbrückungskupplungen ermöglichen ein geregeltes Öffnen und Schließen. So kann eine geringe Differenzdrehzahl zwischen Pumpen- und Turbinenrad eingestellt werden. Dadurch werden die Motordrehschwingungen nicht in das Getriebe weitergeleitet und ein mechanischer Torsionsdämpfer kann entfallen.

Wegen der erhöhten Hitzebelastung muss evtl. eine zusätzliche Kühlung in Form von Ölnuten in den Belägen geschaffen werden. Zur Übertragung höherer Momente gibt es auch Wandler-Überbrückungskupplungen mit Lamellenkupplungen (Bild 17.9).

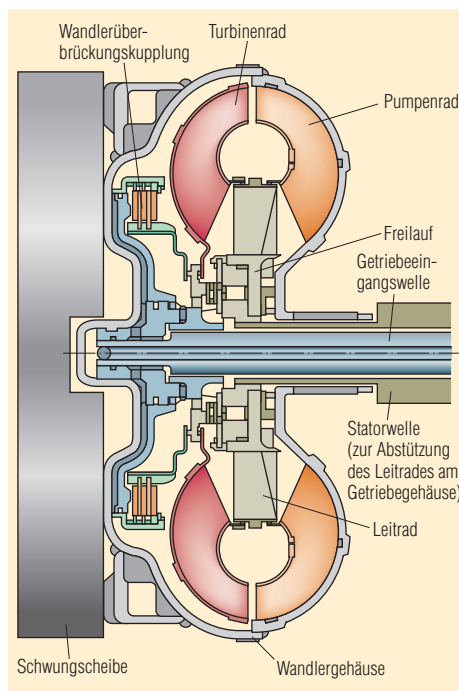


Bild 17.9 Wandler-Überbrückungskupplung mit Lamellenkupplung.

17.4 Planetenradsätze

Automatikgetriebe basieren auf Planetengetrieben. Ihre Vorteile sind:

- Die Zahnräder sind auch während des Schaltvorgangs ständig im Eingriff und ermöglichen daher ein Schalten ohne Kraftflussunterbrechung,
- die konzentrische Anordnung der Schaltglieder um die Planetengetriebe herum und die koaxiale Anordnung von An- und Abtriebswellen ermöglichen eine kompakte Bauweise,

- es treten keine radialen Kräfte im Getriebegehäuse auf,
- es sind hohe Übersetzungen möglich,
- die Aufteilung der Momente auf mehrere Planetenräder ergibt kleinere Zahnkräfte und dadurch einen geräuscharmen Lauf,
- die zu bewegenden Schwungmassen sind kleiner.

17.4.1 Der einfache Planetenradsatz: Aufbau und Schaltmöglichkeiten

Das zentrale Bauelement des Planetengetriebes ist der einfache Planetenradsatz (Bild 17.10). Ein Planetenradsatz besteht aus:

- einem zentralen Sonnenrad,
- einem Planetenradträger (Steg),
- drei bis sechs Planetenrädern,
- einem innen verzahnten Hohlrad.

Der Name „Planetengetriebe“ kommt daher, dass der Planetenradträger zusammen mit den Planetenrädern um das Sonnenrad läuft. Dabei drehen sich die Planetenräder zusätzlich um ihre eigene Achse. Diese Bewegungen lassen sich mit der Umlaufbewegung der Planeten um die Sonne vergleichen.

Übersetzungen. Sonnenrad, Planetenradträger und Hohlrad sind mit Anschlusswellen verbunden, die z.T. als Hohlwellen ausgeführt sind. Durch Antreiben oder Festhalten dieser drei Elemente lassen sich insgesamt 7 Übersetzungen schalten (Tabelle 17.1). Dies geschieht mithilfe von **Lamellenkupplungen und Bandbremsen**.

Schaltglieder
→ S. 357

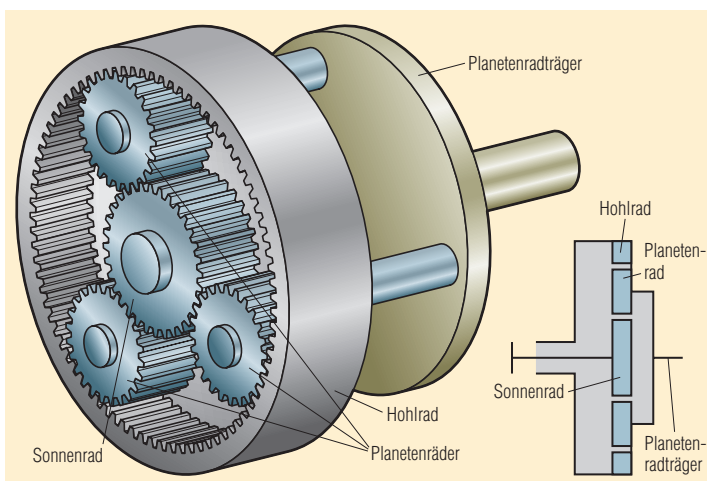


Bild 17.10 Einfacher Planetenradsatz.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, könnten die 7 Übersetzungsvarianten nur geschaltet werden, wenn Sonnenrad, Planetenradträger und Hohlrad im ständigen Wechsel Antrieb bzw. Abtrieb bilden würden. Dies ist in der Praxis nicht sinnvoll und zu aufwändig. Das bedeutet, dass sich beim einfachen Planetenradsatz die Zahl der möglichen Übersetzungsvarianten auf drei sinnvolle reduziert (Varianten 3, 5 und 7). Die Varianten 3 und 5 sind Übersetzungen ins Langsame. Sie nutzen den Planetenradträger als Abtrieb. Bei Variante 7 laufen alle Teile des Planetenradsatzes gleich schnell (direkter Gang). So kann ebenfalls der Planetenradträger als Abtrieb benutzt werden.

Leerlauf. Der Leerlauf wird beim einfachen Planetenradsatz dadurch geschaltet, dass sich alle Räder frei drehen können, also keine Lamellenkupplung oder Bandbremse betätigt wird.

Planetenradsätze. In der Praxis werden Planetengetriebe aus mehreren Planetenradsätzen aufgebaut. Dem Konstrukteur ergeben sich viele Kombinationsmöglichkeiten, aus denen er die Übersetzungen herausuchen kann, die er benötigt, die sich optimal abstufen lassen und die möglichst einfach zu realisieren sind.

So bestehen moderne Planetengetriebe aus zwei bis vier Planetenradsätzen, die untereinander fest oder mittels Kupplungen verbunden sind. Einige Standardkonstruktionen, die sich besonders bewährt haben und die im Getriebebau deshalb häufig angewendet werden, zeichnen sich durch bestimmte feste Verbindungen oder gemeinsame Zahnräder aus. Dies sind z. B. das Simpson-Getriebe, das Ravigneaux-Getriebe und das Wilson-Getriebe.

Variante	Antrieb	Abtrieb	fest	Übersetzung	Bedeutung
1	Sonnenrad	Hohlrad	Planetenradträger	$i = i_0$ Bsp.: $i = -3$	Drehrichtungsumkehr ins Langsame
2	Hohlrad	Sonnenrad	Planetenradträger	$i = \frac{1}{i_0}$ Bsp.: $i = -0,33$	Drehrichtungsumkehr ins Schnelle
3	Sonnenrad	Planetenradträger	Hohlrad	$i = 1 - i_0$ Bsp.: $i = 4$	Übersetzung ins Langsame
4	Planetenradträger	Sonnenrad	Hohlrad	$i = \frac{1}{(1 - i_0)}$ Bsp.: $i = 0,25$	Übersetzung ins Schnelle
5	Hohlrad	Planetenradträger	Sonnenrad	$i = \frac{(i_0 - 1)}{i_0}$ Bsp.: $i = 1,33$	Übersetzung ins Langsame
6	Planetenradträger	Hohlrad	Sonnenrad	$i = \frac{i_0}{(i_0 - 1)}$ Bsp.: $i = 0,75$	Übersetzung ins Schnelle
7	Hohlrad und Sonnenrad verblockt			$i = 1 : 1$	Direkter Gang

Anmerkungen: $i = \frac{n_{\text{Antrieb}}}{n_{\text{Abtrieb}}}$; $i_0 = \frac{\text{Zähnezahl}_{\text{Hohlrad}}}{\text{Zähnezahl}_{\text{Sonnenrad}}} = \frac{z_3}{z_1}$; Zähnezahl des Hohlrades wird mit (-) definiert

Beispiel: $z_1 = 30$, $z_3 = -90$; $i_0 = \frac{z_3}{z_1} = \frac{-90}{30} = -3$

Tabelle 17.1

Übersetzungsmöglichkeiten beim einfachen Planetenradsatz.

17.4.2 Ravigneaux-Getriebe

Mit dem Ravigneaux-Getriebe (Bild 17.11) lassen sich maximal vier Vorwärtsgänge und ein Rückwärtsgang in sinnvoller Abstufung konstruieren.

Das Ravigneaux-Getriebe besteht aus zwei Planetenradsätzen mit gemeinsamem Planetenradträger. Er trägt zwei Sätze von Planeten:

- kurze Planetenräder mit größerem Durchmesser, die in das kleinere Sonnenrad eingreifen,
- lange Planetenräder mit kleinerem Durchmesser, die in das größere Sonnenrad und die kurzen Planetenräder eingreifen.

Das Ravigneaux-Getriebe besitzt nur ein gemeinsames Hohlrad. Es zeichnet sich durch seine kompakte Bauweise aus und eignet sich daher für den Einbau in Fahrzeugen mit Frontantrieb, wo wenig Bauraum zur Verfügung steht.

Ein Ravigneaux-Satz und der im folgenden beschriebene Simpson-Satz lassen sich mit einfachen Planetenradsätzen kombinieren, womit 4- und 5-Gang-Automatikgetriebe verwirklicht werden können.

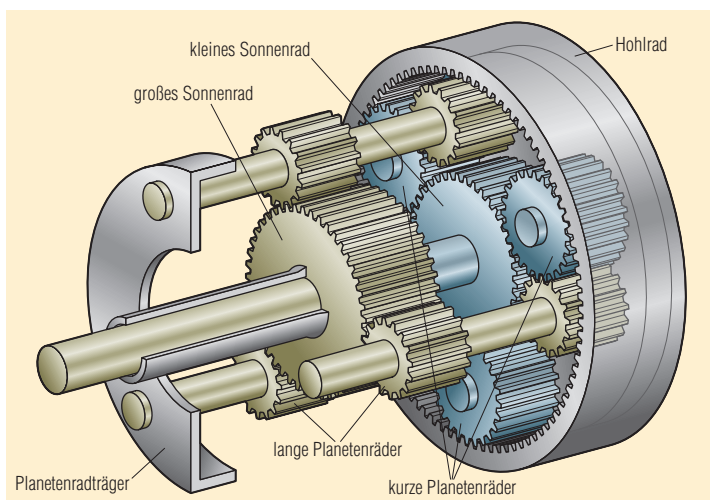


Bild 17.11 Ravigneaux-Getriebe.

17.4.3 Simpson-Getriebe

Das Simpson-Getriebe (Bild 17.12) ist eine Planetengetriebekonstruktion aus der Zeit der Dreigang-Automatikgetriebe, da es maximal drei Vorwärtsgänge in sinnvoller Abstufung erlaubt.

Es besteht aus zwei Planetenradsätzen mit gemeinsamem Sonnenrad. Außerdem sind der Planetenträger des einen Planetenradsatzes, das Hohlrad des anderen Planetenradsatzes und die Abtriebswelle fest miteinander verbunden.

In den Vorwärtsgängen des Getriebes erfolgen Antrieb und Abtrieb jeweils über die großen Hohlräder. Das Simpson-Getriebe kann daher bei schlanker Bauform ein hohes Drehmoment übertragen. Ein weiterer Vorteil des Simpson-Getriebes ist sein einfacher Aufbau. Denn das gemeinsame Sonnenrad, alle Planetenräder und die beiden Hohlräder besitzen die gleiche Zähnezahl.

17.4.4 Wilson-Getriebe

Das Wilson-Getriebe (Bild 17.13) besteht aus drei Planetenradsätzen. Das erste Hohlrad, der zweite Planetenträger und das dritte Hohlrad

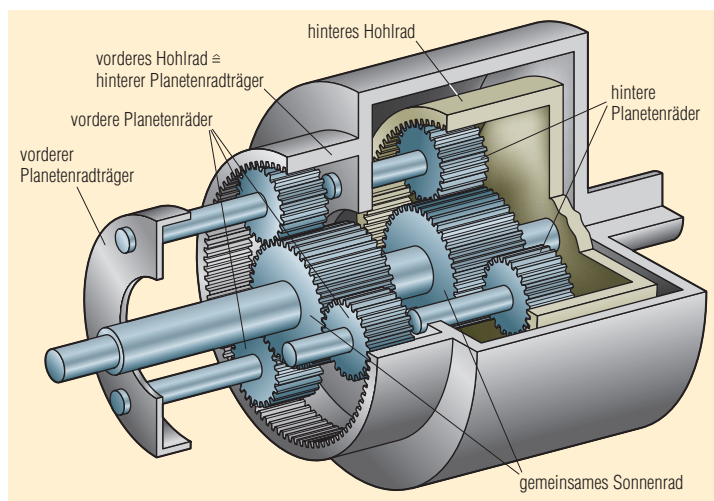


Bild 17.12 Simpson-Getriebe.

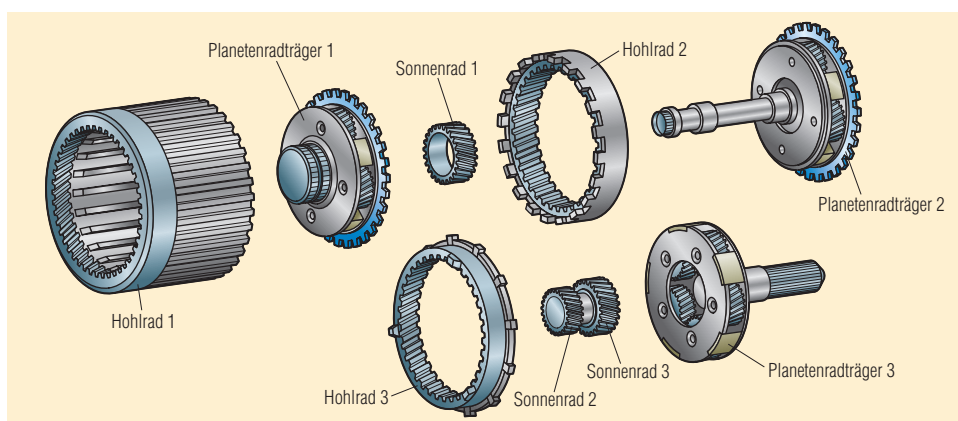


Bild 17.13 Wilson-Getriebe.

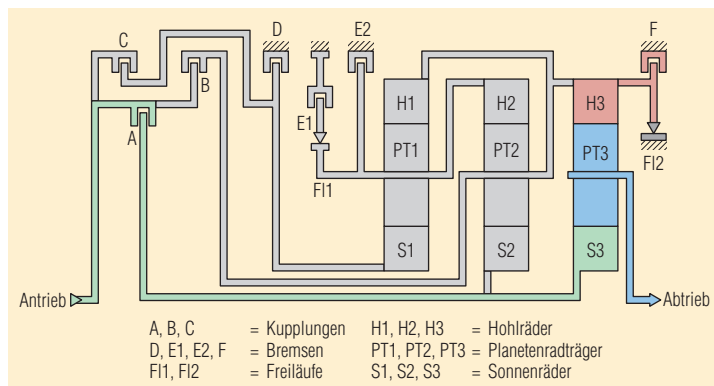


Bild 17.14 Wilson-Getriebe, 1. Gang.

sind fest miteinander zum so genannten Topf verbunden. Außerdem sind das zweite und dritte Sonnenrad fest miteinander verbunden. Der Antrieb in den Vorwärtsgängen erfolgt über dieses Doppelsonnenrad. Der Abtrieb erfolgt immer über den dritten Planetenträger.

In Bild 17.14 ist der Kraftfluss im 1. Gang eines Wilson-Getriebes dargestellt. In Getriebe-Kraftfluss-Diagrammen wird wegen der Übersichtlichkeit immer nur die obere Hälfte des Getriebes gezeichnet.

In Tabelle 17.2 ist die Schaltlogik der Schaltglieder eines Wilson-Getriebes dargestellt, wie sie in den verschiedenen Gängen angesteuert werden. Man erkennt beispielsweise, dass hier das Notprogramm und der 4. Gang identisch sind. Im 1. Gang hängt es davon ab, welche Fahrstufe

gewählt wurde, ob Freilauf 1 oder Bremse F angesteuert werden.

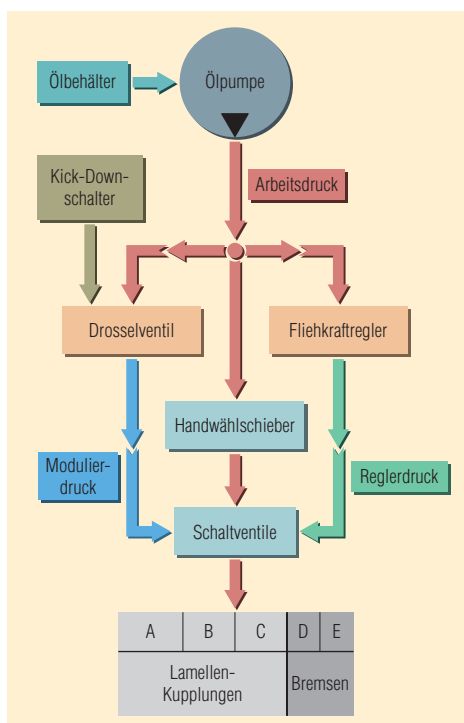
Das Wilson-Getriebe erlaubt vier oder fünf Vorwärtsgänge in sinnvoller Abstufung. Durch die Erweiterung dieses Satzes ist außerdem die Realisierung von 6-Gang-Getrieben möglich.

	Kupplungen			Bremsen			Freiläufe		
Fahrstufe, Gang	A	B	C	D	E 1	E 2	F	Fl 1	Fl 2
R			•				•		
N							•		
D, 1. Gang	•							•	
D, 2. Gang	•				•	•			•
D, 3. Gang	•			•	•				
D, 4. Gang	•	•			•				
D, 5. Gang		•		•	•				
2, 1. Gang	•						•		
Notprogramm	•	•			•				

Tabelle 17.2 Schaltlogik der Schaltglieder eines Wilson-Getriebes.

P: Parken
R: Rückwärtsgang
N: Neutral, Leerlauf
D: Drive, Fahrprogramme
3, 2, 1: Vorwärtsgänge stehen jeweils nur bis zur gewählten Zahl zur Verfügung.

17.5 Hydraulische Steuerung vollautomatischer Getriebe



Der Fahrer passt mit dem Wählhebel den automatischen Ablauf der Schaltung den verschiedenen Betriebsbedingungen an. Weiterhin ändert er durch die Stellung des Gaspedals die Drosselklappenstellung und damit die Motorlast und die Fahrgeschwindigkeit. Mithilfe der drei Parameter

- Wählhebelstellung (P, R, N, D, 3, 2, 1),
- Motorlast und
- Fahrgeschwindigkeit

bestimmt die Getriebesteuerung, welcher Gang einzulegen ist. Durch hydraulische Betätigung der **Schaltglieder** (Kupplungen, Bremsen und Freiläufe) werden diese Gangstufen dann geschaltet.

Schaltglieder
→ S. 357

Bild 17.15 Hydraulische Steuerung (Blockschaltbild).

17.5.1 Druckerzeugung

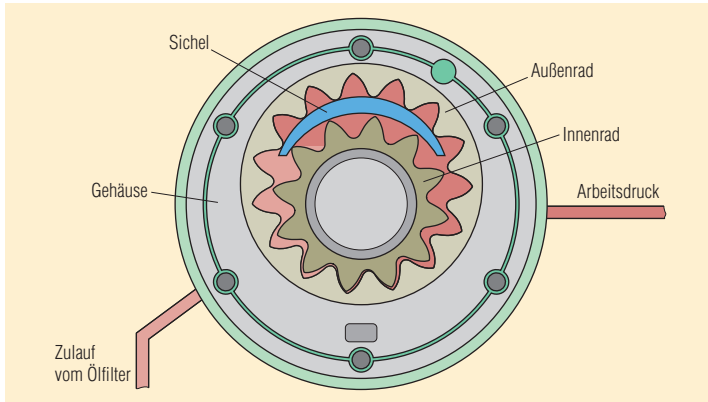


Bild 17.16 Ölpumpe.

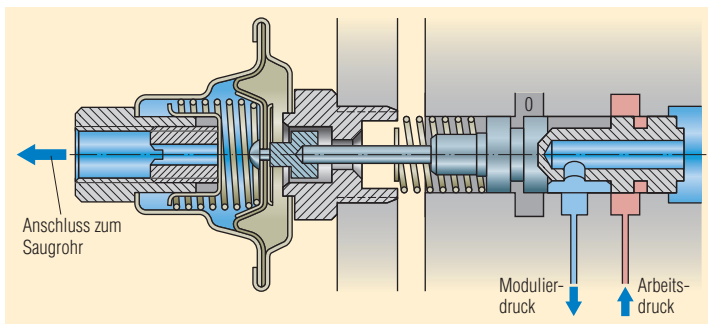


Bild 17.17 Modulierdruckgeber.

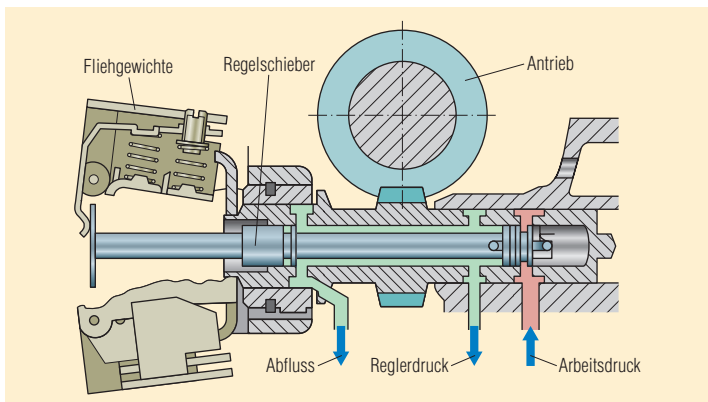


Bild 17.18 Fliehkraftregler.

Motorlast	niedrig ↓	hoch ↑
Unterdruck im Saugrohr	hoch ↑	niedrig ↓
Modulierdruck	niedrig ↓	hoch ↑
Tabelle 17.3 Modulierdruck in Abhängigkeit von der Motorlast.		

Ölpumpe. Ölpumpen in Automatikgetrieben sind überwiegend als Mondsichelpumpen ausgeführt (Bild 17.16). Die Ölpumpe befindet sich zwischen Drehmomentwandler und Planetengetriebe und wird über die Wandlernabe am Gehäuse des Drehmomentwandlers, also mit Motordrehzahl, angetrieben. Sie saugt Getriebeöl aus dem Ölvorrat in der Ölwanne an, das im Ölfilter von Verschmutzungen und Abrieb gereinigt wird. Bereits im Leerlauf des Motors liefert die Ölpumpe genügend Druck um alle nachgeschalteten hydraulischen Systeme mit einem ausreichenden Arbeitsdruck zu versorgen.

Arbeitsdruck. Der von der Ölpumpe erzeugte Arbeitsdruck dient zur Betätigung der Schaltglieder. Er wird mit zunehmender Motorlast erhöht, damit die Kupplungen und Bremsen das höhere Moment ohne Schlupf übertragen können.

Modulierdruck. Der Arbeitsdruck wird über ein Drosselventil zum Modulierdruck gedrosselt (Bild 17.17). Das Drosselventil wird vom Saugrohrdruck vor der Drosselklappe betätigt und regelt daher den Modulierdruck in Abhängigkeit von der Motorlast (Tabelle 17.3).

Reglerdruck. Der Arbeitsdruck wird über einen Fliehkraftregler zum Reglerdruck gedrosselt (Bild 17.18). Der Fliehkraftregler wird von der Getriebeabtriebswelle angetrieben und regelt daher den Reglerdruck in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit (Tabelle 17.4).

Kick-down-Druck. Wird das Gaspedal über einen spürbaren Druckpunkt hinaus durchgetreten, erhöht sich der Modulierdruck rasch (Kick-down-Druck), was ein schnelles Zurückschalten bewirkt. Dies erfolgt allerdings nur, wenn die Fahrgeschwindigkeit und daher der Reglerdruck nicht zu hoch sind. Diese Funktion ermöglicht dem Fahrer ein möglichst rasches Beschleunigen.

Fahrgeschwindigkeit	niedrig ↓	hoch ↑
Drehzahl Getriebeausgangswelle	niedrig ↓	hoch ↑
Reglerdruck	niedrig ↓	hoch ↑
Tabelle 17.4 Reglerdruck in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit.		

17.5.2 Schaltglieder

Als Schaltglieder werden alle Kupplungen, Bremsen und Freiläufe eines Planetengetriebes bezeichnet. Sie sind zum Schalten der Gänge des Getriebes erforderlich. Zur Verteilung des Drucks auf diese Schaltglieder werden die **Schaltventile** benötigt.

Bandbremse. Die Bandbremse wird zum Anhalten eines Getriebeteils des Planetenradsatzes verwendet. Sie besteht aus einem Bremsband, das um das Getriebeteil geschlungen ist und

einem oder zwei Hydraulikkolben, die das Bremsband spannen. Das Bremsband besteht aus einem Stahlband mit Reibbelag (Bild 17.19).

Der Vorteil der Bandbremse ist ihr einfacher Aufbau. Nachteilig sind die hohen radialen Kräfte, die beim Betätigen der Hydraulikkolben auf das Getriebegehäuse wirken. Aus diesem Grund werden in neueren Getriebekonstruktionen häufig Lamellenbremsen statt Bandbremsen eingesetzt.

Schaltventile
→ S. 359

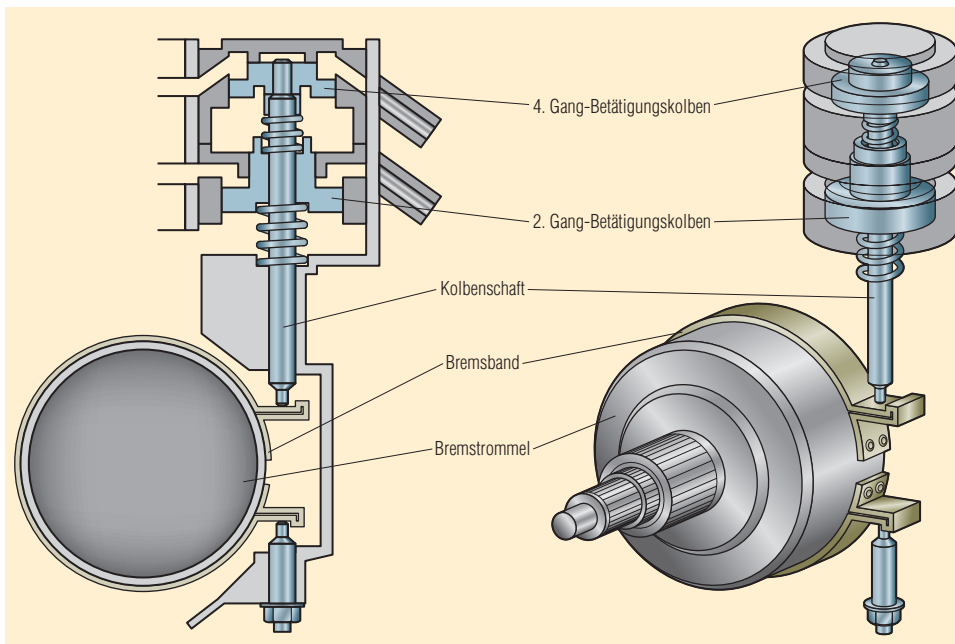


Bild 17.19 Bandbremse.

Lamellenkupplung bzw. -bremse.

Lamellenbremsen (Bild 17.20) werden zum Festhalten eines Getriebeteils des Planetenradsatzes verwendet. Sie bestehen aus Innenlamellen, die mit dem drehenden Getriebeteil verbunden sind, und fest stehenden Außenlamellen. Innen- und Außenlamellen greifen ineinander. Meist tragen die Innenlamellen auf dem Stahlträger den Reibbelag, während die Außenlamellen reine Stahllamellen sind. Bei Betätigung der Lamellenbremse drückt ein Hydraulikkolben das Lamellenpaket zusammen.

Die Lamellenkupplungen ähneln den Lamellenbremsen, jedoch sind sowohl die Innenlamellen als auch die Außenlamellen mit drehenden Teilen verbunden. Sie werden verwendet, um den steuerbaren Kraftfluss in einen Planetenradsatz

einzuleiten. Oder sie verbinden zwei Teile eines Planetenradsatzes miteinander und verblocken ihn dadurch.

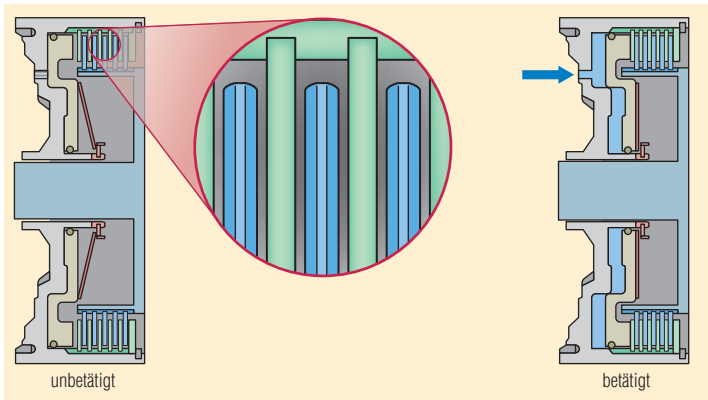


Bild 17.20 Lamellenbremse.

Aramid:
hochfester und
temperaturbestän-
diger Kunststoff.

Reibbeläge. Die Reibbeläge in Bandbremsen, Lamellenbremsen und Lamellenkupplungen besitzen ein Stützgerüst aus Cellulose. Die Temperaturfestigkeit der Reibbeläge wird durch die Beimischung von Aramidfasern erreicht. Als weitere Füllstoffe werden Mineralien zur Beeinflussung der Reibungszahl zugefügt. Das Ganze wird mit Phenolharz getränkt, das im ausgetrockneten Zustand den Reibbelag zusammenhält.

Freiläufe. Ein Freilauf übernimmt das Drehmoment in Sperrrichtung; in Freilaufrichtung dreht er hingegen lose durch. Im Kfz-Getriebebau werden meist Rollenfreiläufe und Klemmkörperfreiläufe verwendet (Bild 17.21).

Beim nicht angefederten Rollenfreilauf befinden sich Rollen in Spalten zwischen Innen- und Außenring. In Drehrichtung haben die Rollen Spiel und behindern die Drehung nicht. In Sperrrichtung

legen sich die Rollen in die enger werdenden Spalten und verbinden dadurch Innen- und Außenring. Um ein sicheres Sperren zu erleichtern, können die Rollen durch Federkraft in den Spalt gedrückt werden (angefederter Rollenfreilauf). Die Federkraft ist so gering bemessen, dass bei umgekehrter Drehrichtung der Freilauf nicht behindert wird.

Der Klemmkörperfreilauf ist aufwändiger gebaut als ein Rollenfreilauf. Mit ihm kann jedoch ein höheres Drehmoment bei gleicher Baugröße übertragen werden. Die hantelförmigen Klemmkörper zwischen Innen- und Außenring sind in einem Federkäfig gelagert. Durch die Federkraft liegen sie ständig an Innen- und Außenring an. In Freilaufrichtung werden die Klemmkörper gekippt und behindern den Freilauf nicht. In Sperrrichtung stellen sich die Klemmkörper auf und verbinden Innen- und Außenring kraftschlüssig.

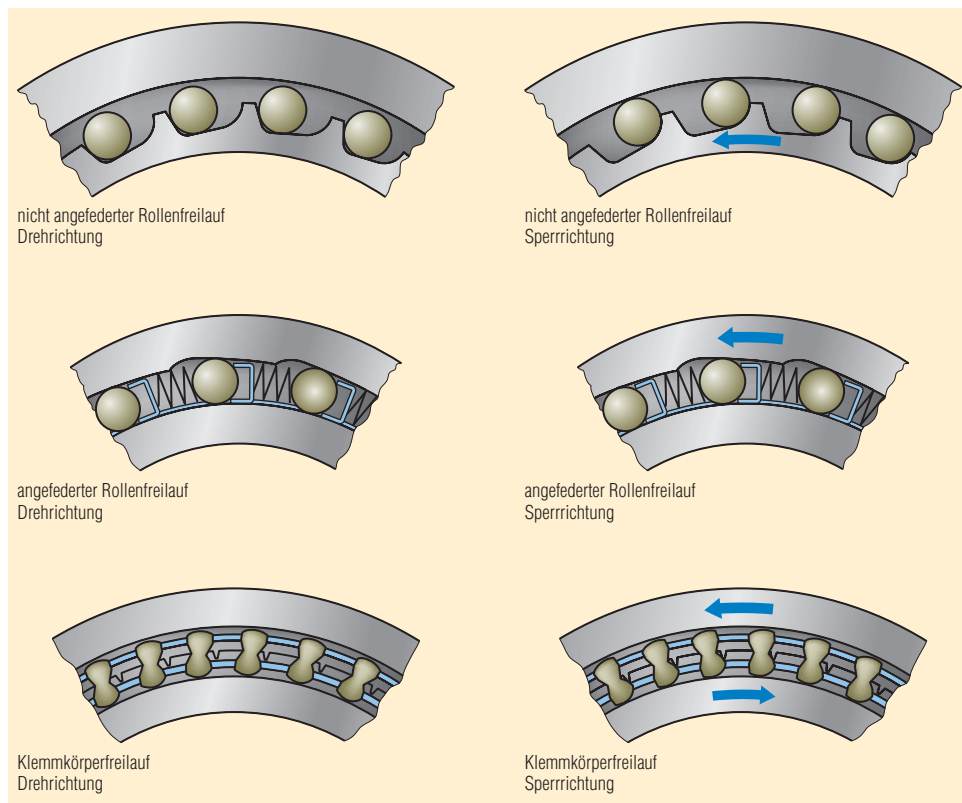


Bild 17.21 Freiläufe.

Schaltventile. Schaltventile im Automatikgetriebe dienen der Verteilung des Drucks auf die Schaltglieder. Sie besitzen in der Regel nur zwei Schaltstellungen, die durch einen oder zwei Steuerdrücke geschaltet werden (Bild 17.22). Steigt der Steuerdruck im Schaltventil in Bild 17.22 am Anschluss X, wird der Kolben nach rechts verschoben und der Druck vom Anschluss P zum Anschluss A durchgeschaltet. Steigt der Druck am Anschluss Y, wird der Durchgang wieder gesperrt. Wird am Anschluss A ein Schaltglied angesteuert, kann dieses über die beiden Steuerdrücke betätigt und gelöst werden.

17.5.3 Funktionsweise

Reglerdruck und Modulierdruck wirken in den Schaltventilen zur Ansteuerung der Schaltglieder (Kupplungen und Bremsen) gegeneinander (Bild 17.23). Sie bewirken das Durchschalten des Arbeitsdrucks zu den Schaltgliedern beim Hochschalten bzw. Zurückschalten (Tabelle 17.5, S. 360).

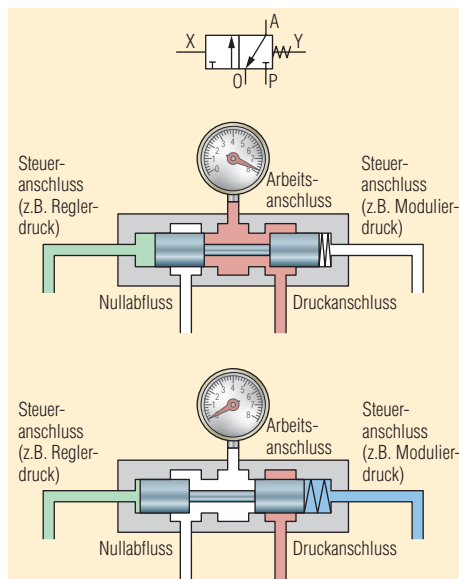


Bild 17.22 Schaltventil.

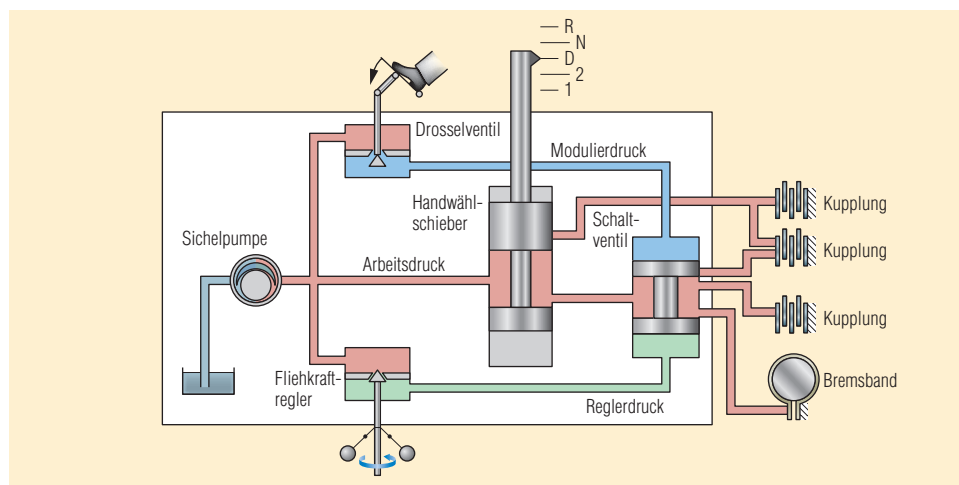


Bild 17.23 Prinzipielle Funktionsweise der hydraulischen Getriebesteuerung (vereinfacht).

Beim Anfahren ist der Reglerdruck niedrig, der Modulierdruck hingegen steigt durch die Betätigung der Drosselklappe. Ein Schaltventil schaltet den Arbeitsdruck zu den Schaltgliedern für den 1. Gang durch.

Weil die Fahrzeuggeschwindigkeit beim Beschleunigen zunimmt, steigt der Reglerdruck an, der auf der anderen Seite des Schaltventils anliegt. Beim Überschreiten eines bestimmten Wertes führt dies zur Verschiebung des Schaltventils und zum Hochschalten in den 2. Gang.

Wird das Fahrzeug wieder langsamer ohne das Gaspedal zurückzunehmen (bergauf fahren), sinkt der Reglerdruck, der Modulierdruck bleibt aber gleich. Das Schaltventil wird wieder zurückgeschoben und es wird zurückgeschaltet.

Will der Fahrer stark beschleunigen, möchte er, dass zurückgeschaltet wird. Dies kann er durch volles Durchtreten des Gaspedals erreichen (Kick-down). Dadurch steigt der Modulierdruck stark an und verschiebt das Schaltventil so, dass

zurückgeschaltet wird. Ist aber die Fahrgeschwindigkeit und damit der Reglerdruck schon sehr hoch, kann der Modulierdruck das Schaltventil nicht verschieben, das Zurückschalten wird verhindert.

Modulierdruck	von der Motorlast abhängig	steigt bei höherer Motorlast	sorgt für das Zurückschalten
Reglerdruck	von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängig	steigt bei höherer Fahrzeuggeschwindigkeit	sorgt für das Hochschalten
Tabelle 17.5	Steuerdrücke der hydraulischen Getriebesteuerung.		

17.6 Elektro-hydraulische Getriebesteuerung vollautomatischer Getriebe

Weil die Schaltvorgänge im Automatikgetriebe sehr komplex sind, ist die Steuerung der Schaltvorgänge durch elektronische Bauelemente sinnvoll. Die Anzahl der Hydraulikbauelemente konnte dadurch auf ungefähr die Hälfte verringert werden.

Die so entstandene elektro-hydraulische Getriebesteuerung besteht aus einem hydraulischen Schaltgerät (HSG) und einer elektronischen Getriebesteuerung (EGS, Bild 17.24). Die Hydraulik dient dazu, die Befehle der Elektronik in die erforderlichen hydraulischen Größen umzusetzen. Dazu werden elektro-hydraulische Ventile benötigt.

adaptiv:
angepasst

Die elektronische Getriebesteuerung (EGS) bietet eine Reihe von Vorteilen:

- Es ist ohne großen Zusatzaufwand möglich, viele verschiedene Einflussgrößen zu verarbeiten,
- die Steuerung der Hydraulik kann präziser erfolgen,
- die Auswirkungen von mechanischem Verschleiß der Reibbeläge können durch eine adaptive Drucksteuerung ausgeglichen werden,
- die im Steuergerät abgelegten Schaltkennlinien können flexibler gestaltet werden,
- die Schaltvorgänge können durch Verschiebung der Schaltkennlinien auf die Fahrbedingungen und den Fahrstil eingestellt werden,
- Fehlbedienungen durch den Fahrer können leichter verhindert werden,
- die Elektronik kann auftretende Fehler in gewissem Umfang umgehen und so die Betriebsbereitschaft des Fahrzeugs sicherstellen (Notlauf),
- aufgetretene Fehler können im Fehlerspeicher für den Service festgehalten werden.

Die Schaltlogik wird von einem Mikrocomputer berechnet. Er steuert mittels Magnetventilen die Drücke und Schaltventile im hydraulischen Schaltgerät.

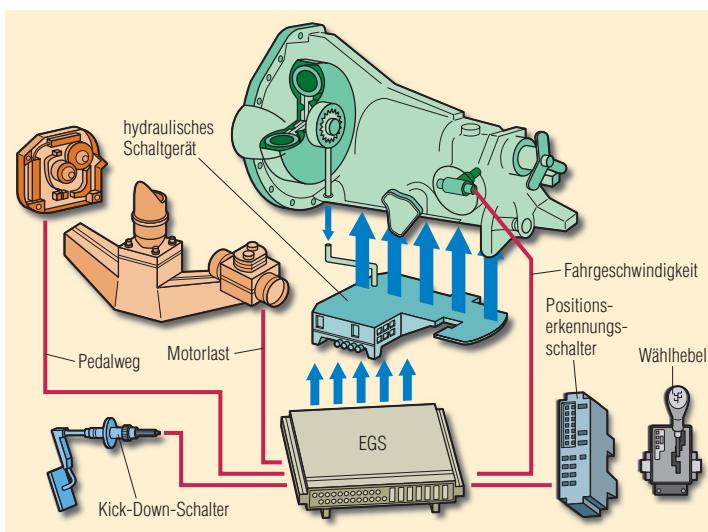


Bild 17.24 Grundaufbau der elektro-hydraulischen Getriebesteuerung.

Eingangssignale	abgespeicherte Daten
<p>motorseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motordrehzahl • Motorlast (Motormoment aus der Einspritzzeit) • Drosselklappen- bzw. Gaspedalstellung • Motortemperatur <p>getriebeseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Turbinendrehzahl • Abtriebsdrehzahl • Getriebetemperatur <p>fahrzeugseitig:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wählhebelstellung (P, R, N, D, 3, 2, 1) • Programmschalterstellung (Economy, Sport, Winter, Manuell) • Kick-down-Schalter • Bremslicht • Raddrehzahl • Anti-Schlupf-Regelung aktiv 	<p>Schaltkennlinien für die einzulegenden Gänge und die Wandlerüberbrückungskupplung</p> <p>Parameter für die Schaltqualitätsabstimmung (Druck für die Ansteuerung der Stellglieder, Motoreingriff, Zeitstufen)</p> <p>Kennfelder zur Anpassung des Motormoments</p> <p>Regelparameter für die Schlupfregelung der Wandlerüberbrückungskupplung</p> <p>Diagnoseparameter</p>
Ausgangssignale	
<p>Schaltung der Gänge und der Wandlerüberbrückungskupplung zum richtigen Zeitpunkt durch Ansteuerung der elektrischen Ventile (Schalt- und Regelmagnetventile) im hydraulischen Schaltgerät.</p> <p>Reduzierung des Motormoments beim Schalten durch Spätverstellung des Zündzeitpunkts. Dadurch wird ein Schalten ohne Schaltruck erreicht und die Schaltglieder werden geschont.</p> <p>Aktivierung des Inter Lock. Dadurch wird erreicht, dass sich der Zündschlüssel nur aus dem Zündschloss ziehen lässt, wenn der Wählhebel in Stellung P steht.</p> <p>Aktivierung des Shift Lock (Wählhebelsperre) gegen Fehlbedienung des Wählhebels, wie z. B.: Die P/R-Sperre verhindert das Einlegen der Parksperre oder des Rückwärtsgangs während der Fahrt. Das Einlegen einer Fahrstufe oder des Rückwärtsgangs aus der Stellung P oder N bei stehendem Fahrzeug ist nur möglich, wenn gleichzeitig die Betriebsbremse gedrückt wird, damit sich das Fahrzeug nicht sofort nach Einlegen der Wählhebelposition in Bewegung setzt.</p> <p>Aktivierung der Anlasssperre. Der Motor kann nur in der Wählhebelstellung P oder N gestartet werden.</p> <p>Abschalten des Klimakompressors bei betätigtem Kick-down-Schalter und Rückschaltung zur Leistungsanhebung beim Beschleunigen.</p> <p>Aktivierung der Rückschaltsicherung: Dadurch wird ein Überdrehen des Motors beim Zurückschalten verhindert. Dabei wird die Schaltung verzögert, bis die Motordrehzahl unter einer Maximaldrehzahl liegt.</p> <p>Anzeige der Wählhebelposition, des Programms und des eingelegten Gangs im Display.</p>	
Tabelle 17.6	Signalverarbeitung im elektronischen Getriebesteuergerät.

Programmschalterstellung. In der Stellung „Economy“ wird bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten geschaltet um einen optimalen Kraftstoffverbrauch zu erreichen. In der Stellung „Sport“ liegen die Schaltpunkte deutlich höher um eine maximale Fahrleistung zu erhalten. In der Stellung „Winter“ erfolgt das Anfahren in einem höheren Gang um ein Durchdrehen der Räder zu verhindern. In der Stellung „Manuell“ kann

der Fahrer durch Antippen des Wählhebels um jeweils einen Gang hochschalten (+) oder herunterschalten (–).

Getriebeöltemperatur. Bei zu hoher Temperatur des Getriebeöls werden die Schaltzeitpunkte zu höheren Motordrehzahlen verschoben. Dadurch verringert sich der Wandlerschlupf, sodass das Getriebeöl abkühlen kann.

Motortemperatur. Damit sich der Motor im kalten Zustand schneller erwärmt, wird zunächst erst bei höheren Drehzahlen geschaltet. Dadurch heizt sich auch der Katalysator schneller auf.

Kick-down. Bei Betätigung des Kick-down-Schalters schaltet das Getriebe unter Beachtung der Motorhöchstdrehzahl um ein oder zwei Gänge herunter um eine gute Beschleunigung zu gewährleisten.

Bergfahrt. Die Schaltpunkte werden der Steigung bzw. dem Gefälle angepasst (späteres Hochschalten), sodass nicht zu häufig geschaltet wird und die Motorbremswirkung genutzt wird.

Fahrertyp bzw. Fahrweise. Aus der Geschwindigkeit, mit der das Gaspedal betätigt wird, erkennt die Steuerung den eher sportlichen (schnelles Durchtreten) oder ökonomischen (langsames Durchtreten) Fahrer. Beim Start beginnt die Fahrt mit einer ökonomischen Kennlinie, welche durch rasches Gasgeben und -wegnehmen durch eine immer sportlichere Kennlinie ersetzt wird. Bei ruhigerer Fahrweise wird wieder zu einer ökonomischen Kennlinie gewechselt.

Kurvenfahrt. Bei Kurvenfahrt erfolgt eine Meldung des Fahrwerkssystems an die EGS, damit Schaltvorgänge unterdrückt werden. Dadurch werden Lastwechselreaktionen in Kurven vermieden.

Fast-off. Bei schneller Rücknahme des Gaspedals (z. B. bei abgebrochenen Überholvorgängen) wird die Hochschaltung verhindert um die Motorbremswirkung besser auszunutzen.

Die Abstimmung der Schaltzeitpunkte ist ein Kompromiss zwischen Komfort, angenehmem Fahrverhalten, Beschleunigungsfähigkeit, geringem Kraftstoffverbrauch und geringen Geräusch- und Abgaswerten.

Überschneidungssteuerung (Bild 17.27). Beim Gangwechsel wird ein Schaltglied geöffnet und ein anderes geschlossen. Dies geschieht jedoch nicht schlagartig; vielmehr durchlaufen die Schaltglieder einen schlupfenden Bereich. Das übertragene Drehmoment des öffnenden Schaltglieds sinkt und das des schließenden Schaltglieds steigt. Der neue Gang greift in dem Augenblick, wo das Drehmoment am zuschaltenden Schaltglied höher ist als jenes des abschaltenden Schaltglieds. Dies wird als Überschneidung bezeichnet.

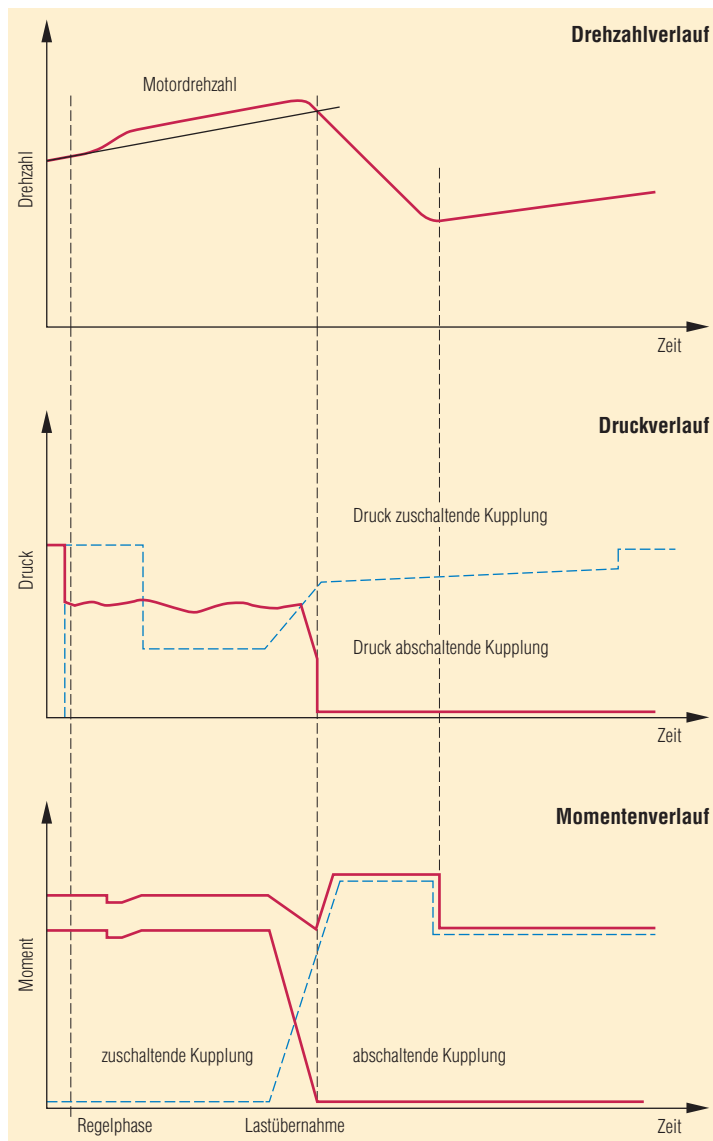


Bild 17.27 Überschneidungssteuerung.

Bei einer korrekten Überschneidung (Nullüberschneidung) übernimmt das zuschaltende Schaltglied so viel Drehmoment, wie das abschaltende abgibt. Insgesamt bleibt das Drehmoment erhalten. Die korrekte Überschneidung ist Voraussetzung für einen hohen Schaltkomfort und für eine möglichst lange Lebensdauer der Reibbeläge.

Bei der Überschneidungssteuerung wird die Überschneidung von der EGS gesteuert. Ziel ist dabei eine sichere und komfortable Lastübernahme und eine stoßfreie Schaltung. Dies wird durch Anpassung des Drucks in den Schaltgliedern erreicht.

17.7 Stufenlose Getriebe

Stufensprung:

Das Verhältnis der Übersetzungen von zwei benachbarten Gängen.

CVT =

Continuously Variable Transmission (kontinuierlich-variable Übersetzung)

Sowohl im manuell geschalteten als auch im vollautomatischen Getriebe gibt es Stufensprünge zwischen den einzelnen Gängen. Da das Motordrehmoment aber kontinuierlich zu- und abnimmt, ist ein gestuftes Getriebe immer nur ein Kompromiss. Ideal ist ein stufenloses Getriebe, auch CVT-Getriebe genannt. Hier kann das Übersetzungsverhältnis kontinuierlich so eingestellt werden, dass das Motordrehmoment optimal ausgenutzt wird (Bild 17.28).

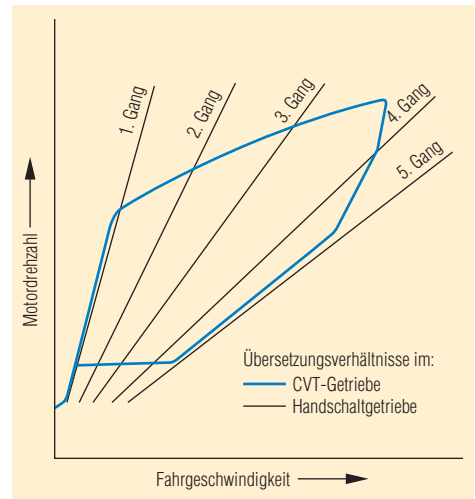


Bild 17.28 Stufenloses Getriebe im Vergleich zum Schaltgetriebe.

17.7.1 Stufenloses Getriebe mit Stahl Schubgliederband

Bei diesem stufenlosen Getriebe (Bild 17.29) erfolgt die Kraftübertragung über ein Stahl Schubgliederband (Bild 17.30). Die Stahlglieder werden von Metallbändern lediglich geführt und nicht auf Zug, sondern auf Druck beansprucht.

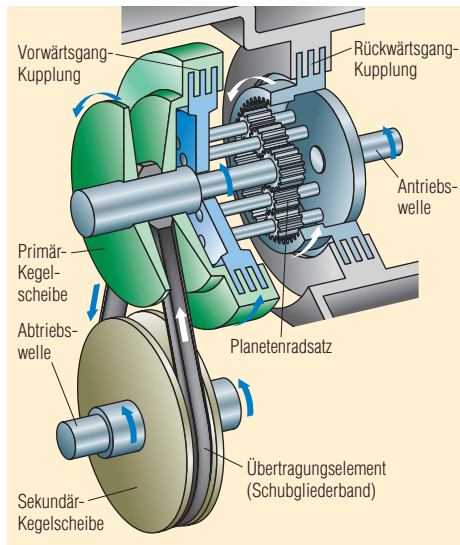


Bild 17.29 Stufenloses Getriebe mit Stahl Schubgliederband.

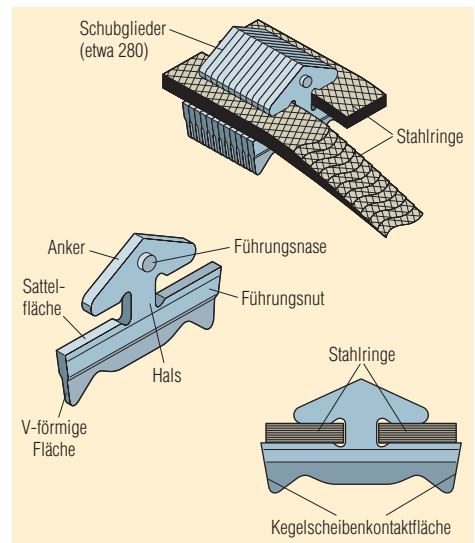


Bild 17.30 Stahl Schubgliederband.

Das Gliederband läuft zwischen zwei Kegelscheibenpaaren (Primär- und Sekundär-Kegelscheibe). Ein Planetenradsatz treibt die Primär-Kegelscheibe an, wenn die Vorwärts- oder Rückwärtsgangkupplung geschaltet ist. Das Gliederband überträgt die Kraft von der Primär- auf die Sekundär-Kegelscheibe.

Primär- und Sekundär-Kegelscheibe sind geteilt. Wird eine Scheibenhälfte axial verschoben, ändert sich der Lauflächendurchmesser der betreffenden Kegelscheibe. Werden sowohl an der Primär- als auch an der Sekundär-Kegelscheibe je eine diagonal gegenüberliegende Scheibenhälfte verschoben, ändert sich das Übersetzungsverhältnis zwischen den beiden Kegelscheiben stufenlos (Bild 17.31).

Die Scheibenhälften werden durch Öldruck verschoben, der durch eine elektro-hydraulische Steuerung angepasst wird. Dadurch wird der Anpressdruck des Gliederbands auf die Kegelscheiben abhängig vom zu übertragenden Drehmoment so eingestellt, dass einerseits ein Durchrutschen vermieden wird und andererseits nicht zu viel Reibung entsteht.

Je nach Stellung des Wählhebels sind beide Kupplungen gelöst (Stellungen N und P), die Rückwärtsgangkupplung (Stellung R) oder die Vorwärtsgangkupplung (Stellung D) geschaltet.

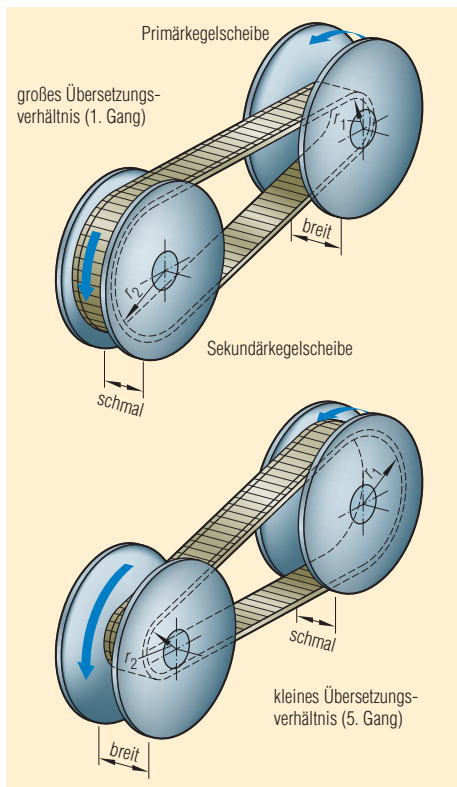


Bild 17.31 Stufenlose Übersetzung.

17.7.2 Stufenloses Getriebe mit Zugkette

Auch dieses Getriebe erreicht die stufenlose Übersetzung durch zwei Kegelscheibenpaare. Allerdings erfolgt hier die Drehmomentübertragung mittels einer Zugkette (Bild 17.32).

Die Kette besteht aus nebeneinander liegenden Kettenlaschen, die durch je zwei Wiegedruckstücke endlos verbunden sind. Die Wiegedruckstücke liegen an den Kegelscheiben an und übertragen das Drehmoment auf die Laschen. Ein Wiegedruckstück ist mit jeweils einer Laschenreihe drehfest verbunden, zwei Wiegedruckstücke bilden ein Wiegegelenk. Beim Umschlingen der Kette im Kegelscheibenpaar wälzen sich die Wiegedruckstücke eines Wiegegelenks aneinander ab und können dadurch fast reibungslos abrollen.

Diese Kette ermöglicht kleinere Laufradien als das Schubgliederband und somit einen größeren Spreizungsbereich des Getriebes trotz geringerer Baugröße. Durch die geringe Reibung ergibt sich ein größerer Wirkungsgrad und es können größere Drehmomente übertragen werden.

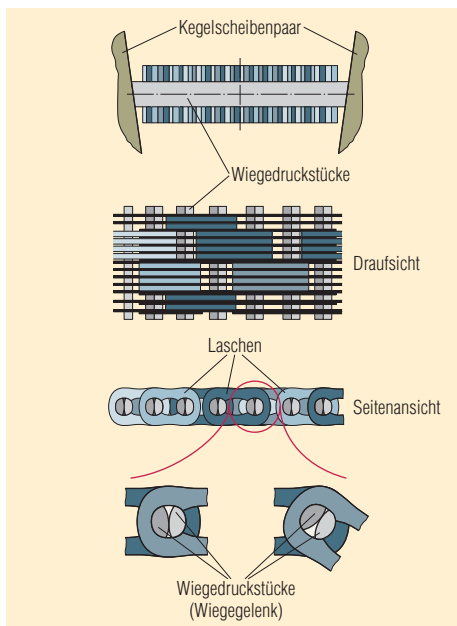


Bild 17.32 Zugkettenaufbau für stufenlose Getriebe.

Spreizung:

Übersetzungs-
bereich eines Getrie-
bes von der kleins-
ten bis zur größten
Übersetzung.

Zur Geräuschminimierung werden unterschiedlich lange Kettenlaschen verwendet, damit die Wiedruckstücke nicht immer in gleichen

Abständen auf die Kegelscheiben treffen. Dadurch wird die Resonanz gestört und somit die Laufruhe verbessert.

17.8 Doppelkupplungsgetriebe

Manuelle Schaltgetriebe und vollautomatische Getriebe haben jeweils ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Vollautomatische Getriebe bieten einen größtmöglichen Komfort beim Schalten, da es im Idealfall zu keiner spürbaren Zugkraftunterbrechung kommt. Manuelle Schaltgetriebe hingegen zeichnen sich durch ihren hohen Wirkungsgrad und den damit verbundenen geringeren Kraftstoffverbrauch aus. Automatisierte Schaltgetriebe (ASG) automatisieren zwar den Schaltablauf und erhöhen dadurch den Fahrkomfort. Die Zugkraftunterbrechung lässt sich aber nicht vermeiden. Da sie außerdem automatisch erfolgt, wird der Fahrer von ihr gewissermaßen überrascht und empfindet sie umso mehr als störend.

Aufbau. Das Doppelkupplungsgetriebe vereint die Vorteile der genannten Getriebearten. Es ist ein automatisiertes Schaltgetriebe mit zwei Kupplungen (Bild 17.33). Jeder dieser Kupplungen ist ein unabhängiges Teilgetriebe zugeordnet. Die beiden Teilgetriebe verfügen über je eine eigene Antriebswelle, von denen eine als Hohlwelle ausgeführt ist, sie nutzen aber einen gemeinsamen Getriebeausgang zum Ausgleichsgetriebe. Hierbei werden über das eine Teilgetriebe alle geraden Gänge und über das andere Teilgetriebe alle ungeraden Gänge geschaltet. Jedem Gang ist eine konventionelle Synchronisierungs- und Schalteinheit eines manuellen Schaltgetriebes zugeordnet. Die Kupplungen können als trockenlaufende oder als nasslaufende Doppelkupplung ausgeführt sein.

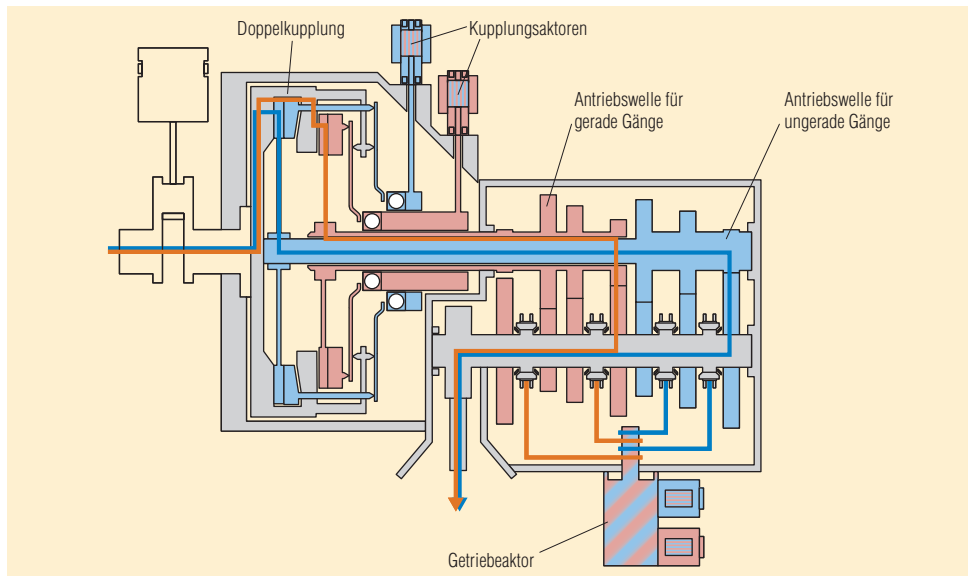


Bild 17.33 Prinzipdarstellung des Doppelkupplungsgetriebes mit trockenlaufender Doppelkupplung.

Funktionsprinzip. Grundsätzlich ist in jedem Teilgetriebe gleichzeitig ein Gang geschaltet. Dabei ist ein Teilgetriebe kraftschlüssig, d.h. die zugehörige Kupplung ist eingekuppelt. Im anderen Teilgetriebe ist währenddessen der benachbarte Gang von der Getriebesteuerung schon ausgewählt, aber noch ausgekuppelt. Beim Schaltvorgang wird eine Kupplung geöffnet, die andere geschlossen, der Gangwechsel erfolgt mithilfe einer Überschneidungssteuerung wie beim Vollautomaten ohne Zugkraftunterbrechung (Bild 17.34).

Das Getriebe kann im vollautomatischen Modus gefahren oder manuell über Schaltwippe bzw. Schalthebel angesteuert werden. Im vollautomatischen Modus entscheidet die Steuerelektronik anhand von Parametern wie Fahrgeschwindigkeit, Motordrehzahl, derzeit gewählter Gangstufe und evtl. gewähltem Schaltprogramm (z. B. Sportmodus) über die auszuführenden Schaltvorgänge.

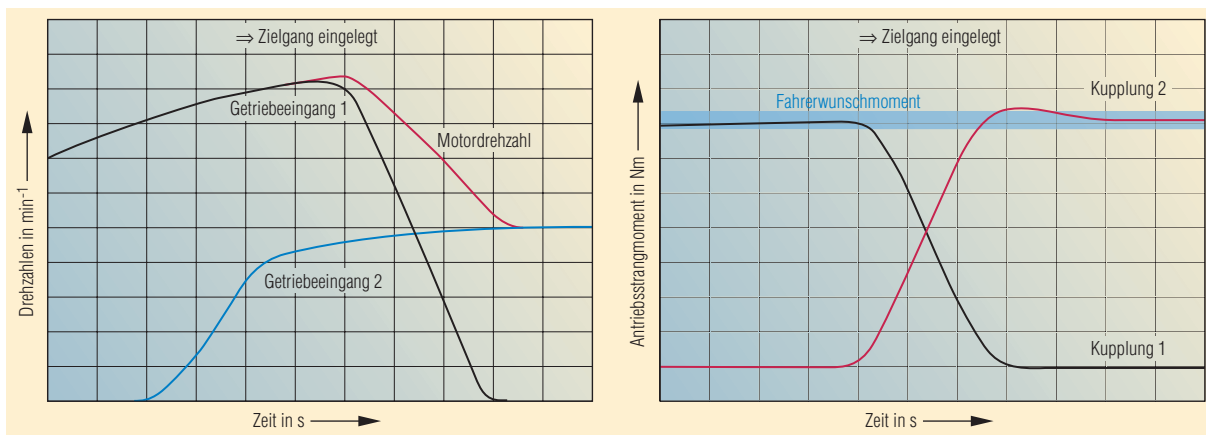


Bild 17.34 Drehmomentübergabe beim Doppelkupplungsgetriebe.

Arbeitsaufträge

1. Welche Gründe sprechen für die Verwendung eines automatisierten Schaltgetriebes (ASG) anstatt eines vollautomatischen Getriebes? Warum werden aus Komfortgründen in hochpreisigen Limousinen trotzdem überwiegend Vollautomaten eingebaut?
2. Erklären Sie den prinzipiellen Unterschied zwischen hydrodynamischer Kupplung und hydrodynamischem Drehmomentwandler.
3. Welche Phasen durchläuft der hydrodynamische Drehmomentwandler während der Beschleunigung?
4. Welche Bedeutung hat der Kupplungspunkt für die Wandlerüberbrückungskupplung?
5. Warum werden in der Praxis nur drei Übersetzungsmöglichkeiten des einfachen Planetenradsatzes genutzt und wie erreicht man trotzdem Automatikgetriebe mit einer höheren Zahl von Übersetzungsstufen?
6. Welche Arten von Planetenradsätzen kommen in den vollautomatischen Getrieben der von Ihnen reparierten Fahrzeuge vor? Schlagen Sie in der Werkstattliteratur nach.
7. Welche Schaltglieder werden beim Rückschalten vom 4. Gang in den 3. Gang des Wilson-Getriebes nach Tabelle 17.2 zu- bzw. abgeschaltet? Suchen Sie in Ihrer Werkstattliteratur eine ähnliche Tabelle wie Tabelle 17.2 und werten Sie diese ebenso aus.
8. Wie beeinflussen Modulierdruck und Reglerdruck die Schaltvorgänge in einer hydraulischen Getriebesteuerung?
9. Welche zusätzlichen Parameter können bei einer elektro-hydraulischen Getriebesteuerung im Gegensatz zu einer rein hydraulischen Steuerung berücksichtigt werden? Welche dieser Funktionen werden in Ihnen bekannten Fahrzeugen realisiert? Nutzen Sie Handbücher und Prospekte.
10. Welche Ventile im hydraulischen Schaltgerät einer elektro-hydraulischen Getriebesteuerung werden von der EGS angesteuert und welche Aufgabe haben sie?
11. Weshalb ist ein Stufenlosgetriebe einem gestuften Getriebe prinzipiell überlegen? Befragen Sie in Ihrem Betrieb die Verkaufsabteilung, warum die Nachfrage nach Stufenlosgetrieben trotzdem nur gering ist.
12. Warum ist das Abschleppen eines Fahrzeugs mit Automatikgetriebe nur nach Maßgabe des Herstellers erlaubt?

18 Achs-, Ausgleichs- und Verteilergetriebe

Der Achsantrieb besteht aus zwei Getrieben, die häufig in einem Gehäuse untergebracht sind. Dies sind das Achsgetriebe und das Ausgleichsgetriebe, auch als Differenzial bezeichnet. Bei

Allradfahrzeugen wird zusätzlich ein Verteilergetriebe zur Verteilung des Drehmoments auf die Achsen benötigt.

18.1 Achsgetriebe

Das Achsgetriebe sitzt im Kraftfluss zwischen Wechselgetriebe und Ausgleichsgetriebe und hat dort folgende Aufgaben:

- bei Fahrzeugen mit längs eingebautem Motor muss der Kraftfluss um 90° umgelenkt werden,
- das vom Wechselgetriebe abgegebene Drehmoment wird auf das an den Antriebsrädern erforderliche Drehmoment erhöht,
- die vom Wechselgetriebe abgegebene Drehzahl wird auf die an den Antriebsrädern erforderliche Drehzahl herabgesetzt.

Diese Aufgaben werden von Kegelrad- und Stirnrad-Achsgetrieben übernommen.

18.1.1 Kegelrad-Achsgetriebe

Das Kegelrad-Achsgetriebe besteht aus Antriebskegelrad und Tellerrad. Sie können nicht versetzte oder versetzte Achsen (Hypoidantrieb) haben (Bild 18.1).

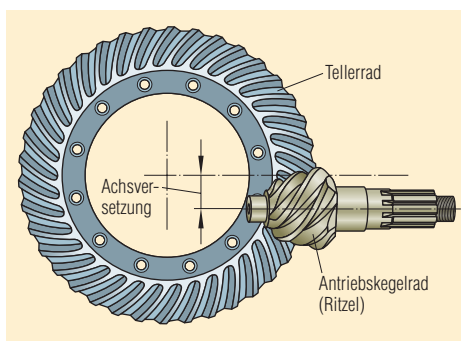


Bild 18.1 Hypoidantrieb.

Hypoidantrieb. Die achsversetzte Anordnung der Zahnräder beim Hypoidantrieb hat zur Folge, dass das Antriebskegelrad größer und das Tellerrad kleiner gebaut werden können. Gleichzeitig ist eine größere Anzahl von Zahnrädern gleichzeitig miteinander im Eingriff. Dadurch ergeben sich im Betrieb eine größere Laufruhe

und höhere Belastbarkeit bei kleineren Abmessungen. Das versetzte Antriebskegelrad ermöglicht außerdem bei Fahrzeugen mit Frontmotor und Heckantrieb eine tiefer liegende Längswelle. Dies gestattet einen flacheren Wellentunnel und einen tieferen Schwerpunkt des Fahrzeugs.

Allerdings erfordert der Hypoidantrieb wegen der größeren Zahnflankendrucke zwischen Antriebskegelrad und Tellerrad die Verwendung von besonders druckfestem Hypoidöl.

Verzahnungsarten. Es werden zwei Verzahnungsarten verwendet (Bild 18.2). Die Klingenberg-Verzahnung besitzt über die gesamte Zahnlänge die gleiche Zahnhöhe. Die Form der Zahnflanken wird durch eine Spirale gebildet, dadurch ist der Zahnrücken immer gleich breit. Bei der Gleasonverzahnung ist die Zahnhöhe am Außendurchmesser größer als am Innendurchmesser. Die Zahnflanken sind Teil eines Kreisbogens, wodurch die Zahnrücken von außen nach innen schmaler werden.

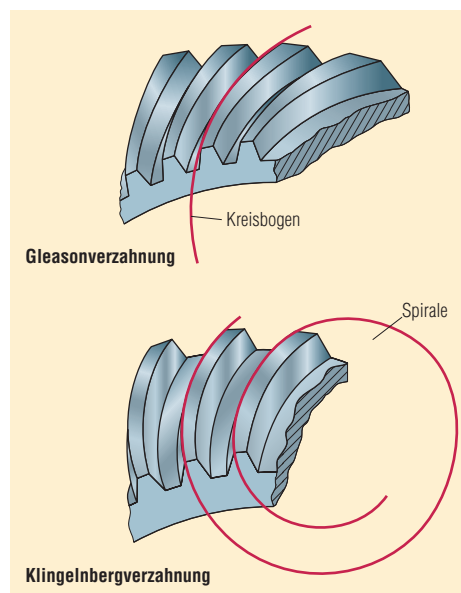


Bild 18.2 Verzahnungsarten.

Hypoid: von griech. hypo = unter, darunter

18.1.2 Stirnrad-Achsgetriebe

Fahrzeuge mit quer eingebautem Motor → Bild 16.11

Bei Fahrzeugen mit quer eingebautem Motor werden Stirnrad-Achsgetriebe mit schräg verzahnten Stirnrädern eingesetzt. Wechselgetriebe und Achsgetriebe sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Stirnrad-Achsgetriebe sind kostengünstiger in Herstellung und Wartung.

18.2 Ausgleichsgetriebe

Zum Ausgleich von Drehzahlunterschieden der Antriebsräder und zur Drehmomentverteilung auf diese werden Ausgleichsgetriebe (Differenziale) benötigt.

Querdifferenziale werden zwischen den Rädern einer Achse angeordnet. Längs- oder Mittendifferenziale sind bei allradgetriebenen Fahrzeugen zwischen Vorder- und Hinterachsen erforderlich.

Traktion:

Ermöglicht die Übertragung des Antriebsmoments vom Rad auf die Fahrbahn.

18.2.1 Aufgaben

Drehzahlausgleich. Bei Kurvenfahrt legen die kurvenäußeren Räder einen größeren Weg zurück als die kurveninneren. Auch bei unebener Fahrbahn kommt es zu Drehzahlunterschieden zwischen den Rädern. Was bei den nicht angetriebenen, frei mitlaufenden Rädern kein Problem darstellt, führt bei den Antriebsrädern zu Verspannungen des Antriebsstrangs. Das schneller drehende Rad rutscht bei einem starren Antrieb auf der Fahrbahn durch, was zu verminderter Bodenhaftung führt. Daher ist ein Ausgleich der Drehzahlunterschiede an den Antriebsrädern notwendig.

Drehmomentverteilung. Das Drehmoment muss so auf die Antriebsräder verteilt werden, dass eine möglichst gute Traktion erzielt wird. Im normalen Ausgleichsgetriebe ohne Ausgleichssperre erhalten beide Antriebsräder das gleiche Drehmoment, wobei die Größe dieses Drehmoments durch das Rad mit der geringeren Bodenhaftung bestimmt wird.

18.2.2 Kegelrad-Ausgleichsgetriebe

Aufbau. Das Tellerrad des Achsgetriebes ist mit dem Ausgleichsgehäuse (Differenzialkorb) verschraubt. Somit dreht sich das Ausgleichsgehäuse immer mit der gleichen Drehzahl wie das Tellerrad (Bild 18.3).

Die Achsen der Ausgleichskegelräder sind im Ausgleichsgehäuse gelagert und drehen sich ständig mit dem Gehäuse mit. Die Verzahnungen der Ausgleichsräder befinden sich mit den Verzahnungen der Achskegelräder in ständigem Eingriff und treiben diese an. An den Achskegelrädern sind die Achswellen befestigt.

Wirkungsweise. Bei Geradeausfahrt drehen beide Achskegelräder mit der gleichen Drehzahl wie das Tellerrad. Die Ausgleichskegelräder drehen sich daher nicht um sich selbst, kreisen aber mit dem Ausgleichsgehäuse mit Tellerrad-Drehzahl und treiben die Achskegelräder an.

Bei Kurvenfahrt müssen die beiden Achskegelräder unterschiedlich schnell drehen. Dies wird dadurch möglich, dass sie sich auf den Ausgleichskegelrädern abwälzen. Sie kreisen nun nicht mehr nur mit dem Gehäuse, sondern drehen sich zusätzlich. Das kurveninnere Rad dreht um den Betrag langsamer, um den das kurvenäußere schneller läuft (Tabelle 18.1).

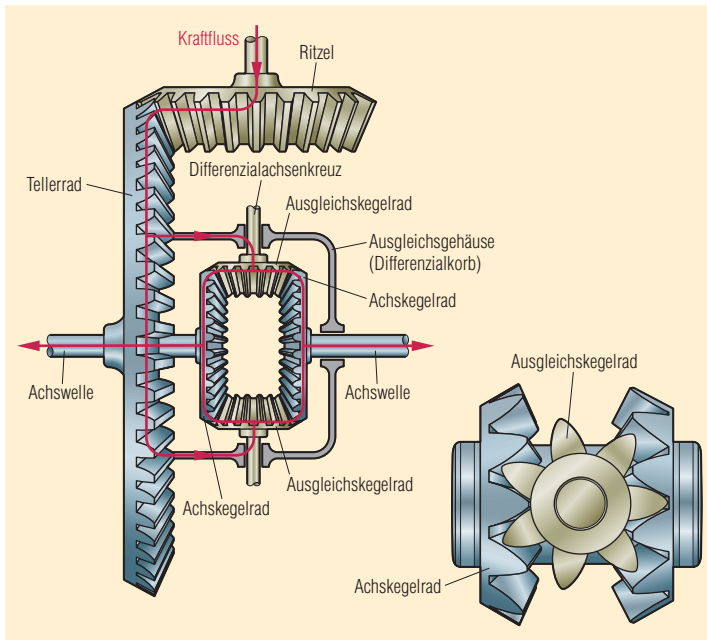


Bild 18.3 Kegelrad-Ausgleichsgetriebe: Aufbau und Kraftfluss.

	Tellerrad und Ausgleichsgehäuse	Linkes Achskegelrad	Rechtes Achskegelrad	Ausgleichskegelräder
Geradeausfahrt	100 min ⁻¹	100 min ⁻¹	100 min ⁻¹	stehen still
Linkskurve*	100 min ⁻¹	75 min ⁻¹	125 min ⁻¹	rotieren
Rechtskurve*	100 min ⁻¹	125 min ⁻¹	75 min ⁻¹	rotieren
Rechtes Rad dreht durch	100 min ⁻¹	0 min ⁻¹	200 min ⁻¹	rotieren

* Die Drehzahlen der Achskegelräder variieren in Abhängigkeit vom Kurvenradius.

Tabelle 18.1 Drehzahlverhältnisse in einem Ausgleichsgetriebe.

18.3 Ausgleichssperren

Bei Ausgleichsgetrieben ohne Ausgleichssperren übertragen beide Antriebsräder das gleiche Drehmoment. Steht ein Rad aber beispielsweise auf Eis, kann hier fast kein Drehmoment übertragen werden. Somit ist auch das Drehmoment am anderen Antriebsrad sehr gering. Dies führt dazu, dass das zweite Antriebsrad stillsteht, während das Rad, welches auf Eis steht, durchrutscht. Es findet kein Vortrieb mehr statt, da hierfür nicht genügend Vortriebskraft auf die Straße übertragen wird.

Ausgleichssperren ermöglichen daher einen Drehmomentunterschied an den Antriebsrädern um einen möglichst guten Vortrieb bei ungünstigen Fahrbahnbedingungen zu erhalten. Man unterscheidet schaltbare und selbsttätig schaltende Ausgleichssperren.

Sperrwert. Der Sperrwert S der Ausgleichssperre gibt an, wie viel Prozent Drehmomentunterschied zwischen den Antriebsrädern, bezogen auf das am Tellerrad anliegende Lastmoment, möglich ist.

$$\text{Sperrwert } S = \left(\frac{\text{Drehmomentunterschied}}{\text{Lastmoment}} \right) \cdot 100\%$$

Beispiel:

Lastmoment = 1200 Nm,

Drehmoment am Rad mit guter Bodenhaftung = 900 Nm,

Drehmoment am Rad mit schlechter Bodenhaftung = 300 Nm

$$S = \left(\frac{900 \text{ Nm} - 300 \text{ Nm}}{1200 \text{ Nm}} \right) \cdot 100\%$$

Sperrwert $S = 50\%$

18.3.1 Schaltbare Ausgleichssperren

Schaltbare Ausgleichssperren sind formschlüssige Sperren, die dafür sorgen, dass kein Drehzahlausgleich mehr zwischen den Antriebsrädern möglich ist. Dazu wird über eine Schiebemuffe eine Achswelle drehfest mit dem Ausgleichsgehäuse verbunden (Bild 18.4). Durch die Verblockung können sich die Ausgleichskegelräder nicht mehr auf den Achskegelrädern abwälzen.

Diese Ausgleichssperren haben einen Sperrwert von 100%. Selbst wenn an einem Rad wegen schlechter Bodenhaftung überhaupt kein Drehmoment übertragen werden kann, wird das gesamte am Tellerrad anliegende Lastmoment über das andere Rad übertragen. So ist es möglich, auch im unwegsamen Gelände ohne durchrutschende Antriebsräder voranzukommen. Sobald das Fahrzeug wieder auf normalem Untergrund fährt, muss die Ausgleichssperre gelöst werden, da sonst Verspannungen im Antriebsstrang auftreten.

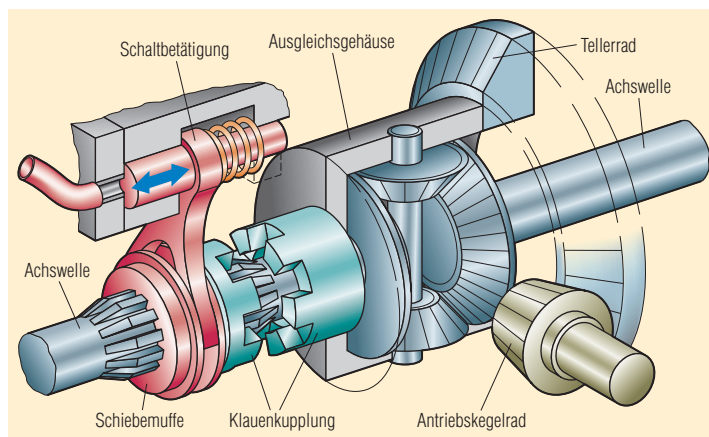


Bild 18.4 Differenzialsperre.

18.3.2 Selbsttätig schaltende Ausgleichssperren

Quersperre:

Anordnung der Ausgleichssperre zwischen den Rädern einer Achse.

Längssperre:

Anordnung der Ausgleichssperre zwischen Vorder- und Hinterachse.

Selbsttätig schaltende Ausgleichssperren sind kraftschlüssig arbeitende Sperren, die durch begrenzten Schlupf Sperrwerte kleiner als 100 % ermöglichen. Da sie sich je nach Fahrsituation automatisch zu- und abschalten, besteht die Gefahr von Verspannungen im Antriebsstrang und des daraus resultierenden Fahrverhaltens nicht mehr. Sie werden bei zweiradgetriebenen Fahrzeugen als Quersperre und bei Allradantrieben als Längssperre eingesetzt.

Man unterscheidet:

- Ausgleichssperre mit Reibkupplung,
- Visco-Kupplung,
- Torsen-Differenzial,
- automatisches Sperrdifferenzial (ASD),
- elektronische Differenzialsperre (EDS),
- Haldex-Kupplung.

Ausgleichssperre mit Reibkupplung (Bild 18.5). Im Aufbau ähnelt sie einem herkömmlichen Ausgleichsgetriebe. Die Achsen der Ausgleichskegelräder sind aber nicht direkt im Ausgleichsgehäuse gelagert, sondern werden durch Keilflächen in zwei Druckringen geführt. Die Druckringe sind

über Mitnehmer axial verschiebbar, aber drehfest im Ausgleichsgehäuse gelagert. Zwischen ihren Stirnflächen und dem Ausgleichsgehäuse sind zwei Lamellenkupplungen angeordnet. Ihre Innenlamellen sitzen auf den Achskegelrädern und ihre Außenlamellen im Ausgleichsgehäuse.

Die Sperrwirkung entsteht, wenn das Antriebsdrehmoment von den beiden Druckringen auf die Achsen der Ausgleichskegelräder übertragen wird. Wegen der Keilflächen werden die Druckringe auseinander geschoben und drücken auf die Lamellenkupplungen.

Bei gleicher Bodenhaftung an den Antriebsrädern wird das Lastmoment, welches am Tellerad anliegt, vom Ausgleichsgehäuse über die Druckringe zu einem kleinen Teil über die Lamellenkupplungen und zum größeren Teil über die Ausgleichskegelräder zu den Achskegelrädern übertragen (Bild 18.6).

Dreht ein Rad wegen unterschiedlicher Bodenhaftung durch, entsteht an der zu diesem Rad gehörenden Lamellenkupplung ein Reibungs-

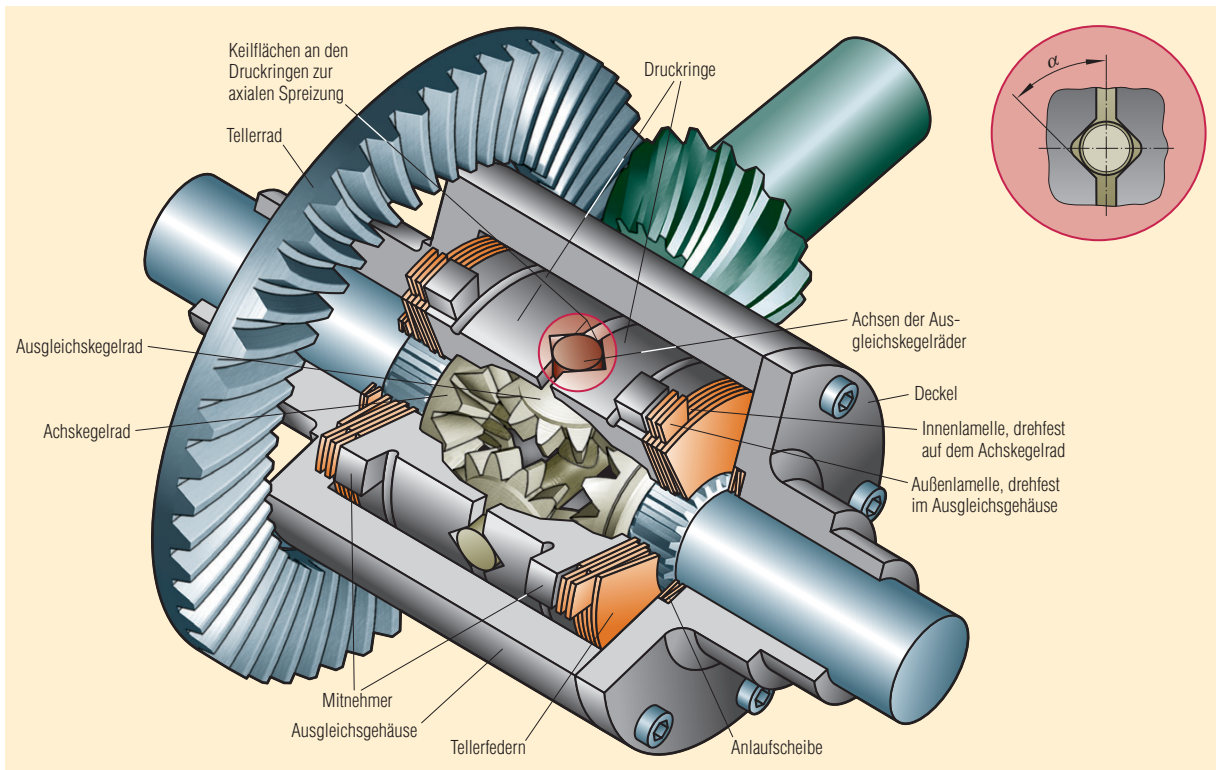


Bild 18.5 Ausgleichssperre mit Reibkupplung.

moment, weil Innen- und Außenlamellen durchrutschen (Bild 18.6). Dieses Reibungsmoment wird über das Ausgleichsgehäuse zum langsamer laufenden Rad übertragen. Hier wird es zum normalen Drehmoment hinzuaddiert.

Der Sperrwert wird durch die Wahl des Winkels α an den Keilflächen und durch die Anzahl der Kupplungslamellen beeinflusst.

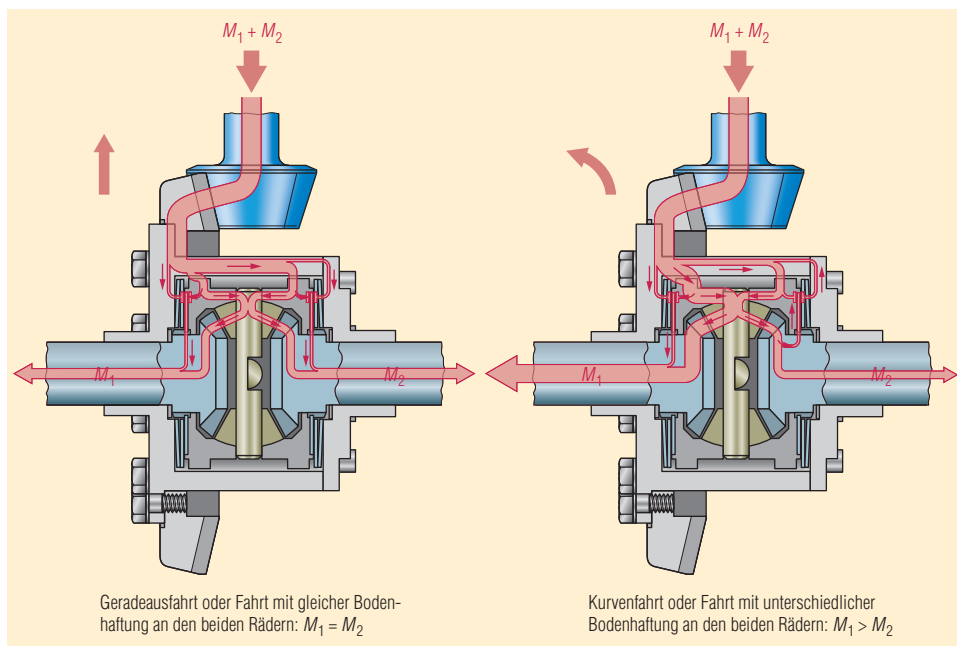


Bild 18.6 Drehmomentfluss an der Ausgleichssperre mit Reibkupplung.

Visco-Kupplung (Bild 18.7). Die Visco-Kupplung ist eine verschleißfrei arbeitende Flüssigkeits-Scherkupplung. Sie arbeitet sehr weich und ruckfrei und kann Schwingungen im Antriebsstrang wirksam dämpfen. Visco-Kupplungen können zusätzlich zu einem Ausgleichsgetriebe als Quersperre oder bei Allradfahrzeugen als Längssperre eingesetzt werden.

Das Gehäuse der Visco-Kupplung ist mit einer Silicon-Flüssigkeit gefüllt und nach außen vollständig abgedichtet. Die gelochten Außenlamellen greifen in die Verzahnung des Gehäuses, die radial geschlitzten Innenlamellen in die Verzahnung der Nabe.

Kommt es zu Drehzahlunterschieden zwischen Nabe und Gehäuse, wird die Siliconflüssigkeit durch die Abscherung zwischen Innen- und Außenlamellen erwärmt. Dies führt zu einem Druckanstieg im Gehäuse und zu einer verstärkten Sperrwirkung zwischen Innen- und Außenlamellen. Der Sperrwert ist in Abhängigkeit von der Drehzahldifferenz völlig variabel.

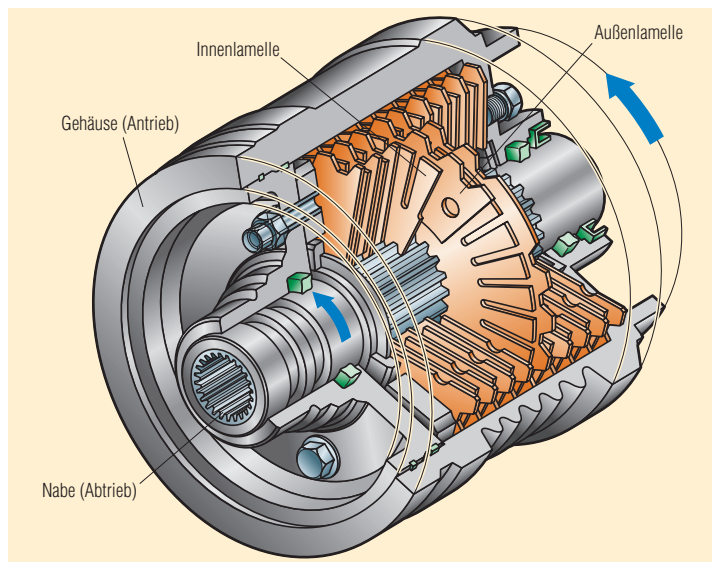


Bild 18.7 Visco-Kupplung.

Torsen:
torque sensing =
drehmomentfüh-
lend

Torsen-Differenzial (Bild 18.8). Das Torsen-Differenzial ist ein selbsttätig sperrendes Ausgleichsgetriebe, welches das Drehmoment in Abhängigkeit von der Bodenhaftung verteilt. Es wird als Quer- und Längsdifferenzial eingesetzt.

Das Torsen-Differenzial besteht aus zwei Schneckengetrieben. Jedes setzt sich aus einer Schnecke zusammen, die mit der Achswelle verbunden ist, und drei Schneckenrädern, die auf den Schneckenradachsen drehbar im Ausgleichsgehäuse gelagert sind. Über die insgesamt 12 Ausgleichsräder sind die beiden Schneckentriebe miteinander verbunden. Das Tellerrad treibt das Gehäuse mit den Schneckenradachsen an.

Das Torsen-Differenzial beruht auf dem Prinzip der Selbsthemmung des Schneckentriebes. Die Schnecke kann das Schneckenrad antreiben, umgekehrt ist dies aber nicht möglich. Die Selbsthemmung und somit der Sperrwert des Schneckentriebes ist abhängig vom Steigungswinkel der Verzahnung zwischen Schnecke und Schneckenrad.

Bei gleicher Bodenhaftung an den Antriebsrädern wirken die Schneckenräder als Mitnehmer, treiben dadurch die Schnecken an und drehen sich selbst nicht. Jede Achswelle erhält das gleiche Drehmoment.

Bei unterschiedlicher Bodenhaftung oder Kurvenfahrt dreht ein Antriebsrad schneller als das andere. Dadurch drehen sich die Schneckenräder und damit auch die Ausgleichsräder. Die Schneckenräder der Seite mit der geringeren Bodenhaftung (Rad dreht durch) stützen sich dabei über die Ausgleichsräder auf den Schneckenrädern der Seite mit der besseren Bodenhaftung ab. Dadurch erhält diese Seite ein höheres Drehmoment.

Automatisches Sperrdifferenzial (ASD) (Bild 18.9). Im automatischen Sperrdifferenzial wird ein selbsttätig sperrendes Ausgleichsgetriebe mit Reibkupplung durch einen Hydraulikteil ergänzt, der es ermöglicht, das Differenzial bei bestimmten Fahrzuständen schnell 100 % zu sperren. Das ASD lässt sich zusammen mit einem ABS verwenden ohne dessen Funktion zu beeinträchtigen. Die Sensoren des ABS werden für das ASD verwendet.

Das ASD besteht aus einer Ölpumpe zur Erzeugung des Öldrucks, einem Druckspeicher, Magnetventilen, einem Steuergerät, Raddrehzahlsensoren und dem Ringzylinder im Ausgleichsgetriebe zur Betätigung der Sperre.

Sobald die Raddrehzahlsensoren dem Steuergerät bei Fahrgeschwindigkeiten unter 30 km/h eine Drehzahldifferenz zwischen den Antriebsrädern bzw. zwischen Antriebsrädern und den nicht angetriebenen Rädern von mehr als 2 km/h melden, werden die Magnetventile geschaltet und der Ringkolben durch Öldruck betätigt. Dadurch werden die Lamellenkupplungen zusammengepresst und das Ausgleichsgetriebe sperrt.

Im Schubbetrieb, bei arbeitendem ABS, bei Fahrgeschwindigkeiten über 30 km/h oder bei betätigter Bremse wird das ASD deaktiviert.

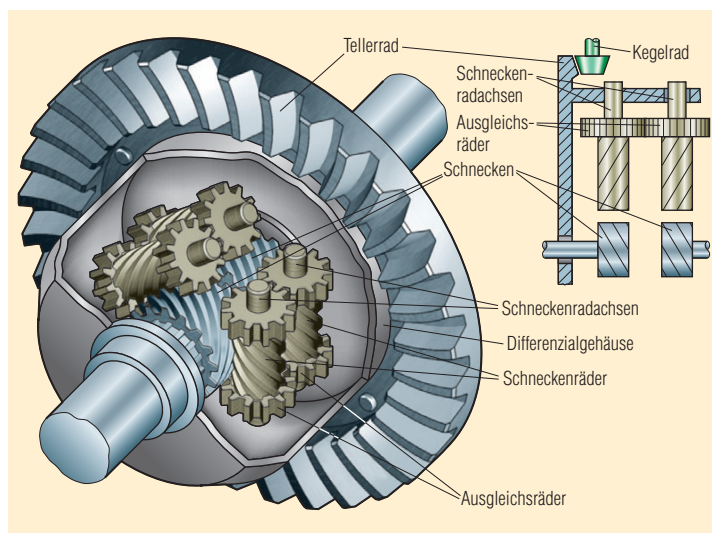


Bild 18.8 Torsen-Differenzial.

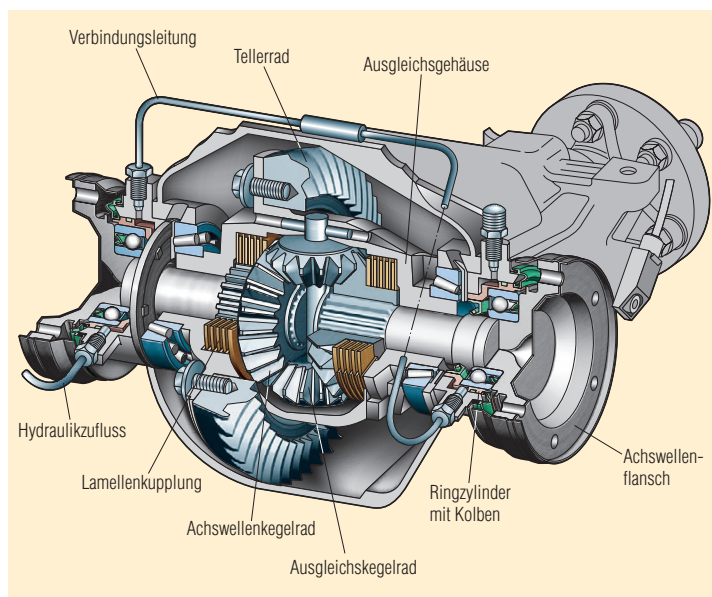


Bild 18.9 Automatisches Sperrdifferenzial.

Elektronische Differenzialsperre (EDS). Die elektronische Differenzialsperre erweitert ein bestehendes **ABS**. Es nutzt und erweitert dessen Komponenten um die Traktion bei ungünstigen Fahrbahnverhältnissen zu verbessern.

Ein Steuergerät erfasst Drehzahlunterschiede der Antriebsräder, die über die Drehzahlsensoren des ABS gemeldet werden. Bei einer Differenzdrehzahl von ca. 110 min^{-1} wird das schneller drehende Rad über die ABS-Hydraulikeinheit abgebremst, bis es annähernd die gleiche Drehzahl wie das langsamer drehende Rad hat. Es entsteht ein Stützmoment, welches die Wirkung einer herkömmlichen Ausgleichssperre hat, sodass am Rad mit der besseren Bodenhaftung ein höheres Drehmoment anliegt.

Die EDS arbeitet bis zu einer Geschwindigkeit von 40 km/h uneingeschränkt, darüber hinaus wird die Sperrwirkung gleitend reduziert, ohne dass der Fahrer etwas davon bemerkt. Sie ist auch bei Rückwärtsfahrt wirksam, bei Kurvenfahrt spricht das System aber nicht an.

Haldex-Kupplung. Die Haldex-Kupplung wird bei allradgetriebenen Fahrzeugen zur Drehmomentverteilung zwischen den beiden Achsen eingesetzt. Sie sitzt am Hinterachsgetriebe und wird von der Kardanwelle angetrieben (Bild 18.10). Bei durchdrehenden Vorderrädern sperrt die Haldex-Kupplung den Drehausgleich zwischen Vorder- und Hinterachse und verteilt

das Drehmoment an die beiden Achsen. Ihr Sperrwert kann dazu je nach Fahrsituation von der Steuerelektronik zwischen 0 % und 100 % eingestellt werden.

ABS → S. 569

Bild 18.11 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Haldex-Kupplung. Im dichten Gehäuse ist eine Lamellenkupplung im Ölbad untergebracht. Die Innenlamellen sind mit der Ausgangswelle verzahnt, die Außenlamellen mit dem von der Eingangswelle angetriebenen Gehäuse. Zusammen mit dem Gehäuse drehen sich Hubkolben und Arbeitskolben, die Hubscheibe rotiert mit der Ausgangswelle.

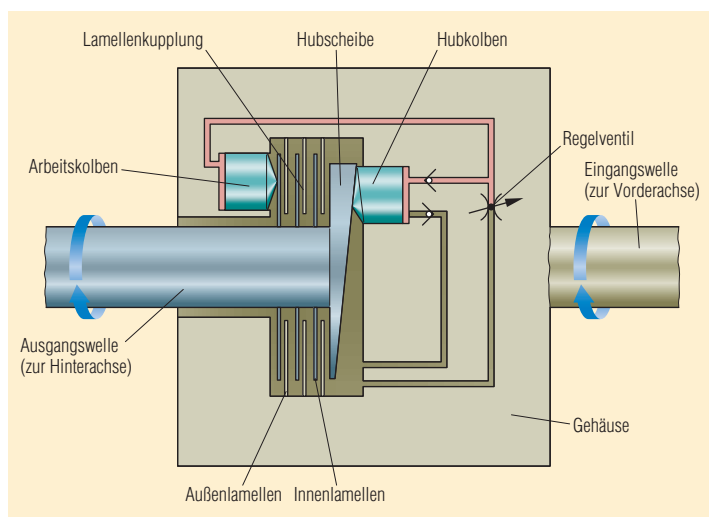


Bild 18.11 Vereinfachter Aufbau der Haldex-Kupplung (Hubkolben betätigt).

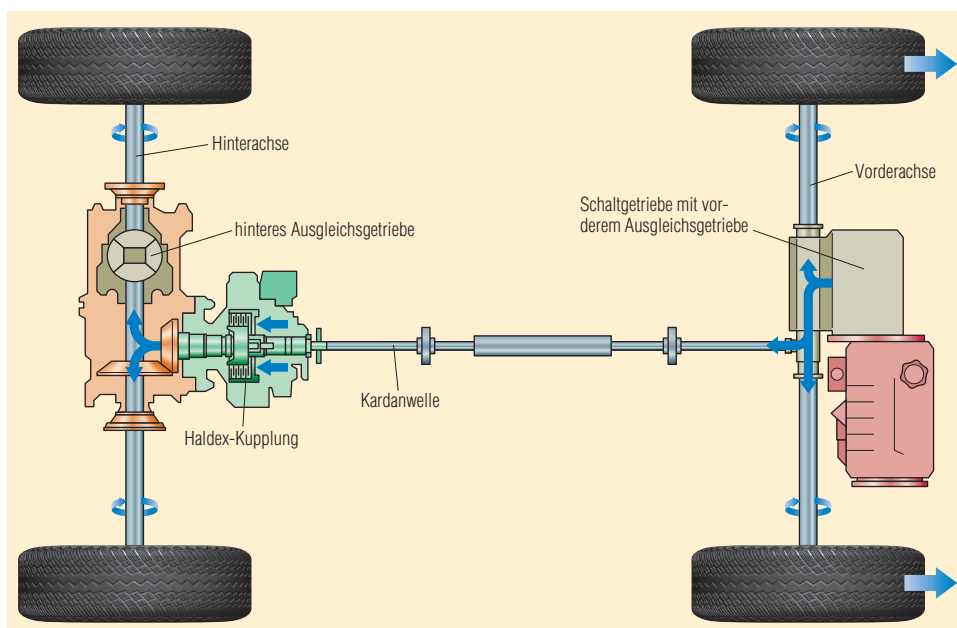


Bild 18.10 Anordnung der Haldex-Kupplung im Antriebsstrang.

Drehen die Räder einer Achse durch, verdrehen sich Hubscheibe und Gehäuse gegeneinander, sodass der Hubkolben betätigt wird. Der dadurch aufgebaute Öldruck betätigt den Arbeitskolben, welcher gegen das Lamellenpaket drückt. Die Verbindung zwischen Eingangs- und Ausgangs-

welle ist hergestellt. Der Öldruck wird über das Regelventil eingestellt. Je nach Anforderung kann dadurch der Sperrwert der Haldex-Kupplung verändert werden.

18.4 Verteilergetriebe

Bei Fahrzeugen mit mehreren angetriebenen Achsen wird zwischen Wechselgetriebe und den Achsen ein Verteilergetriebe zum Antrieb der Achs- und Ausgleichsgetriebe eingebaut.

Je nach Ausführung erfüllen die Verteilergetriebe folgende Aufgaben:

- Drehmomentverteilung auf die angetriebenen Achsen,
- Drehzahlausgleich bzw. Sperrung des Drehzahlausgleichs zwischen den angetriebenen Achsen bei permanentem Allradantrieb,
- Übersetzungsbereich des Wechselgetriebes erweitern.

Kegel- und Stirnrad-Verteilergetriebe verteilen das Drehmoment zu gleichen Anteilen an die Achsen (Bild 18.12).

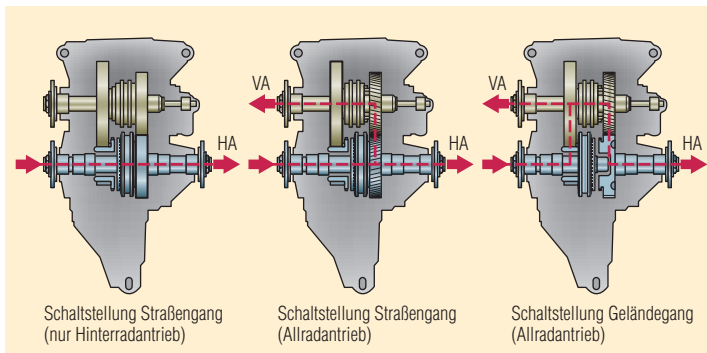


Bild 18.12 Stirnrad-Verteilergetriebe mit zusätzlicher Übersetzung.

Planeten-Verteilergetriebe verteilen die Drehmomente in einem bestimmten Verhältnis an die Achsen, z. B. 65 % zur Hinterachse und 35 % zur Vorderachse.

Beim **Torsen-Differenzial** wird das Drehmoment in Abhängigkeit von der Bodenhaftung der Achsen verteilt, wobei die Achse mit der größeren Bodenhaftung das größere Drehmoment erhält.

Die **Visco-Kupplung** verteilt die Drehmomente je nach Drehzahlunterschied an den Achsen in einem laufend veränderlichen Verhältnis.

Die **Haldex-Kupplung** hat gegenüber der Visco-Kupplung den Vorteil, durch den Einsatz von Elektronik neben dem Schlupf weitere fahrdynamische Zustände (z. B. Kurvenfahrt, Schub- und Zugbetrieb) zu berücksichtigen.

18.5 Werkstattpraxis

Antriebskegelrad und Tellerrad eines Kegelrad-Ausgleichsgetriebes werden immer paarweise vom Hersteller geprüft und ausgeliefert. Sie müssen daher immer paarweise ausgetauscht werden.

Kegel- und Tellerrad müssen genau zueinander positioniert werden, damit das Getriebe einwandfrei ruhig und ohne Verschleiß läuft. Abweichungen von der richtigen Einstellung können an dem Tragbild der Zahnradpaarung festgestellt werden. Dazu werden die Zähne des Tellerrades im eingebauten Zustand beidseitig mit Tuschierfarbe bestrichen. Anschließend wird das Tellerrad abgebremst und dabei mit dem Kegelrad in beide Richtungen mehrfach gedreht. Das entstandene Tragbild gibt Aufschluss über eventuelle Fehleinstellungen (Bild 18.13). Kegelrad und Tellerrad können dann durch Einlegen von Einstellscheiben axial verschoben werden (Bild 18.14).

Segment	Korrektur am Antriebskegelrad	Korrektur am Tellerrad
A1/B1	Tragbild gut	
A2/B2	weg von der Tellerradachse	zur evtl. Korrektur des Zahnflankenspiels hin zur Kegelradachse
A3/B3	zur evtl. Korrektur des Zahnflankenspiels hin zur Tellerradachse	weg von der Kegelradachse
A4/B4	hin zur Tellerradachse	zur evtl. Korrektur des Zahnflankenspiels weg von der Kegelradachse
A5/B5	zur evtl. Korrektur des Zahnflankenspiels weg von der Tellerradachse	hin zur Kegelradachse
A6/B6	zur Korrektur des Zahnflankenspiels Tellerrad verschieben	

Gleason-Zahnhöhe am Außendurchmesser größer als am Innendurchmesser

Klingenberg-Zahnhöhe über die gesamte Zahnlänge gleich

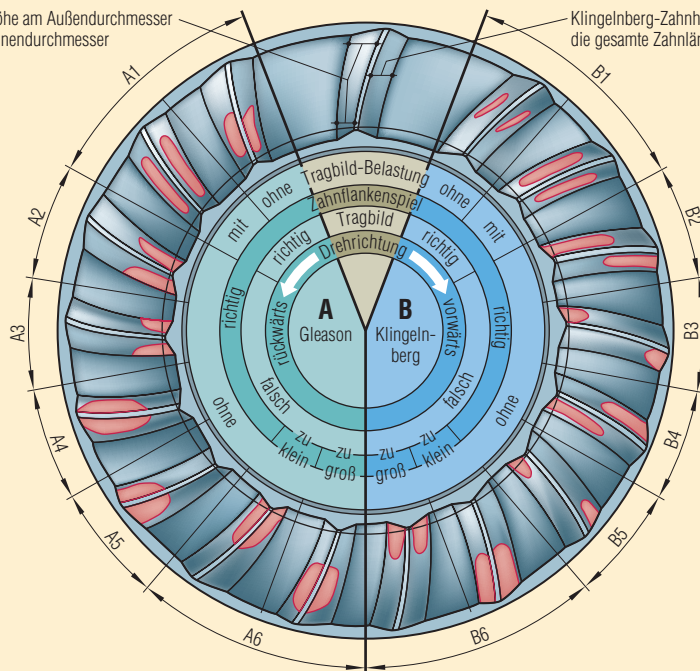


Bild 18.13 Tragbilder am Tellerrad (Gleason- und Klingenbergverzahnung).

Arbeitsaufträge

1. Welche Aufgaben haben Achsgetriebe und Ausgleichsgetriebe im Achsantrieb?
2. Warum werden Ausgleichssperren mit Reibkupplung mit Sperrwerten unter 100 % gebaut?
3. Vergleichen und skizzieren Sie den Kraftfluss vom Wechselgetriebe zu den Antriebsrädern bei Fahrzeugen mit normalem Antrieb und mit Allradantrieb in einem Blockschaltbild.
4. Kennen Sie Fahrzeuge mit permanentem Allradantrieb? Welche Ausgleichssperren zwischen Vorder- und Hinterachse werden hier verwendet?
5. Welche Vorteile ergeben sich durch den Einsatz der Elektronik bei selbsttätig schaltenden Ausgleichssperren?
6. Welche Fehleinstellungen können am Tragbild eines Kegelrad-Ausgleichsgetriebes festgestellt werden?

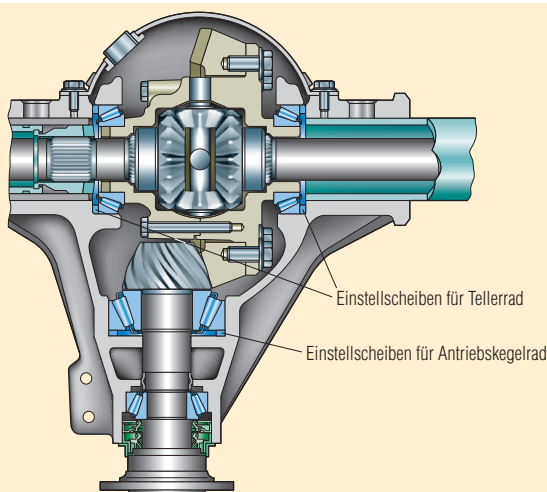


Bild 18.14 Einstellscheiben zur Lagekorrektur an Teller- und Kegelrad.

19 Gelenkwellen und Gelenke

Profilwellen sind aus Stahlprofilen, z. B. Rohren, hergestellt.

Gleichlauf: Lauf eines Drehteils ohne Drehzahl-schwankungen.

Um das Drehmoment vom Getriebeausgang auf den Achsantrieb und auf die Antriebsräder zu übertragen, werden Gelenkwellen benötigt. Die Wellen zwischen Achsantrieb und Rädern werden auch als Achswellen bezeichnet, die Welle zwischen Getriebe und Achsantrieb heißt auch Längs- oder Kardanwelle. Alle Gelenkwellen bestehen aus einer Profilwelle und meistens zwei Gelenken (Bild 19.1).

Die Aufgaben und Anforderungen an Gelenkwellen sind:

- Übertragung des Drehmoments von der Motor-/Getriebeeinheit zu den Antriebsrädern,
- Ausgleich von Längen- und Winkeländerungen beim Einfedern und beim Lenkeinschlag unter Beibehaltung des Gleichlaufs,
- Schwingungsdämpfung,
- Wartungsfreiheit,
- hoher Wirkungsgrad durch niedrige Reibungsverluste und geringes Gewicht.

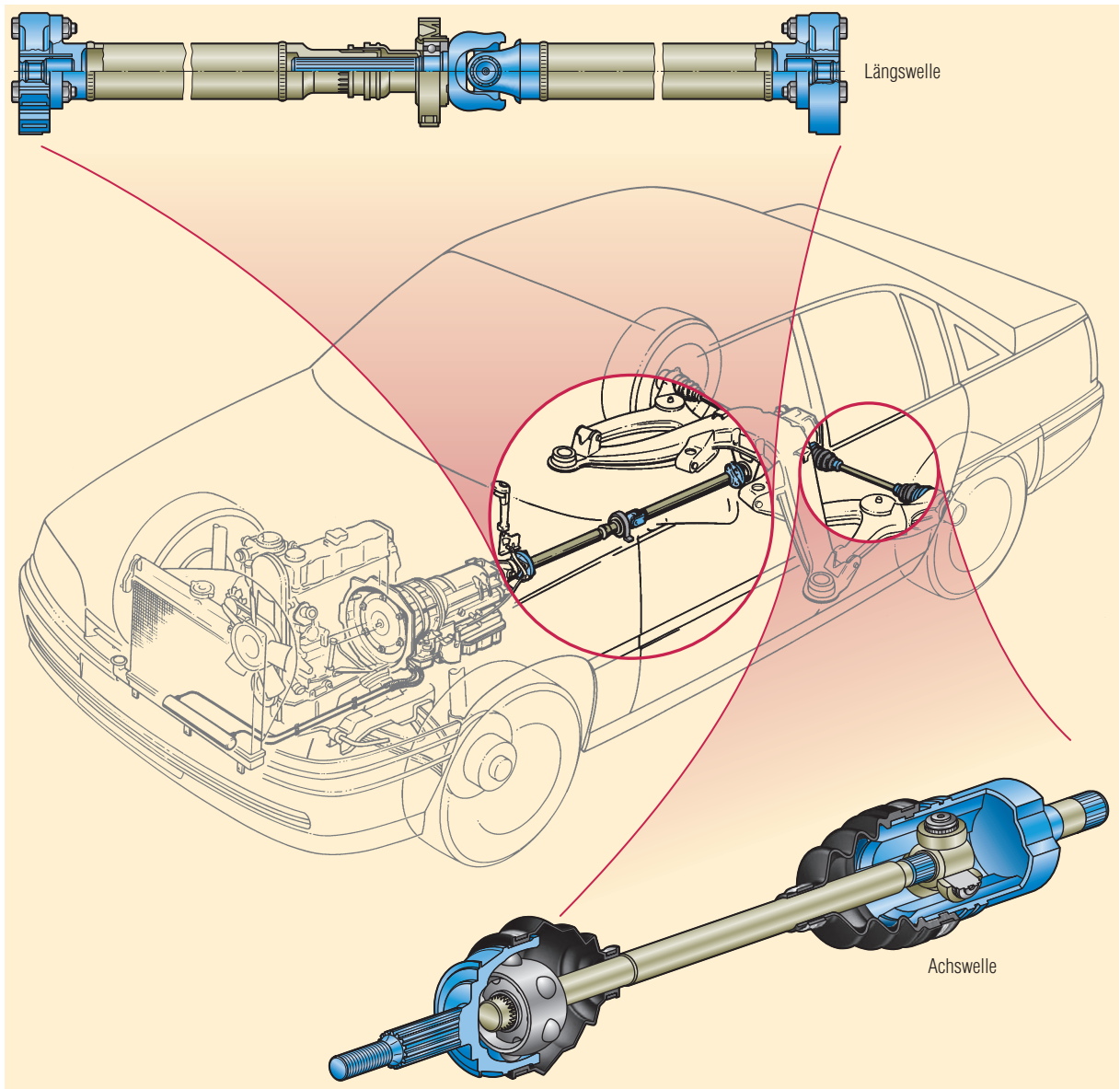


Bild 19.1 Anordnung der Gelenkwellen im Antriebsstrang.

Diese Forderungen werden durch die Nutzung unterschiedlicher Gelenke in den Gelenkwellen erfüllt. Gleichlauf erreicht man durch die Verwendung von homokinetischen oder Gleichlaufgelenken. Wird lediglich eine Winkeländerung gefordert, werden Festgelenke eingesetzt. Für einen zusätzlichen Längenausgleich gibt es Verschiebegelenke.

Die Einbaulage der Gelenkwelle und die Antriebsart des Fahrzeugs bestimmen wesentlich die Anforderungen, die an die Gelenkwelle gestellt werden (Tabelle 19.1).

homokinetisch:
aus griech. homós
= gleich und kine =
bewegen

	Innengelenk	Außengelenk
Frontantrieb (Achswelle)	Anforderung: große Winkeländerung durch Federung Bauart: Gleichlauf-Verschiebegelenk	Anforderung: sehr große Winkeländerung durch Federung und Lenkeinschlag Bauart: Gleichlauf-Festgelenk
Heckantrieb (Achswelle)	Anforderung: große Winkeländerung durch Federung und Schrägstellung der Achswelle Bauart: Gleichlauf-Verschiebegelenk	Anforderung: große Winkeländerung durch Federung und Schrägstellung der Achswelle Bauart: Gleichlauf-Verschiebegelenk
Heckantrieb (Längswelle)	mittleres Gelenk bei zweiteiliger Längswelle mit Zwischenlager Anforderung: geringe Winkeländerung bei bogenförmiger Verlegung über das Zwischenlager Bauart: Kreuzgelenk mit Zwischenlager	äußere Gelenke bei einteiliger und zweiteiliger Längswelle Anforderung: sehr geringe Winkel- und Längenänderung durch Elastizitäten Bauart: Trockengelenke, Kreuzgelenke mit Längenausgleich durch Schiebestück, Gleichlauf-Verschiebegelenke
Tabelle 19.1	Anforderungen an Gelenke in Gelenkwellen und eingesetzte Bauarten.	

19.1 Kreuzgelenke

Beim Kreuzgelenk sind zwei Gelenkgabeln über ein Zapfenkreuz gelenkig miteinander verbunden (Bild 19.2). Sie ermöglichen einen Beugungswinkel bis 15° , aber keinerlei Längenausgleich.

Ein Nachteil der Kreuzgelenke besteht in der ungleichförmigen Drehbewegung der Abtriebsseite bei einer Beugung des Kreuzgelenks. Da die Ungleichförmigkeit mit dem Beugungswinkel zunimmt, ist dies bei kleineren Winkeln ($< 3^\circ$) unerheblich (z. B. beim mittleren Kreuzgelenk in zweiteiligen Längswellen). Bei größeren Beugungswinkeln kann dies aber nur vermieden werden, indem zwei Kreuzgelenke nacheinander angeordnet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die beiden Gelenke in einer parallelen Ebene liegen und die beiden Beugungswinkel β_1 und β_2 gleich groß sind (Bild 19.3).

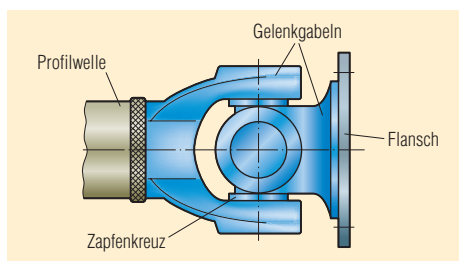


Bild 19.2 Kreuzgelenk.

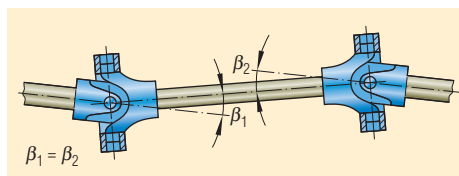


Bild 19.3 Anordnung von zwei gebeugten Kreuzgelenken.

Innengelenk:
motor- bzw. getriebe-
seitiges Gelenk der
Achswelle.

Außengelenk:
radseitiges Gelenk
der Achswelle.

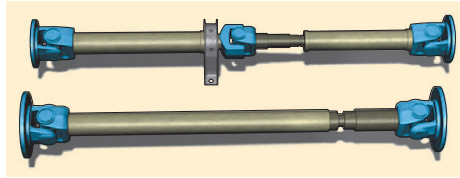


Bild 19.4 Einteilige und zweiteilige Längswellen mit Kreuzgelenken.

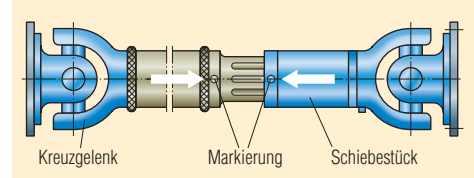


Bild 19.5 Kardanwelle mit zwei Kreuzgelenken und Schiebestück.

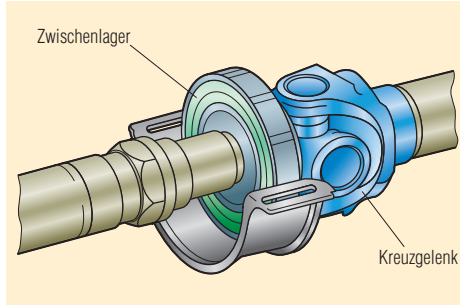


Bild 19.6 Zwischenlager und Kreuzgelenk.

Die 1898 erstmals in einem Pkw eingebaute Längswelle mit Kreuzgelenken wurde auch als Kardanwelle bekannt. Die Kardanwelle wird als einteilige oder zweiteilige Längswelle gebaut (Bild 19.4). Ein Schiebestück ermöglicht den Längenausgleich, die Kreuzgelenke die Winkeländerung (Bild 19.5).

Die zweiteilige Längswelle ist mit einem Zwischenlager und einem zusätzlichen Kreuzgelenk ausgestattet (Bild 19.6). Dies ermöglicht die Überwindung großer Abstände zwischen An- und Abtrieb ohne starke Vibrationen und damit auch ohne lästige Geräusche. Auch die Bruchgefahr durch Vibrationen nimmt erheblich ab.

19.2 Gleichlauf-Festgelenke

Kugelgelenk. Bei den Festgelenken haben sich Kugelgelenke durchgesetzt (Bild 19.7). Sie bestehen aus der Nabe, welche die Verbindung zur Profilwelle herstellt, dem Kugelkäfig zur Fixierung der Kugeln, dem glockenförmigen Außenteil mit gewölbten Kugellaufbahnen und den Kugeln zur formschlüssigen Drehmomentübertragung. Kugel-Festgelenke erlauben Beugungswinkel bis 47° ohne Längenausgleich.

Doppelgelenk. Zwei Kreuzgelenke, die zu einem Gelenk vereinigt sind, bezeichnet man als Doppelgelenk. Sie ermöglichen einen großen Beugungswinkel bis 50° ohne Drehzahlschwankungen.

Tripodegelenk. Dieses Gelenk kann sowohl als Festgelenk als auch als Verschiebegelenk gebaut werden. Der maximale Beugungswinkel beträgt beim Festgelenk 45° .

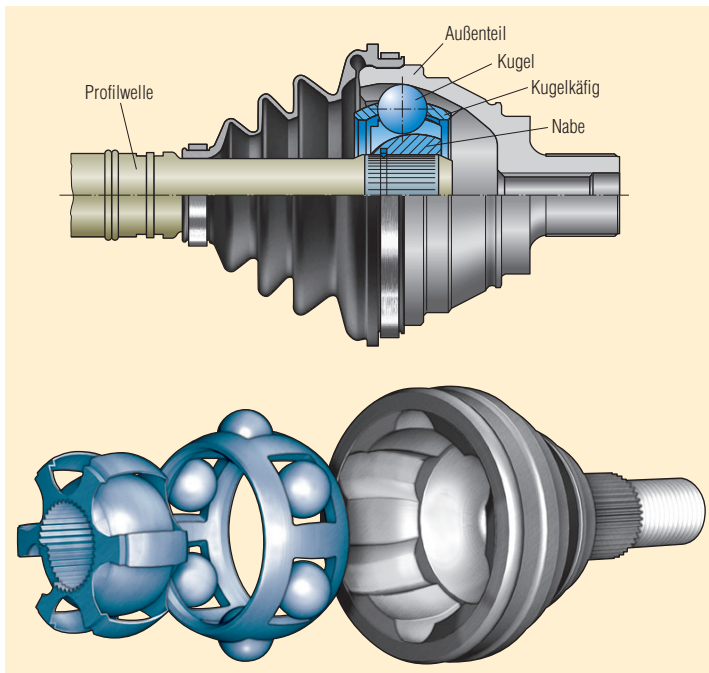


Bild 19.7 Kugel-Gleichlauf-Festgelenk.

Trockengelenke bestehen aus Flanschen, die über elastische Elemente miteinander verbunden sind (Bild 19.8). Durch diese Elastizität werden Schwingungen im Antriebsstrang gedämpft. Sie werden z. B. als Zwischenlager bei zweiteiligen Längswellen eingesetzt. Trockengelenke erlauben Beugewinkel bis 5° und einen sehr kleinen Längenausgleich bis 1,5 mm. Sie werden als Hardyscheiben (mit in Gummi einvulkanisiertem Gewebe als elastischem Element) oder Silent-bloc-Gelenke (mit Gummikörpern als elastischem Element) ausgeführt.

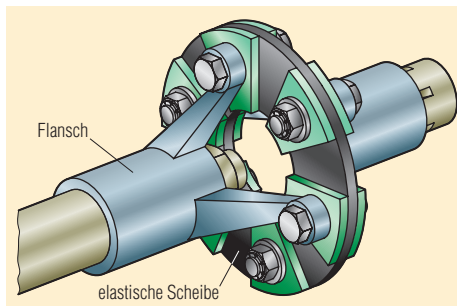


Bild 19.8 Trockengelenke.

19.3 Gleichlauf-Verschiebegelenke

Kugelgelenke werden auch als Topfgelenke bezeichnet (Bild 19.9). Im Gegensatz zum Kugel-Festgelenk laufen die Kugeln in geraden Bahnen. Dadurch ermöglichen diese Gelenke nicht nur Beugewinkel bis zu 22° , sondern auch einen Längenausgleich bis zu 45 mm.

Das **Tripodegelenk** besteht aus einem Tripodestern mit drei Zapfen, auf denen sich jeweils eine nadelgelagerte Laufrolle befindet (Bild 19.10). Sie laufen sehr leicht in den Bahnen der Tripodeglocke und ermöglichen einen Beugewinkel bis 26° sowie einen Längenausgleich bis 55 mm.

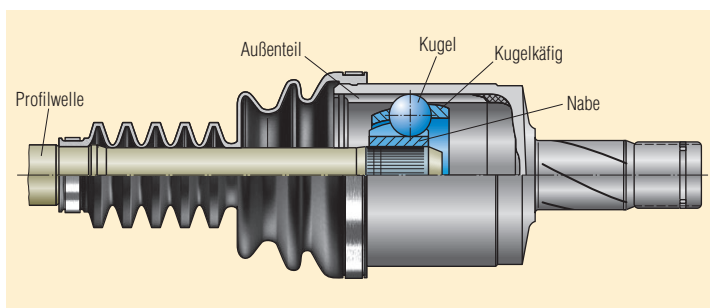


Bild 19.9 Kugel-Gleichlauf-Verschiebegelenk.

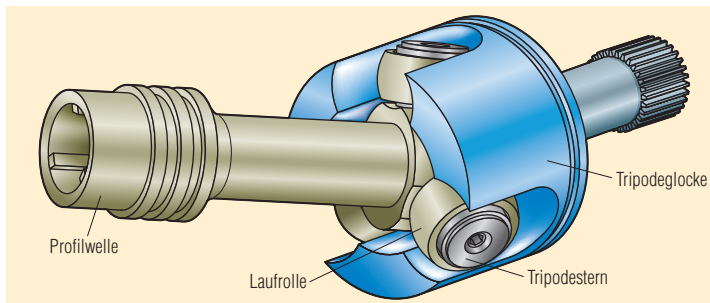


Bild 19.10 Tripodegelenk als Verschiebegelenk.

Arbeitsaufträge

1. Wodurch entstehen die Winkel- und Längenänderungen, die durch Gelenkwellen ausgeglichen werden müssen?
2. Warum müssen die beiden Beugungswinkel β_1 und β_2 bei Gelenkwellen mit zwei Kreuzgelenken gleich groß sein?
3. Welches ist der konstruktive Hauptunterschied zwischen Kugel-Gleichlauf-Verschiebegelenken und Kugel-Gleichlauf-Festgelenken?
4. Warum werden Gleichlauf-Festgelenke bei frontgetriebenen Fahrzeugen als Außengelenk und Gleichlauf-Verschiebegelenke als Innengelenk eingesetzt?

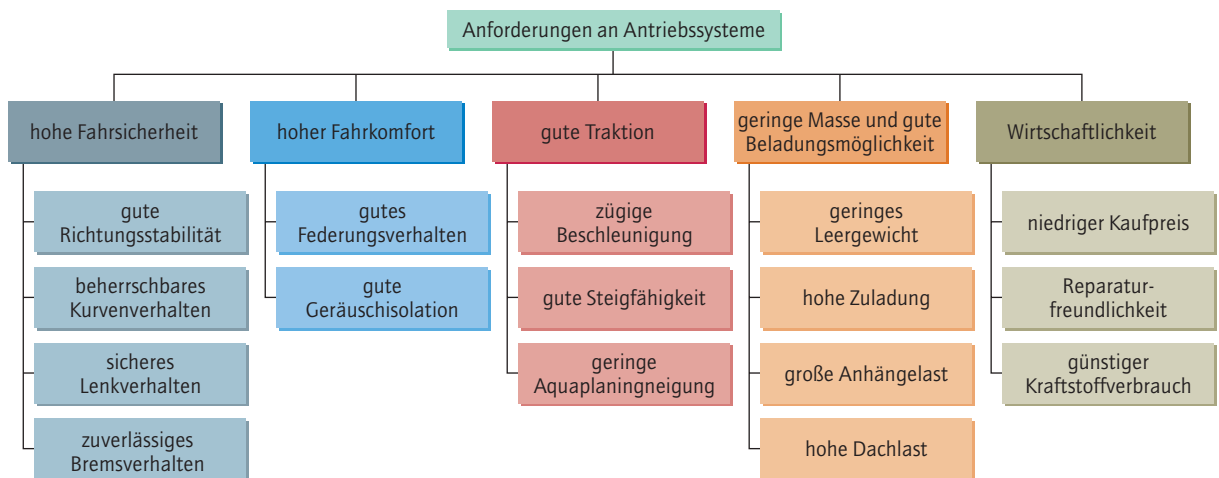
20 Antriebssysteme

Als Antriebssystem bezeichnet man die Anordnung von

- Motor,
- Getriebe,
- angetriebenen Achsen

und deren Zusammenwirken während des Fahrbetriebs. Man unterscheidet Hinterradantrieb (Hinterachse angetrieben), Vorderradantrieb (Vorderachse angetrieben) und Allradantrieb (Hinter- und Vorderachse angetrieben) und deren Varianten.

20.1 Anforderungen an Antriebssysteme



Traktion: Übertragungsmöglichkeit von Antriebskräften auf den Boden.

Schlupf → S. 421

Das Antriebssystem beeinflusst vor allem die Richtungsstabilität, das Kurven-, Lenk- und Bremsverhalten eines Fahrzeugs:

- unter dem Einfluss von Bodenunebenheiten und Störkräften (z.B. Seitenwind) bleibt das Fahrzeug kursstabil,
- bei Kurvenfahrt erkennt der Fahrer rechtzeitig einen kritischen Fahrzustand und das Fahrzeug bleibt dabei gut beherrschbar,
- das Fahrzeug reagiert zielgenau und feinfühlig auf die Wünsche des Fahrers bei Lenkeinschlag,
- beim Bremsen auf der Geraden und in Kurven bleibt das Fahrzeug spurstabil und beherrschbar.

20.2 Grundbegriffe

Schräglaufwinkel α . Reifen übertragen nur dann eine seitlich am Fahrzeug angreifende Störkraft (z. B. Seitenwind), wenn sie schräg zur Fahrtrichtung abrollen. Das Fahrzeug fährt dabei ohne Lenkeinschlag in eine neue Fahrtrichtung. Es entsteht ein **Schlupf** quer zur Radebene. Der Winkel zwischen Radebene und neuer Fahrtrichtung heißt Schräglaufwinkel α (Bild 20.1). Je größer die Seitenkraft (starker Wind), desto größer wird auch der Schräglaufwinkel.

Dies gilt auch bei Kurvenfahrt. Hierbei entspricht die Fliehkraft des Fahrzeugs der Seitenkraft. Das Fahrzeug beschreibt einen größeren Kurvenradius, als es der Fahrer mit dem Lenkeinschlag vorgibt. Je schneller die Kurve gefahren wird (größere Fliehkraft), desto stärker müssen die Räder eingeschlagen werden, der Schräglaufwin-

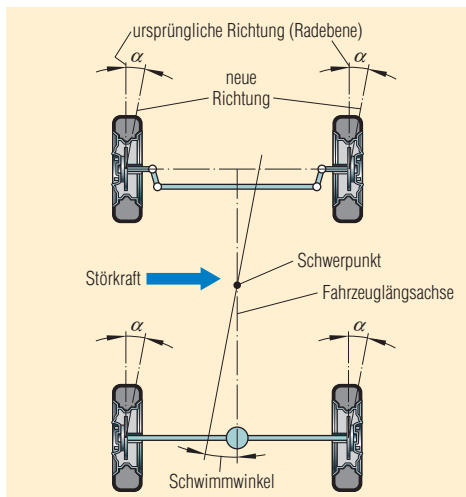


Bild 20.1 Schräglauflage α und Schwimmwinkel.

kel wird größer. Der hierbei entstehende Querschlupf darf einen vom Reifen abhängigen Wert nicht überschreiten, da sonst das Fahrzeug aus der Kurve ausbricht und nicht mehr beherrschbar ist.

Der **Schwimmwinkel** ist der Winkel zwischen der Fahrtrichtung des Fahrzeugs und dessen Längsachse (Bild 20.1).

Untersteuern (Bild 20.2). Ist bei Kurvenfahrt der Schräglauflagewinkel vorne größer als hinten, ergibt sich ein untersteuerndes Fahrverhalten. Das Fahrzeug schiebt über die Vorderachse zur Kurvenaußenseite, es muss durch stärkeren Lenkeinschlag in die Kurve gezwungen werden.

Das Kurvenverhalten sollte leicht untersteuernd sein, damit der Fahrer bei zunehmender Querbeschleunigung das Lenkrad weiter in Kurvenrichtung drehen muss. Dadurch kommt es zu einem leichten Abbremsen des Fahrzeugs. Der Fahrer kann gleichzeitig den kritischen Fahrzustand erkennen und die Fahrgeschwindigkeit reduzieren. Meist bleibt das Fahrzeug beherrschbar. Bei Lastwechsel soll das Fahrzeug leicht in die Kurve einlenken.

Übersteuern (Bild 20.2). Ist bei Kurvenfahrt der Schräglauflagewinkel hinten größer als vorne, ergibt sich ein übersteuerndes Fahrverhalten. Das Heck des Fahrzeugs schiebt zur Kurvenaußenseite, es muss gegengelenkt werden. Dies ist für ungeschulte Fahrer nur schwer zu beherrschen.

Neutrales Fahrverhalten. Die Schräglauflagewinkel an Vorder- und Hinterachse sind gleich groß.

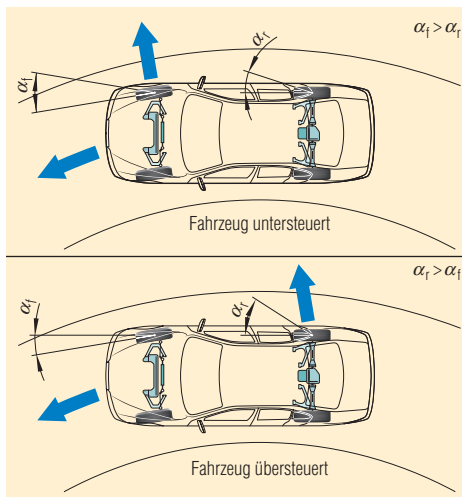


Bild 20.2 Untersteuern und Übersteuern.

20.3 Hinterradantrieb

Standardbauweise (Bild 20.3). Motor und Getriebe befinden sich über bzw. hinter der Vorderachse, die Hinterräder werden über eine Längswelle angetrieben. Da der Motorraum viel Platz für große Motoren bietet, findet sich diese Bauweise vor allem in der Fahrzeugoberklasse. Weitere Eigenschaften sind:

- gute Achslastverteilung bei voll geladenem Fahrzeug (angetriebene Achse hoch belastet, Tabelle 20.1, S. 384),
- der Motor bildet einen Teil der Knautschzone,
- gute Kühlung des Motors,
- instabiles Fahrverhalten (das Fahrzeug wird geschoben, Bild 20.4, S. 384), welches durch spezielle Achskonstruktionen ausgeglichen werden muss,
- ungünstige Achslastverteilung bei Besetzung mit zwei Personen (angetriebene Achse gering belastet, Tabelle 20.1, S. 384),
- Längswelle und Längswellentunnel engen Fahrgastraum ein.

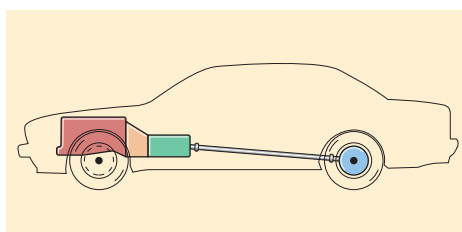


Bild 20.3 Standardbauweise.

Querbeschleunigung:

$$a_y = \frac{v^2}{R}$$

(v = Fahrzeuggeschwindigkeit, R = Kurvenradius)

Lastwechsel:

Wechsel von Beschleunigen (Gasgeben) zu Schiebetrieb (Gaswegnehmen) und umgekehrt.

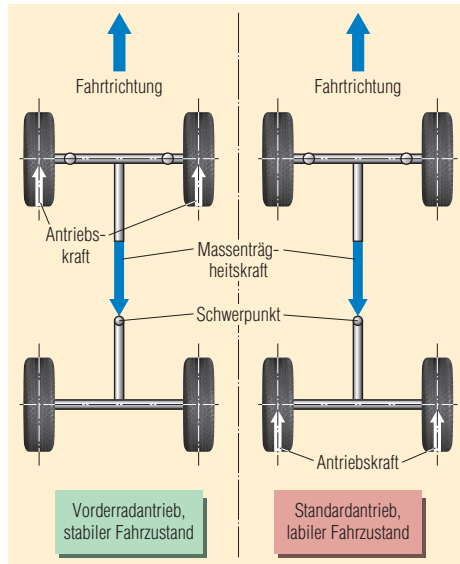


Bild 20.4 Stabiler und labiler Fahrzustand.

Transaxle-Bauweise. Hier liegt der Motor vorne, das Getriebe und gelegentlich auch die Kuppelung an der Hinterachse. Dies verbessert die Achslastverteilung, wodurch sich ein neutrales Fahrverhalten ergibt.

Mittelmotorantrieb (Bild 20.5). Motor, Wechsel- und Ausgleichsgetriebe bilden einen Block, der sich vor der Hinterachse im Heck des Fahrzeugs befindet. Der Mittelmotorantrieb wird wegen seiner Merkmale fast ausschließlich bei zweiseitigen Sportwagen angewendet:

- günstige Achslastverteilung und daher gute Traction (ähnlich dem Heckmotorantrieb in Tabelle 20.1),
- kurzer Kraftfluss,
- nur geringer Nutzraum,
- schlechte Motorkühlung,
- aufwändige Schaltungsbetätigung.

Achslastverteilung bei ...	Standardbauweise		Heckmotorantrieb		Vorderradantrieb	
	vorn	hinten	vorn	hinten	vorn	hinten
Fahrzeug leer	50 %	50 %	40 %	60 %	61 %	39 %
2 Personen vorn	50 %	50 %	42 %	58 %	60 %	40 %
5 Personen und Gepäck	44 %	56 %	41 %	59 %	49 %	51 %

Tabelle 20.1 Mittlere Achslastverteilungen einiger Antriebsarten.

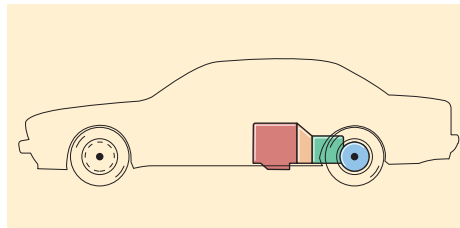


Bild 20.5 Mittelmotorantrieb.

Heckmotorantrieb (Bild 20.6). Der Block aus Motor, Ausgleichs- und Wechselgetriebe ist hinter der Hinterachse im Heck des Fahrzeugs untergebracht. Dieser Antrieb besitzt ähnliche Eigenschaften wie der Mittelmotorantrieb, lässt im Innenraum aber mehr Platz. Darüber hinaus neigen die Fahrzeuge zum Übersteuern in Kurven und sind empfindlich gegen Seitenwind. Diese Antriebsart ist Standard bei Omnibussen.

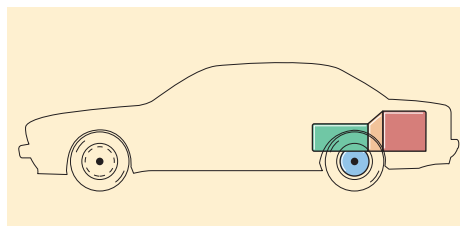


Bild 20.6 Heckmotorantrieb.

Unterflurmotorantrieb. Motor und Getriebe befinden sich unter dem Fahrzeugboden, wo sie gut von unten erreichbar sind. Die Einbaulage ergibt außerdem eine günstige Achslastverteilung und eine gute Raumausnutzung.

20.4 Vorderradantrieb

Motor, Ausgleichs- und Wechselgetriebe bilden einen kompakten Block, der vor, über oder hinter der angetriebenen Vorderachse liegt. Diese Antriebseinheit kann längs oder quer eingebaut sein, wobei der Motor nicht immer neben, sondern auch über den Getrieben angeordnet ist (Bild 20.7).

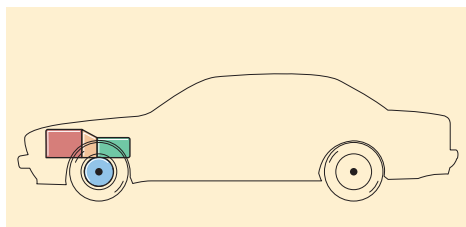


Bild 20.7 Vorderradantrieb.

Die kompakte Bauweise ermöglicht auch bei kleinen Fahrzeugen einen großen Fahrgast- und Gepäckraum. Tank und Reserverad können im Heckbereich des Fahrzeugs untergebracht werden. Daher ist dieses Antriebssystem bei der Mehrzahl der Pkws bis 2 Liter Hubraum zu finden. Weitere Merkmale des Vorderradantriebes sind:

- gute Traktion bei normaler Beladung, da die Hauptlast auf der angetriebenen Vorderachse liegt (Tabelle 20.1),
- stabiles Fahrverhalten (das Fahrzeug wird gezogen, Bild 20.4),
- untersteuern des Fahrverhalten,
- unempfindlich gegen Seitenwind,
- kurze Kraftflusswege,
- höhere Lenkkräfte,
- ungünstige Bremskraftverteilung (ca. 75 % vorn und 25 % hinten),
- aufwändige Vorderachskonstruktion, weil diese Räder sowohl angetrieben als auch gelenkt werden.

20.5 Allradantrieb

Beim Allradantrieb sind alle Räder angetrieben (Bild 20.8). Das wichtigste Merkmal aller Allradsysteme ist der deutliche Traktionsgewinn durch die Verteilung der Antriebskraft auf alle vier Räder. Dies bringt vor allem bei Fahrbahnen mit geringer Griffigkeit Vorteile. Aber auch bei Kurvenfahrt ist der Allradantrieb günstig, da das Fahrzeug beim Beschleunigen in Kurven nicht so rasch ausbricht.

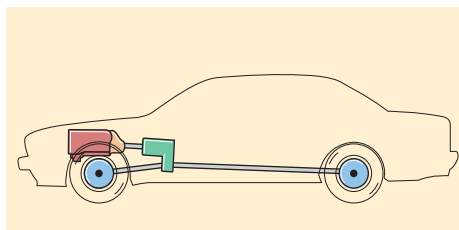


Bild 20.8 Allradantrieb.

Dies lässt sich mithilfe des Kamm'schen Kreises verdeutlichen (Bild 20.9). Treten am Rad Längs- und Querkräfte gleichzeitig auf (z. B. beim Bremsen oder Beschleunigen in der Kurve), so ergibt sich durch deren vektorielle Addition eine resultierende Kraft. Wird diese Resultierende größer als die Kraftschlussgrenze, rutscht das Fahrzeug. Bei geringerer Antriebskraft bleibt bei gleicher Kraftschlussgrenze eine größere Reserve zur Übertragung von Seitenkräften.

Kraftschlussgrenze: maximal übertragbare Kraft zwischen Reifen und Fahrbahn, abhängig von Reifen- und Belagbeschaffenheit.

Kräfte am Kamm'schen Kreis
→ S. 421

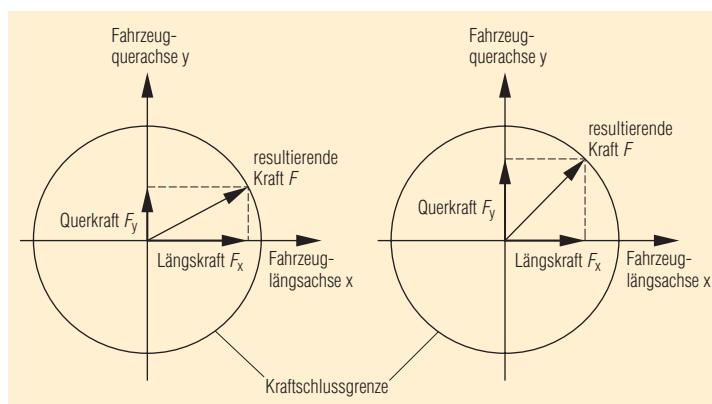


Bild 20.9 Kamm'scher Kreis.

Ein Allradsystem für den normalen Straßeneinsatz erfordert:

- geringe Masse,
- Selbststeuerung,
- ABS-Tauglichkeit,
- einen hohen Wirkungsgrad.

Selbststeuerung: Der Fahrer muss nicht in den Steuervorgang des Allradsystems eingreifen.

Auf unbefestigten Straßen müssen Allradsysteme höheren Anforderungen gerecht werden:

- Übertragung hoher Drehmomente,
- Tauglichkeit zum Langsamfahren,
- sperrbares Ausgleichsgetriebe.

Man unterscheidet zwei Bauarten von Allradantrieben.

Beim **permanenten Allradantrieb** werden alle vier Räder ständig angetrieben. Dazu ist ein **Verteilergetriebe** erforderlich, welches das Antriebsmoment auf die beiden Achsen verteilt. Zusätzlich ist ein zentrales **Ausgleichsgetriebe** (Mittendifferenzial) notwendig, welches die Drehzahlunterschiede zwischen den beiden Achsen ausgleicht. Diese Ausgleichsgetriebe werden z.T. mit **Ausgleichssperren** versehen. Häufig übernimmt ein Bauteil alle Funktionen (z.B. Visco-Kupplung, Torsen-Differenzial, Haldex-Kupplung).

Beim **zuschaltbaren Allradantrieb** ist eine Achse immer mit dem Motor verbunden, die zweite Achse kann automatisch oder manuell über ein Verteilergetriebe zugeschaltet werden.

Verteilergetriebe
→ S. 376

Ausgleichsgetriebe
→ S. 370

Ausgleichssperren
→ S. 371

Auch hier gibt es Versionen mit und ohne Mittendifferenzial und Ausgleichssperre. Bei fehlendem Ausgleichsgetriebe können Verspannungen im Antriebsstrang auftreten.

Der permanente Allradantrieb wird bei Pkws und zunehmend auch bei leichten Geländewagen eingesetzt. Nur bei Fahrzeugen für schweren Geländeeinsatz ist zuschaltbarer Allradantrieb üblich.

Die Verteilung der Antriebsmomente auf die Achsen richtet sich nach den konstruktiv bedingten Achslasten und auch nach der Auslegung des Herstellers.

Nachteile des Allradantriebs sind seine hohen Kosten, das höhere Gewicht, der höhere Kraftstoffverbrauch und der größere Platzbedarf für die Antriebsteile.

20.6 Antriebe von Krafträdern

Bei Krafträdern ist der Motor üblicherweise zwischen Vorderachse und angetriebener Hinterachse angeordnet. Dabei werden drei Antriebssysteme unterschieden:

- Zugmittelantrieb,
- Kegelradantrieb,
- Direktantrieb.

Bei den häufig verwendeten Zugmittelantrieben unterscheidet man Kettenantrieb, Zahnriemen- und Keilriemenantrieb. Der Keilriemenantrieb hat zwar immer Schlupf, ermöglicht aber bei kleineren Krafträdern, dass sich die Übersetzung zwischen Motor und Hinterrad durch den Einbau von variablen Riemenscheiben stufenlos anpasst. Ketten- und Zahnriemenantrieb arbeiten schlupffrei und sind preiswert. Der Zahnriemenantrieb (Bild 20.10) bietet darüber hinaus die Vorteile, dass er sehr ruhig läuft und eine lange Lebensdauer hat.

Beim Kegelradantrieb, auch Gelenkwellen- oder Kardanantrieb genannt, wird die Antriebskraft vom Getriebe über eine Kardanwelle auf ein Tellerrad übertragen, welches das Hinterrad antreibt (Bild 20.11).

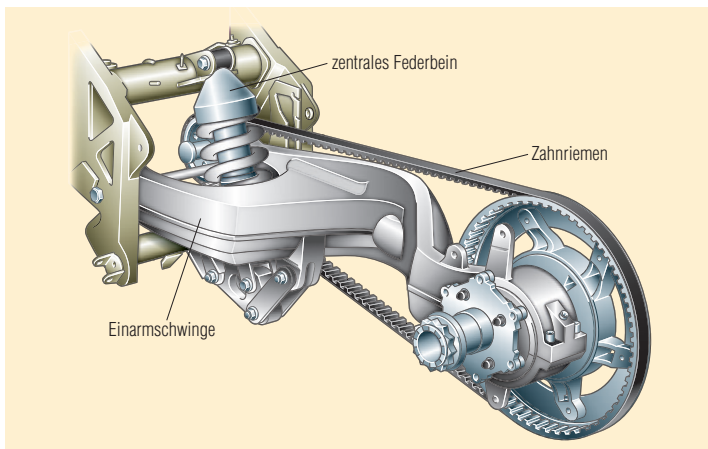


Bild 20.10 Zahnriemenantrieb.

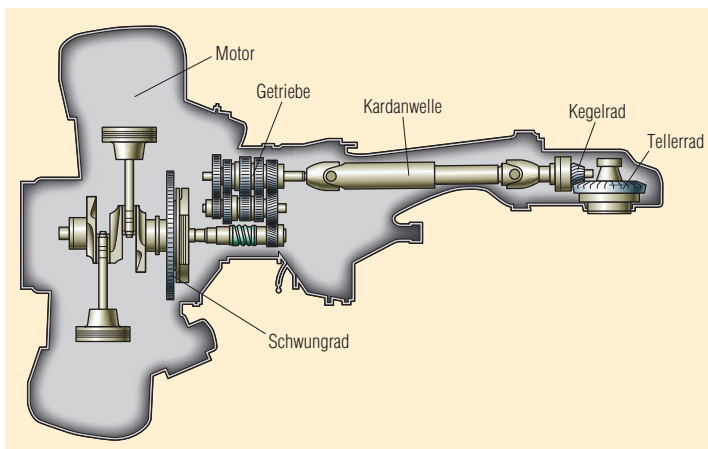


Bild 20.11 Kegelradantrieb.

Der Direktantrieb wird vor allem bei Rollern und leichten Maschinen verwendet. Der Motor treibt das Hinterrad direkt an. Häufig ist eine Triabsatzschwing eingebaut, bei der Motor und Hinterrad um einen gemeinsamen Drehpunkt schwingen (Bild 20.12).

Kardantrieb und Direktantrieb sind meist vollständig gekapselt und damit unempfindlich gegen Witterungseinflüsse. Sie arbeiten weitest gehend wartungsfrei und bieten daher eine hohe Betriebssicherheit.

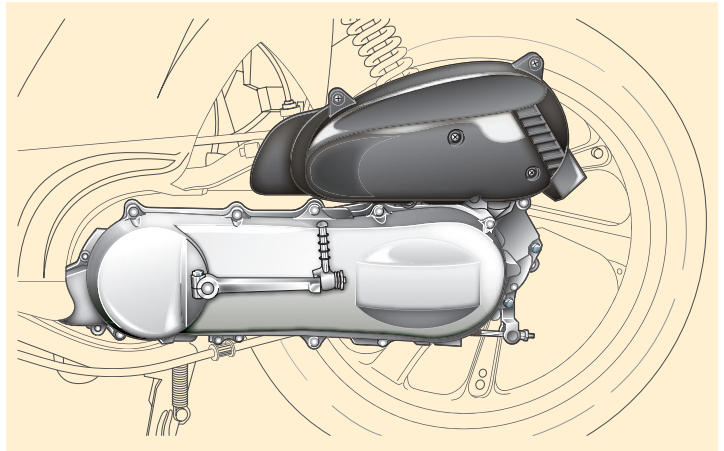


Bild 20.12 Triabsatzschwinge.

Arbeitsaufträge

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen Schräglaufwinkel und Fahrverhalten eines Fahrzeugs? Fertigen Sie eine Skizze an und erklären Sie diese.
2. Wie beeinflussen die Lage von Motor und angetriebener Achse das Fahrverhalten eines Fahrzeugs?
3. Warum ist untersteuerndes Fahrverhalten vom ungeübten Fahrer besser zu beherrschen?
4. Warum ist übersteuerndes Fahrverhalten bei sportlichen Fahrzeugen gewünscht?
5. Welche Vor- und Nachteile besitzt der Allradantrieb? Erläutern Sie dies auch mithilfe des Kamm'schen Kreises.

21 Fahrwerksgeometrie

Das Fahrwerk eines Fahrzeugs besteht aus folgenden Komponenten:

- Radaufhängungen bzw. Achsen,
- Räder / Reifen,
- Federung / Dämpfung,
- Lenkung,
- Bremsen.

21.1 Anforderungen an das Fahrwerk

Alle zwischen Fahrzeug und Straße wirkenden Kräfte müssen durch das Fahrwerk übertragen werden. Die dabei entstehenden Fahrwerksbewegungen müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass die beiden Hauptforderungen an ein Fahrwerk erfüllt sind:

- hoher Fahrkomfort,
- hohe Fahrsicherheit.

Fahrkomfort. Fahrbahnunebenheiten sollten für den Fahrer möglichst gar nicht spürbar sein. Dazu müssen die Räder vor allem vertikal (großer vertikaler Federweg) aber auch horizontal ausweichen können. Auch beim Bremsen bzw. Anfahren soll der Aufbau weder eintauchen noch ausheben.

Fahrsicherheit. Hoher Fahrkomfort darf niemals zu unbeabsichtigten Radbewegungen führen, denn die Räder müssen stets eine definierte

Radstellung zur Fahrbahn haben. Nur dann sind sie in der Lage, die erforderlichen Seitenkräfte zu übertragen. Da die Bewegungen von Rädern (Ein- und Ausfedern) und Fahrzeugaufbau (Wanken, Nicken, Bild 21.1) nicht zu vermeiden sind, werden diese gezielt genutzt um die Radseitenkraft mit aufzubauen.

Das Ziel jeder Fahrwerkskonstruktion ist es, den Gegensatz zwischen hoher Fahrsicherheit und hohem Fahrkomfort aufzulösen. Dazu müssen vor allem die ungefederten Massen der **Radaufhängung** möglichst gering sein und die Räder müssen voneinander unabhängig Bewegungen ausführen können.

Weitere Anforderungen an das Fahrwerk sind:

- möglichst kleiner Bauraumbedarf,
- geringe Kosten,
- geringer Wartungsaufwand.

eintauchen =
einfedern;
ausheben =
ausfedern.

Radaufhängung
→ S. 397

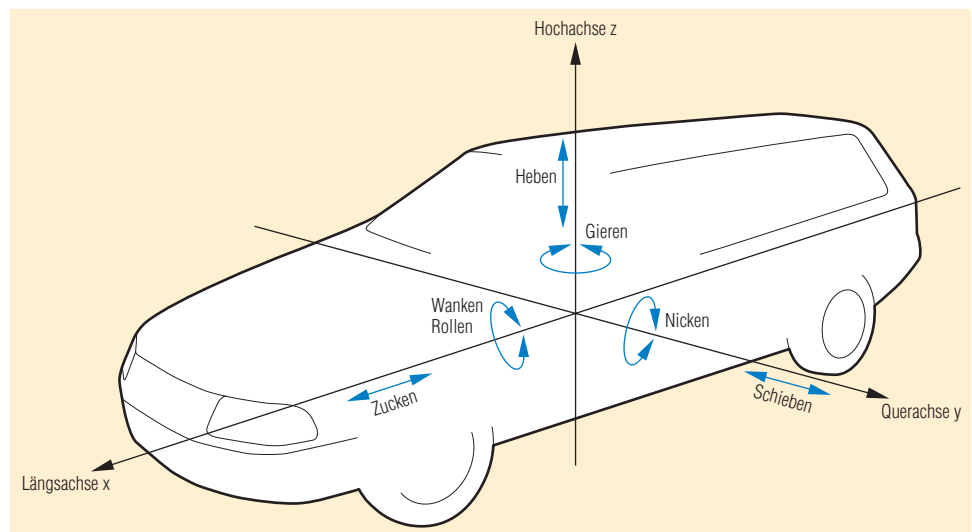


Bild 21.1 Bewegungsmöglichkeiten eines Fahrzeugs.

21.2 Bewegungen des Gesamtfahrzeugs

Die Bewegungsmöglichkeiten (Freiheitsgrade) des Gesamtfahrzeugs werden in geradlinige und drehende unterschieden und mithilfe eines dreidimensionalen Bezugssystems beschrieben (Bild 21.1). Die tatsächliche Fahrzeugbewegung ergibt sich aus einer Kombination aller möglichen Bewegungen.

Radpol P und Rollzentrum Ro . Beim Ein- und Ausfedern beschreibt jedes Rad einen Kreisbogen um einen Drehpunkt, den so genannten Radpol P (Bild 21.2). Da sich dieser Drehpunkt während der Radbewegung ständig verschiebt, wird er auch als Momentanpol bezeichnet. Der Radpol ist von der Art der Radaufhängung abhängig und bestimmt neben der Spurweiten- und **Sturzänderung** beim Einfedern auch das Wank- oder Rollzentrum Ro der Achse (Bild 21.2). Um dieses Rollzentrum bewegt sich der Fahrzeugaufbau bei Einwirkung einer Seiten-

kraft. Vorder- und Hinterachse haben jeweils ein eigenes Rollzentrum.

Wank- oder Rollachse. Der gesamte Fahrzeugaufbau neigt sich nicht um einen Drehpunkt, sondern um eine Drehachse, die so genannte Wank- oder Rollachse (Bild 21.2). Diese Achse entsteht durch die Verbindungslinie der beiden Rollzentren von Vorder- und Hinterachse. Da sich diese Achse bei Bewegungen des Aufbaus ebenfalls ständig verschiebt, bezeichnet man sie auch als Momentanachse.

Die **Nickachse** ist die Momentanachse, um die der Aufbau beim Bremsen bzw. Beschleunigen nickt.

Ein nahe den beiden Momentanachsen liegender Aufbauschwerpunkt Bo kann Wank- bzw. Nicktendenzen verhindern oder reduzieren.

geradlinig = linear
= translatorisch;
drehend = rotatorisch.

Sturz → S. 391

Bo : von engl. body
= Karosserie

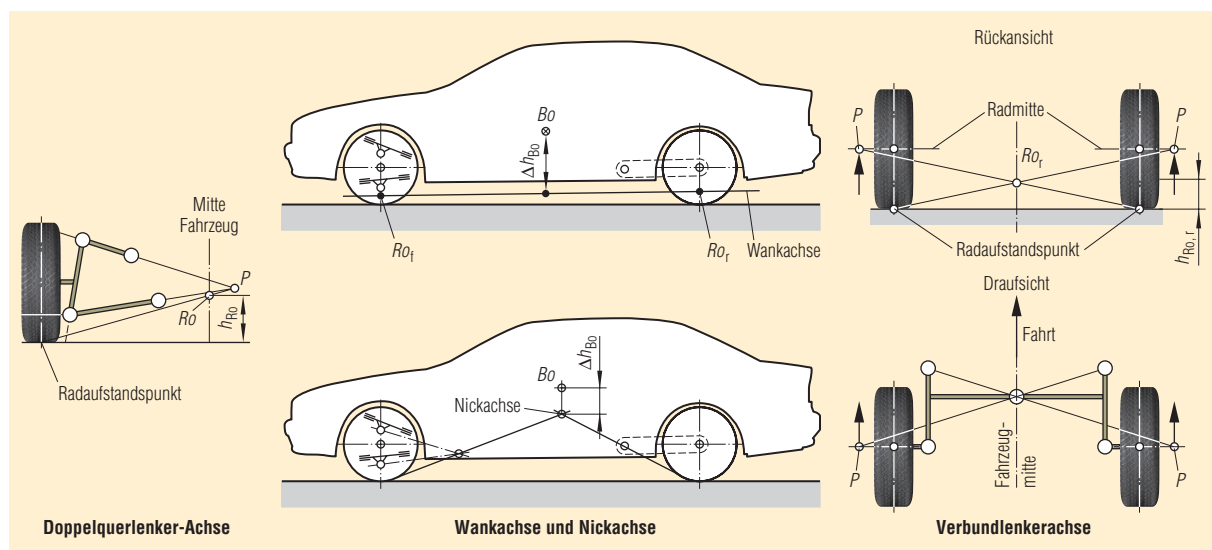


Bild 21.2 Momentanpole und -achsen.

21.3 Achseinstellwerte

Die Achseinstellwerte bestimmen die Radstellung im Verhältnis zum Gesamtfahrzeug und untereinander. Die richtigen Einstellungen sind u. a. Voraussetzung für:

- einwandfreien Geradeauslauf,
- gute Haftung der Reifen bei Kurvenfahrt,

- geringen Reifenverschleiß,
- korrektes Bremsverhalten.

Durch die Stellung der Räder wird auch das Fahrverhalten bei Kurvenfahrt erheblich mit beeinflusst.

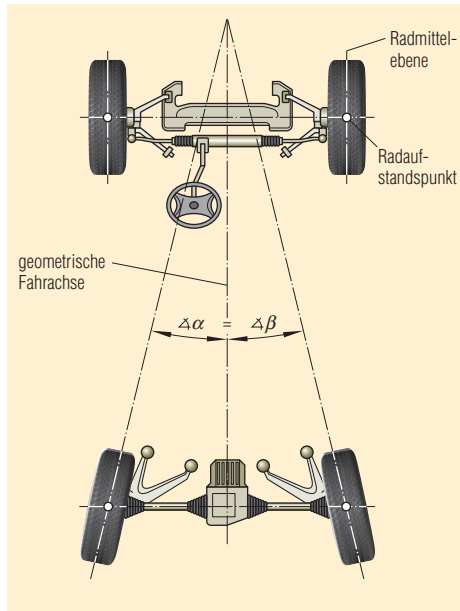


Bild 21.3 Geometrische Fahrachse als spurgebende Achse des Fahrzeugs.

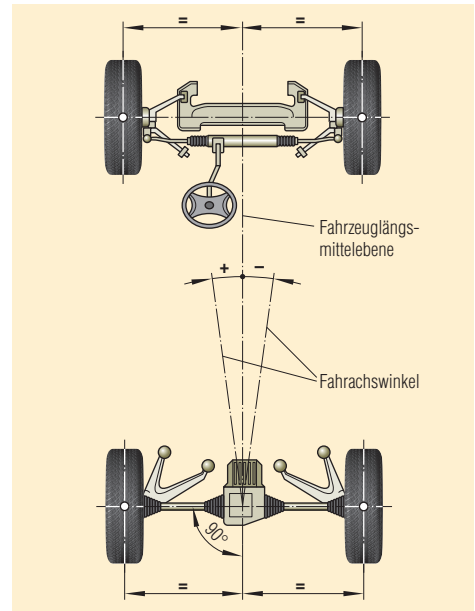


Bild 21.4 Abweichen der Fahrachswinkel von der Fahrzeuglängsmittlebene.

Zur Bestimmung der Achseinstellwerte werden Bezugsgrößen benötigt (Bilder 21.3 und 21.4):

Die **Radmittelebene** (Bild 21.3) ist die zur Radrehachse senkrechte Mittelebene des Reifens.

Der **Radaufstandspunkt** (Bild 21.3) ist der Schnittpunkt der Radmittelebene mit der Drehachse auf der Fahrbahnebene.

Die Hinterachse ist die spurgebende Achse des Fahrzeugs. Deshalb beziehen sich alle Messungen der Vorderräder auf die **geometrische Fahrachse**. Sie ist die Winkelhalbierende des Gesamtvorspurwinkels der Hinterachse (Bild 21.3). Sie wird auch als Fahrachswinkel bezeichnet, d.h. die Abweichung einer Mittelsenkrechten auf der Hinterachse zur Fahrzeuglängsmittlebene (Bild 21.4).

Die **Fahrzeuglängsmittlebene** (Symmetrieachse, Bild 21.4) ist eine feste Ebene im Fahrzeug, die senkrecht zur Fahrbahn steht und durch die Mitte der Spurweite der Vorder- und Hinterachse geht.

Achseinstellwerte bzw. Messgrößen sind:

- Radstand,
- Spurweite,
- Sturz,
- Spreizung,
- Lenkrollhalbmesser (oder -radius),
- Spur,

- Nachlauf,
- Spurdifferenzwinkel.

Der **Radstand** (Bild 21.5) ist der Abstand von der Mitte der Vorderachse bis zur Mitte der Hinterachse. Große Radstände erhöhen den Fahrkomfort und vergrößern den nutzbaren Innenraum. Kurze Radstände erleichtern das Befahren enger Kurven.

Die **Spurweite** ist das Maß von Reifenmitte zu Reifenmitte einer Achse. Bei Zwillingsbereifung wird von Mitte Zwillingsrad zu Mitte Zwillingsrad gemessen. Eine große Spurweite erlaubt höhere Kurvengeschwindigkeiten. Aus Radstand und Spurweite errechnet sich die **Radaufstandsfläche**.

Radaufstandsfläche → Bild 21.9

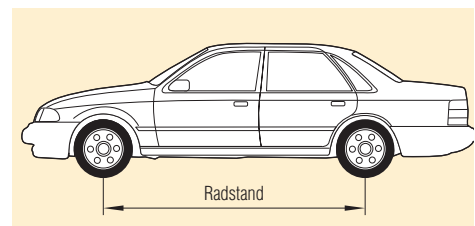


Bild 21.5 Radstand.

Der **Sturz** ist der Winkel zwischen der Radmittelebene und einer Senkrechten zur Fahrbahnebene (Bild 21.6). Stehen die Räder bei Betrachtung von vorn oder hinten gesehen auf der Fahrbahn enger zusammen als oben, spricht man von positivem Sturz (Plus-Sturz). Stehen die Räder auf der Fahrbahn weiter auseinander, haben die Räder einen negativen Sturz (Minus-Sturz).

Sturzkräfte drücken das Rad, bedingt durch den Abrollkegel des Rades, ständig gegen das Radlager. Gleichzeitig verlagern sie die Belastung vom schwächeren äußeren Radlager auf das stärkere innere Radlager (Bremsradlager).

Negativer Sturz erhöht die Seitenführungskraft, stabilisiert dadurch den Geradeauslauf und ermöglicht höhere Kurvengeschwindigkeiten. Allerdings nimmt der Verschleiß an der Innenseite der Lauffläche zu. Weiterhin wird die Flatterneigung der Räder verringert.

Die **Spreizung** ist die Schrägstellung der Lenkungs-drehachse (Schwenkachse) gegenüber der Fahrbahnsenkrechten (Bild 21.7). Sturz und Spreizung bilden einen gemeinsamen Winkel (so genannter eingeschlossener Winkel), der bei Federbewegungen des Fahrzeugs gleich bleibt. Die Spreizung ist konstruktionsbedingt vorgegeben und kann deshalb häufig nicht eingestellt werden.

Wird das Rad zum Lenken eingeschlagen, hebt sich das Fahrzeug an. In Verbindung mit der Gewichtskraft und dem Lenkrollhalbmesser entsteht ein Moment, das für das Rückstellen der Lenkung in die Geradeausstellung (stabiler Zustand) sorgt. Somit ist die Spreizung nur bei eingeschlagenen Rädern wirksam.

Der **Lenkrollhalbmesser** (auch Lenkrollradius) ist der Abstand zwischen der Radmittelebene und dem Punkt, an dem die Verlängerung der Schwenkachse die Fahrbahn schneidet (Bild 21.8). Der Lenkrollhalbmesser kann positiv, negativ oder null sein. Durch die Konstruktion ergibt er sich aus Sturz, Spreizung und Einpresstiefe der Felge und ist nicht messbar, kann jedoch verändert werden. Er verringert die Lenkkräfte durch das Abrollen des Rades beim Einschlagen und verbessert den Geradeauslauf.

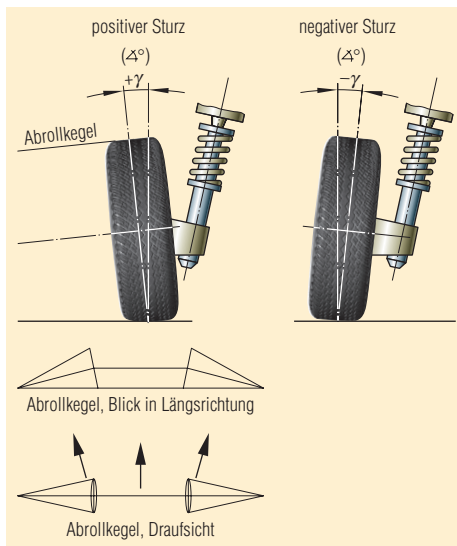


Bild 21.6 Positiver und negativer Sturz.

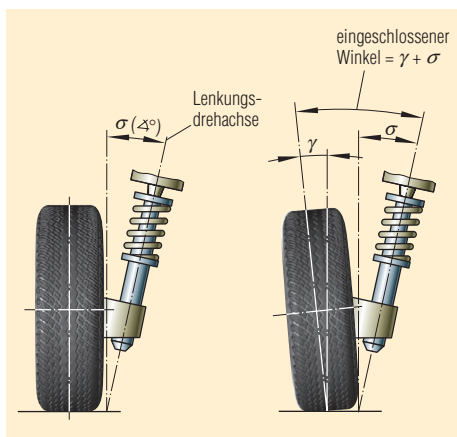


Bild 21.7 Spreizung.

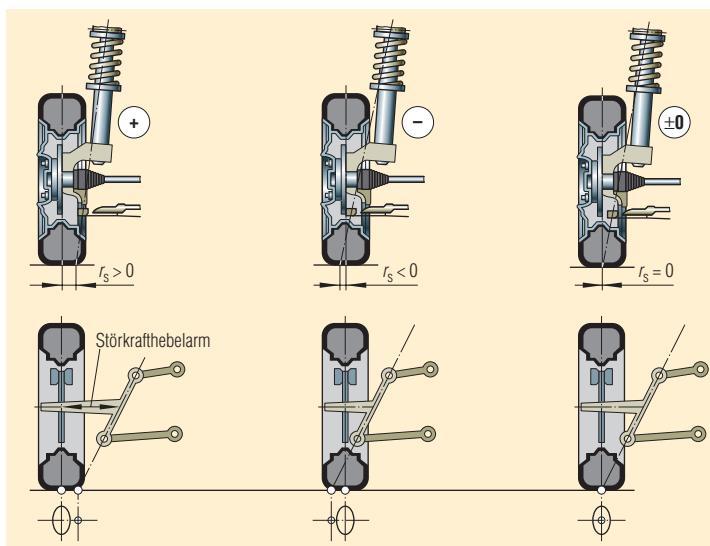


Bild 21.8 Lenkrollhalbmesser.

Störkrafthebelarm: Abstand zwischen Radmittelebene und Spreizung in Höhe des Radlagers.

Positiver Lenkrollhalbmesser (Bild 21.9). Die von vorne am Rad angreifenden Bremskräfte ziehen das Rad nach außen, die Antriebskräfte ziehen es nach innen. Dies muss durch Einstellen der Spur ausgeglichen werden. Treten beim Bremsen, bedingt durch Reifen- und Fahrbahnbeschaffenheit, an den Vorderrädern unterschiedliche Bremskräfte (Bremskreisauerteilung) auf, zieht das Fahrzeug schief, da ein Rad stärker nach außen zieht als das andere. Zusätzlich wird dieser Effekt verstärkt, weil die unterschiedlichen Reibkräfte an den Rädern ein Giermoment am Fahrzeug hervorrufen.

Negativer Lenkrollhalbmesser (Bild 21.9). Die von vorne am Rad angreifenden Bremskräfte ziehen das Rad nach innen, die Antriebskräfte ziehen es nach außen. Auch hier entsteht bei unterschiedlichen Bremskräften an den Vorderrädern ein Giermoment um die Hochachse des Fahrzeugs. Dies wird aber ganz oder teilweise kompensiert, da das Rad mit der stärkeren Bremskraft

stärker nach innen (entgegen dem Giermoment) gezogen wird (Bild 21.9). Die Schleudergefahr wird geringer.

Der Lenkrollhalbmesser null verhindert eine Übertragung von Störkräften auf die Lenkung, vergrößert aber die Lenkkräfte im Stand, weil das Rad auf der Stelle dreht und nicht abrollen kann.

Bei der **Spur** unterscheidet man die Gesamt- und Einzelspur. Die Gesamtspur wird aus der Differenz des – von oben gesehenen – vorderen und hinteren Abstands zwischen den Rädern einer Achse gebildet. Gemessen wird an den Felgenhörnern in Höhe der Radmitte (Bild 21.10). Ist das Maß vorne kleiner, so spricht man von Vorspur (Plus-Spur), wenn das Maß hinter der Achse kleiner ist, von Nachspur (Minus-Spur). Parallel stehende Räder ergeben Spur null.

Bei der elektronischen Fahrwerksvermessung wird die Spur in Winkelminuten gemessen, dadurch muss der Wert nicht mehr auf den Felgendurchmesser bezogen werden.

Der Gesamtvorspurwinkel einer Achse ergibt sich, wenn der Vorspurwinkel des rechten und des linken Rades jeweils addiert werden. Die Einzelspur bezeichnet den Winkel eines Vorderachsenrades bezogen auf die geometrische Fahrachse oder eines Hinterachsenrades in Bezug auf die Symmetrieachse.

Bei Geradeausfahrt entstehen durch den Lenkrollradius Kräfte, die an den Rädern eine Spurveränderung bewirken. Angetriebene Räder ziehen in eine Vorspur. Geschobene Räder werden in eine Nachspur gedrückt. Um ein Radieren der Reifen zu vermeiden, stellt man eine achsspezifische Spur ein. Angetriebene Vorderachsen mit positivem Lenkrollhalbmesser erhalten Nachspur, mit negativem Lenkrollhalbmesser Vorspur. Bei nicht angetriebenen Vorderachsen verhält es sich umgekehrt. Hinterachsen erhalten eine Vorspur. Eine korrekte Einstellung der Spur stabilisiert den Geradeauslauf, verhindert Lenkungsflattern und verbessert das Kurvenverhalten.

Bei den meisten Einzelradaufhängungen entstehen beim Ein- und Ausfedern Spurweitenänderungen. Diesen Fehler versucht man durch die Beladung bei der Vermessung oder durch das Messen einer Vorspurkurve auszugleichen.

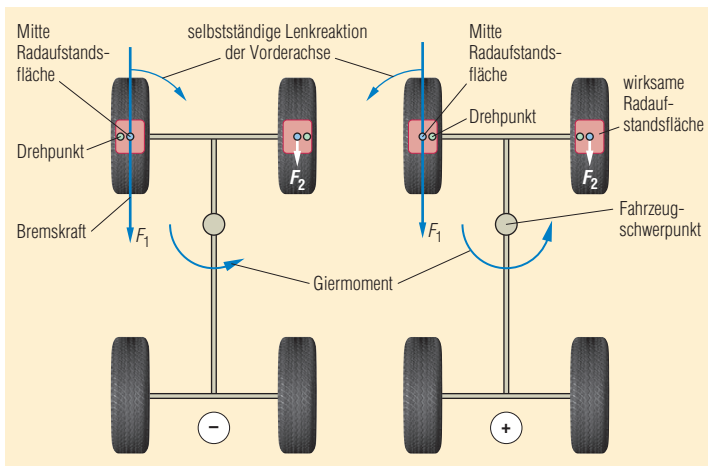


Bild 21.9 Wirkung des negativen und positiven Lenkrollhalbmessers.

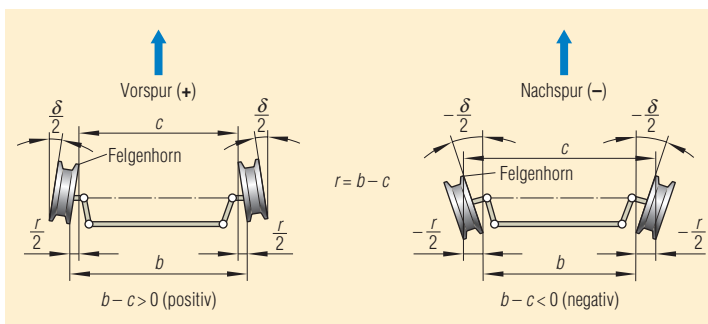


Bild 21.10 Vorspur und Nachspur.

Messungen an der Vorderachse	Messungen an der Hinterachse	zusätzliche Messungen
Spur (Einzel- und Gesamtpur, bezogen auf die geometrische Fahrachse sowohl normal als auch angehoben = Vorspurkurve)	Spur (Einzel- und Gesamtpur, bezogen auf die Längsmittelsebene des Fahrzeugs = Symmetrieachse)	maximaler Lenkwinkel (Vorder- und Hinterachse)
Sturz (bei Fahrt geradeaus oder Spur null)		Radversatz hinten
Radversatz, bezogen auf das linke Vorderrad	Fachrachswinkel	Radstanddifferenz
Nachlauf, Spreizung und Spurdifferenzwinkel (gemeinsam ermittelt in gerätespezifischen Messungen)	Sturz	Seitenversatz (rechts und links)
		Spurweitendifferenz
		Achsversatz
Tabelle 21.1	Messmöglichkeiten einer modernen Achsvermessungsanlage.	

Geräte mit anderen Messmethoden wie mechanische, optische und optisch-mechanische Systeme werden bei der Nutzfahrzeugvermessung eingesetzt.

Von den Messwertaufnehmern werden die Radstellungsdaten zum Computer übermittelt. Über einen Soll-Ist-Vergleich werden die Daten überprüft und im Gegensatz zu früheren Anlagen optimiert. Die verarbeiteten Daten werden auf dem Bildschirm oder mittels Drucker ausgegeben. Die eigentliche Messung erfolgt menü-

steuert. Zusätzlich können mittels CD-ROM Einstellhilfsgrafiken und Bilder abgerufen werden.

Die hohe Genauigkeit moderner Achsvermessungsanlagen und eine hohe Fertigungsgenauigkeit erfordern eine gewissenhafte Arbeitsvorbereitung und genaue Durchführung der Vermessung und Einstellung entsprechend den Vorschriften. Nur so lassen sich optimale und verwertbare Ergebnisse erzielen.

Werkstattpraxis

- Schließen Sie mögliche Fehlerquellen an der Achsvermessungsanlage durch regelmäßiges Justieren bzw. Kalibrieren aus (Updates).
- Achten Sie auf eine regelmäßige Wartung der Vermessungshebebühne (Prüfbuch).
- Archivieren Sie die Messwertprotokolle für spätere Reklamationen und notieren Sie spezielle Vermessungen, die von der Norm abweichen.
- Je besser die Vorinspektion eines Fahrzeugs (inklusive der alten Reifen), umso besser der Erfolg Ihrer Achsvermessung.
- Ermitteln Sie den korrekten Höhenstand bzw. belasten Sie das Fahrzeug genau nach der Vorschrift des Fahrzeugherstellers. Benutzen Sie einen Spurdrücker.
- Arbeiten an Lenkrädern mit Airbag dürfen nur autorisierte (geprüfte) Personen durchführen.
- Sollte im Rahmen der Achsvermessung ein Austausch von Schrauben vorgeschrieben sein, so sind unbedingt neue Schrauben zu verwenden.

21.3.2 Auswirkungen fehlerhafter Rad- und Achseinstellwerte

Messgröße	mögliche Fehlstellung	Fehlerauswirkung
Fahrachswinkel	ungleich null	Dackellauf (Dackelspur)
	negativ	Fahrzeug lenkt nach links
	positiv	Fahrzeug lenkt nach rechts
Spur	Nachspur zu groß	Gratbildungen im Reifenprofil von innen, schwammiges Fahrverhalten
	Vorspur zu groß	Gratbildungen im Reifenprofil von außen, nervöser Geradeauslauf
Sturz	zu positiv	Profiltiefe von außen nach innen steigend
	zu negativ	Profiltiefe von innen nach außen steigend
Spur und Sturz	verstellt	Sägezahnabrieb bis zur Mitte der Reifenauflauffläche
Spreizung	zu groß	hohe Lenk- und Haltekräfte
	zu gering	schlechte Lenkrückstellung, Anfälligkeit für Reifenfehler
	rechts/links	anfällig für Schiefziehen
Nachlauf	zu groß	hohe Lenk- und Rückstellkräfte
	zu gering	schlechte Lenkrückstellung, anfällig für Reifenfehler, empfindlich gegen Seitenwind, Schiefziehen
	links/rechts unterschiedlich	Schiefziehen
Spurdifferenzwinkel	zu klein / zu groß	erhöhter Reifenverschleiß, Fahrzeug bricht bei Kurvenfahrt aus, schlechte Lenkradrückstellung in engen Kurven
Radversatz, Achsver-satz, Seitenversatz, Radstanddifferenz, Spurweitendifferenz		Fahrzeugverhalten bei Kurvenfahrt links bzw. rechts unterschiedlich, Eigenlenken des Fahrzeugs (Bild 21.14)
Tabelle 21.2		Auswirkungen fehlerhafter Rad- und Achseinstellwerte.

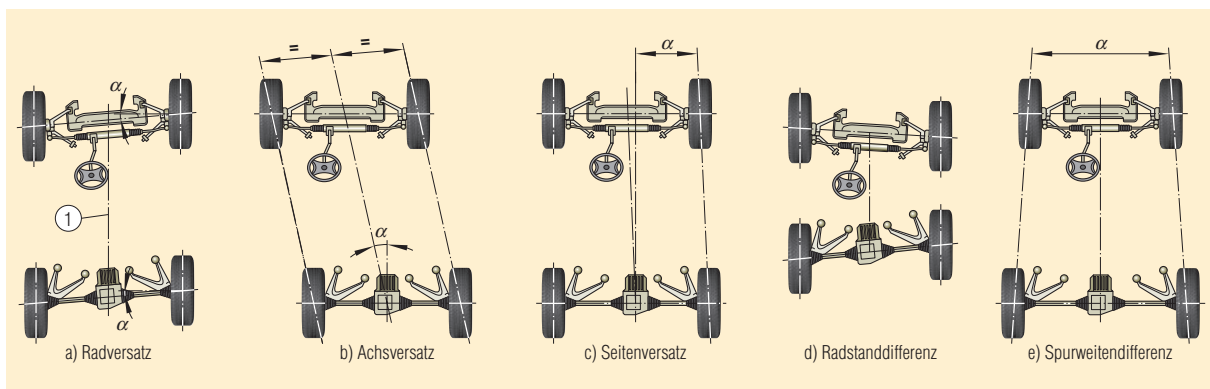
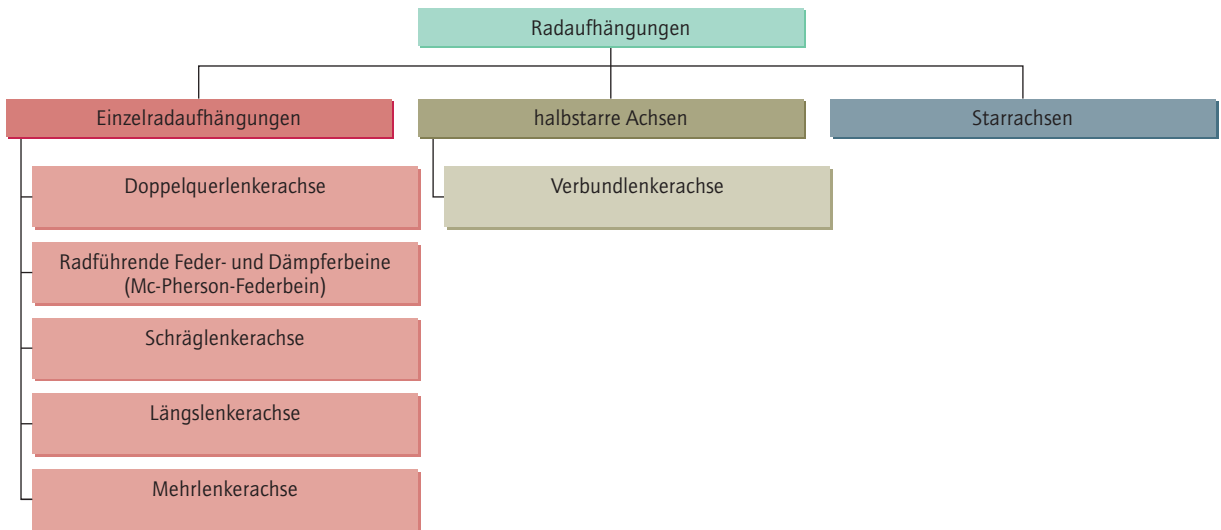


Bild 21.14 Zusätzliche Messgrößen bei der Fahrwerksvermessung.

Arbeitsaufträge

1. Lassen sich die beiden Forderungen nach Fahrkomfort und Fahr-sicherheit bei einem Fahrwerk optimal verwirklichen?
2. Warum verringert die Lage des Fahrzeugschwerpunkts nah an den Momentanachsen die Neigung zu Wanken und Nicken?
3. Begründen Sie die Notwendigkeit der Radeinstellwerte.
4. Welche einzelnen Abhängigkeiten lassen sich bei den Radeinstell-werten ableiten und welche Konsequenz ergeben sich daraus für die Reihenfolge der Einstellarbeiten?
5. Wie verändern sich Sturz- und Spreizungswinkel beim Ein- und Aus-federn?
6. Erstellen Sie einen Katalog aller vorbereitenden Arbeiten zur Achs-vermessung.
7. Vergleichen Sie
 - a) eine 2-Rad- und 4-Radvermessung,
 - b) eine optische Achsvermessung mit einer Computer-Achsver-messung,
 - c) eine Pkw- mit einer Lkw-Vermessung.
8. Unter welchen besonderen Bedingungen können und müssen Sie bei der Achsvermessung begründet von den vorgeschriebenen Werten abweichen?
9. Ermitteln Sie mithilfe technischer Unterlagen der Fahrzeughersteller und Bedienungsanleitungen der Achsvermessungsanlagen, wie der Ablauf einer Vorspurkurvenmessung erfolgen muss und welche Hilfs-geräte dazu nötig sind.
10. Beschreiben Sie die Besonderheiten bei den Einstellarbeiten bei Fahr-zeugen mit einem so genannten Hilfsrahmen.
11. Informieren Sie sich über die Einstellmöglichkeiten „nichtestell-barer“ Achsen.
12. Diskutieren Sie die Problematik bei Veränderungen am Fahrwerk bzgl. Achsvermessung und Fahrverhalten.

21.4 Radaufhängungen



Der Fahrzeugaufbau bewegt sich ständig in Längs- und Querrichtung. Damit die dabei entstehenden Kräfte (Bild 21.15) gut auf die Straße übertragen werden können, müssen die Reifenauflandsflächen und die Straßenoberfläche möglichst guten Kontakt halten. Dazu sind bewegliche Bauteile, die Radaufhängung, notwendig.

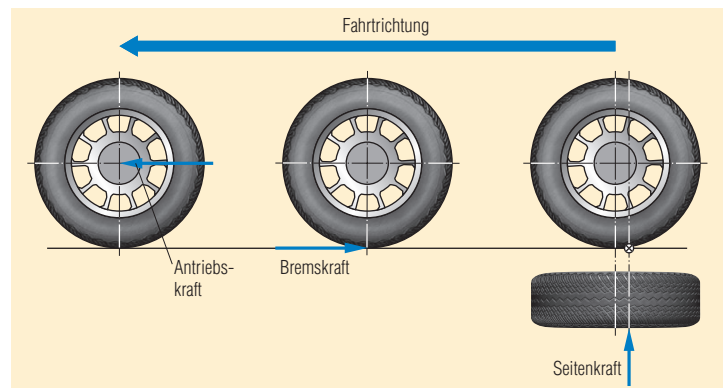


Bild 21.15 Kräfte am Rad.

21.4.1 Bauteile von Radaufhängungen

Lenker sind ein- oder zweiseitige Hebel. Sie verbinden den Rahmen oder Aufbau eines Fahrzeugs gelenkig mit dem Achsschenkel, einem Radlagergehäuse oder einer Starrachse. Die Lenker werden jeweils nach ihrer Lage zur Fahrzeuglängsachse bezeichnet (Bild 21.16):

- Lenker senkrecht zur Längsachse heißen Querlenker,
- Lenker parallel zur Längsachse heißen Längslenker,
- Lenker mit einer schräg zur Längsachse angeordneten Drehachse heißen Schräglenker.

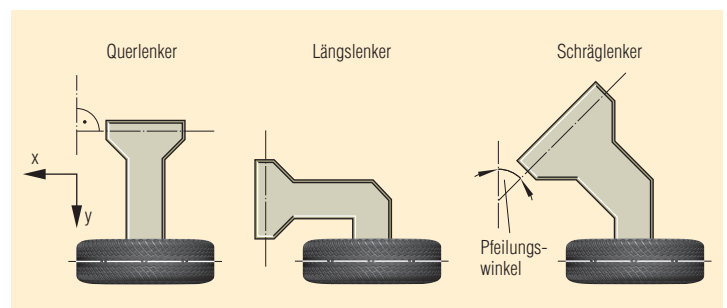


Bild 21.16 Lenkerbezeichnungen nach Form und Funktion.

Tabelle 21.3 (S. 398) zeigt die kinematischen Besonderheiten der jeweiligen Lenkertypen. Die Veränderungen der Werte von Radstand, Spurweite, Sturz und Spur sind zwar meist nur gering, haben jedoch wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten und den Reifenverschleiß.

Lenkerart

Bewegung des Aufbaus beeinflusst	Längslenker	Querlenker	Schräglenker	Mehrtenker
Radstand	ja	nein	ja	ja
Spurweite	nein	ja	ja	ja
Sturz	nein	ja	ja	ja
Spur	nein	evtl.	ja	ja

Tabelle 21.3

Kinematische Besonderheiten der Lenkerarten.

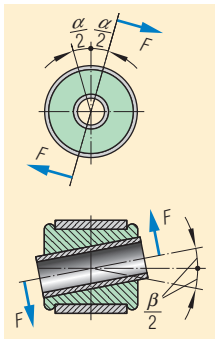


Bild 21.17 Augenlenker mit möglichen Verdrehwinkeln.

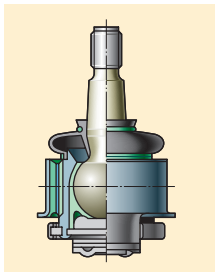


Bild 21.18 Kugelgelenk.

Lenkerlagerungen. Die Lenker werden meist in Augengelenken gelagert (Bild 21.17). Diese bestehen aus einer Gummibuchse, die zwischen einem äußeren Ring und einem inneren Rohr eingepresst ist. Diese Gelenke lassen sich in alle Richtungen elastisch verdrehen, was eine nachgiebige Lagerung der Lenker erlaubt. Die elastische Lagerung dämpft vor allem Geräusche, die durch stoßartige Bewegungen der Lenker beim Befahren unebener Fahrbahnen hervorgerufen werden.

Neben den elastischen Lagerungen werden auch Führungs- und Tragelenke eingesetzt. Diese Gelenke dürfen nicht elastisch nachgiebig sein. Sie werden meist als Kugelgelenke ausgeführt (Bild 21.18). Kugelgelenke können um bis zu 360° verdreht werden und erlauben Winkelabweichung bis zu 40°.

Fahrschemel (Hilfsrahmen). Die Kombination von Lenkern, Federn, Dämpfern und Achsträger in einer Baugruppe bezeichnet man als Fahrschemel oder Hilfsrahmen. Die Fahrschemel sind meist mit elastischen Lagern am Aufbau befestigt. Dadurch ist dieser besser gegen die Abrollgeräusche der Reifen isoliert.

Panhardstab und Wattgestänge. Der Panhardstab dient zur Abstützung der Seitenkraft bei Starrachsen (Bild 21.28, S. 401). Bei Federbewegungen kommt es aber zu einem seitlichen Versatz der Achse. Dies kann durch den Einbau eines Wattgestänges verhindert werden. Beim Ein- und Ausfedern dreht sich hier lediglich die Schwinge um den Befestigungspunkt am Achskörper (Bild 21.19). Wattgestänge gibt es auch bei Einzelradaufhängungen.

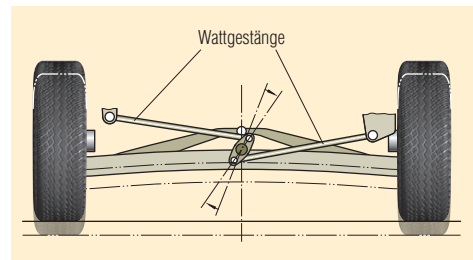


Bild 21.19 Wattgestänge.

21.4.2 Einzelradaufhängungen

Bei Pkws werden an der Vorderachse ausschließlich Einzelradaufhängungen verwendet, an der Hinterachse sind sie die häufigste Bauform.

Bei der Einzelradaufhängung beeinflussen sich die Räder beim Ein- und Ausfedern nicht gegenseitig. Dadurch ist auch bei unebener Fahrbahn immer ein guter Straßenkontakt gegeben. Ein weiterer Vorteil ist die geringe ungefederte Masse. Allerdings ergeben sich beim Ein- und Ausfedern und beim Kurvenfahren Änderungen der Radeinstellwerte, was zu schwer beherrschbarem Fahrverhalten und erhöhtem Reifenverschleiß führt. Dies muss durch aufwändige Konstruktionen ausgeglichen werden (z. B. Mehrlenkerachse). Daher erhöhen sich die Kosten dieser Radaufhängung.

Die Radführungselemente bei Einzelradaufhängungen heißen Lenker. Je nach Form und Anzahl der Lenker werden verschiedene Einzelradaufhängungen unterschieden.

Doppelquerlenker-Achse. Zwei Querlenker sind übereinander angeordnet. Je nach Länge und Anordnung der beiden Lenker lässt sich die Änderung von Radeinstellwerten beim Ein- und Ausfedern beeinflussen. So ist z. B. der obere Lenker meistens kürzer ausgeführt als der

untere, sodass sich beim Ein- und Ausfedern bei Kurvenfahrt ein negativer Sturz einstellt, der die Seitenführungskraft erhöht. Zur Erhöhung der Festigkeit können die beiden übereinander liegenden Querlenker als Dreieckslenker ausgeführt werden (Bild 21.20).

Radführende Feder- und Dämpferbeine (McPherson-Achse) (Bild 21.21). Diese Bauart stellt eine Weiterentwicklung der Doppelquerlenker-Achse dar, wobei die Befestigung des oberen Lenkers (Stützlager) weit nach oben in den Radkasten verschoben wurde. Gleichzeitig sind die Kolbenstange des Dämpfers und die Schraubenfeder an diesem Stützlager befestigt (Bild 21.22). Da auf den Dämpfer zusätzlich Radführungskräfte wirken, wird der Kolbenstangendurchmesser vergrößert. Wesentlicher Vorteil dieser Konstruktion ist, dass Federung, Dämpfung und Radführung in einer Baueinheit (Federbein) Raum und Gewicht sparend zusammengefasst sind.

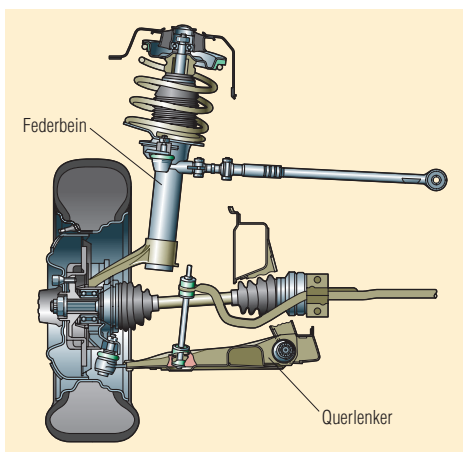


Bild 21.21 McPherson-Achse.

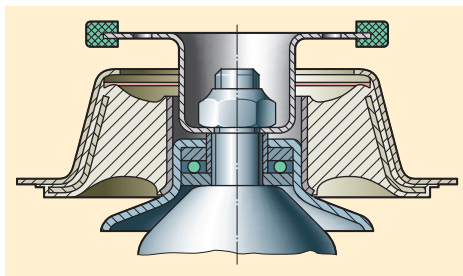


Bild 21.22 Federbein-Stützlager.

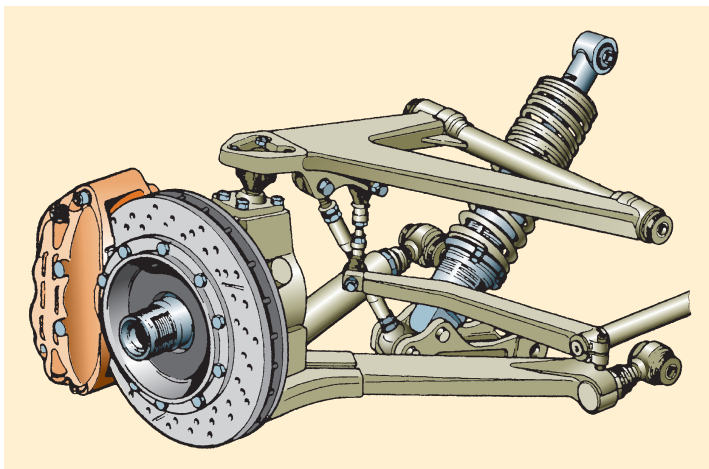


Bild 21.20 Doppelquerlenker-Achse mit Dreieckslenkern.

Längslenkerachse (Kurbelachse). Die Radführung wird auf jeder Fahrzeugseite von einem in Längsrichtung angeordneten Lenker übernommen (Bild 21.23). Der Raum sparende Aufbau ermöglicht es, Kraftstoffbehälter und Reserverad zwischen den beiden Lenkern unterzubringen. Bei Längslenkerachsen wird beim Ein- und Ausfedern lediglich der Radstand beeinflusst. Allerdings ändert sich in Kurven der Radsturz entsprechend der Aufbauneigung (nicht erwünschter positiver Sturz am kurvenäußeren Rad vermindert die Seitenführungskraft).

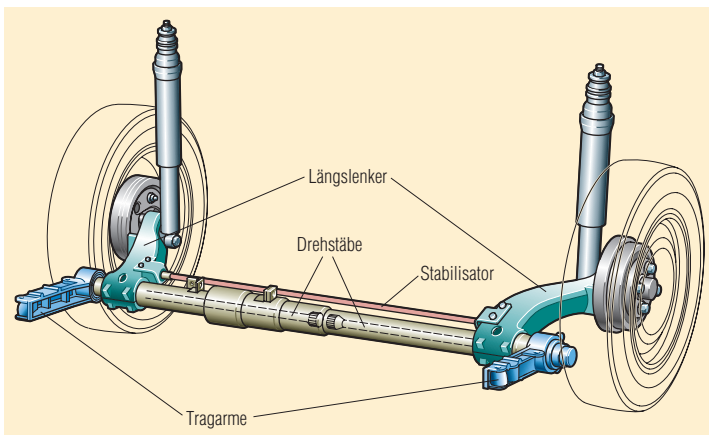


Bild 21.23 Längslenkerachse mit Drehstabfederung.

Schräglenkerachse. Bei dieser Ausführung ist die Drehachse des Dreieckslenkers sowohl horizontal geneigt (Dachwinkel β , Bild 21.24) als auch schräg zur Querachse des Fahrzeugs angeordnet (Pfeilungswinkel α , Bild 21.24). Durch geeignete Wahl dieser beiden Winkel kann die Radkinematik fast beliebig beeinflusst werden (gewünschte Änderung von Sturz und Spur beim Einfedern, Höhe der Momentanpole). Wegen ihres einfachen Aufbaus und ihrer Eignung für den Antrieb sind Schräglenkerachsen bei angetriebenen Hinterachsen weit verbreitet (Bild 21.25).

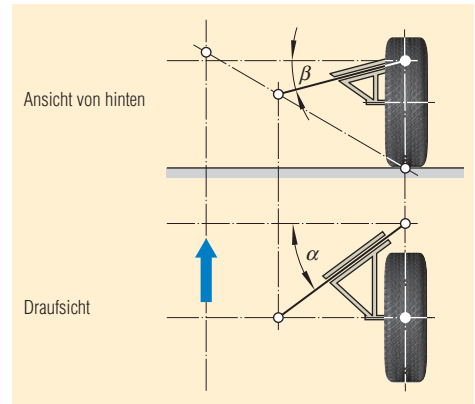


Bild 21.24 Lenkeranordnung bei der Schräglenkerachse.

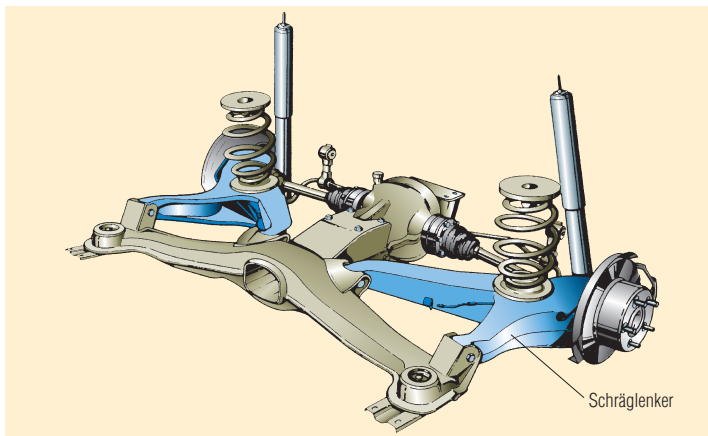


Bild 21.25 Schräglenkerachse.

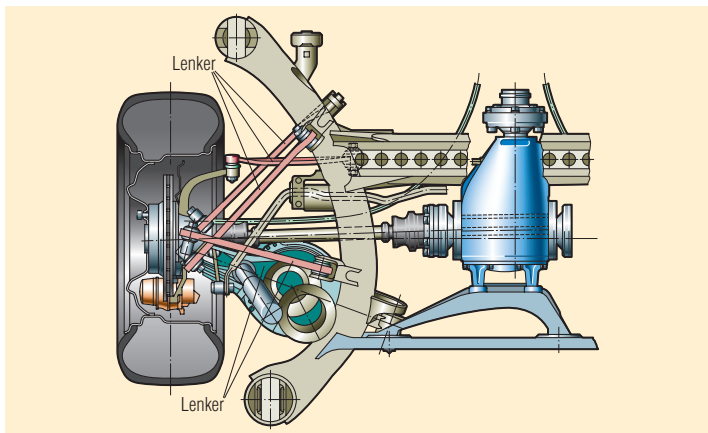


Bild 21.26 Raumlänker-Hinterachse.

Mehrlenkerachse. Hier werden bis zu fünf einzelne Lenker eingesetzt um die am Rad angreifenden Kräfte aufzunehmen (Fünflenker- oder Raumlänkerachse, Bild 21.26). Die nahezu beliebige Anordnung der Lenker lässt einen großen Gestaltungsspielraum bei der Auslegung der Radaufhängung. Durch die gezielte Änderung von Sturz, Spur und Spurweite beim Ein- und Ausfedern kann das Fahrverhalten in Kurven und beim Bremsen und Beschleunigen beeinflusst werden.

Durch die Neigung des Aufbaus und die Seitenkräfte bei Kurvenfahrt wird das einfedernde, kurvenäußere Hinterrad in Vorspur und das ausfedernde kurveninnere Hinterrad in Nachspur gezwungen (Seitenkraftuntersteuern). Dazu sind die Lenker elastisch gelagert. Die Räder lenken in Richtung der Vorderräder, sodass z. B. die Übersteuerungstendenz bei heckgetriebenen Fahrzeugen verringert werden kann.

Durch geeignete Anordnung der Lenker wird das Eintauchen beim Bremsen oder Anfahren verringert oder ganz verhindert (Brems- und Anfahrnickausgleich).

Nachteilig ist der hohe Aufwand in Konstruktion, Fertigung und Montage von Mehrlenkerachsen.

21.4.3 Halbstarre Achsen

Verbundlenkerachse. Zwei Längslenker sind über einen verdrehbaren Querträger verschweißt (Bild 21.27). Je nach Lage dieses Querträgers (in den Drehpunkten der Längsträger oder in deren Mitte) verhält sich diese Bauform bei gleichseitigem Einfedern ähnlich wie eine Starrachse, bei wechselseitigem Einfedern jedoch wie eine Schräglenkerachse. Bei wechselseitigem Einfedern muss der Querträger verdreht werden und wirkt zusätzlich wie ein Stabilisator. Die Verbundlenkerachse ist leicht und erfordert nur geringen Bauaufwand. Allerdings ist sie als gelenkte Achse schlecht geeignet und wegen des Querträgers auch nicht für den Antrieb geeignet. Daher wird sie ausschließlich als nicht angetriebene Hinterachse verwendet.

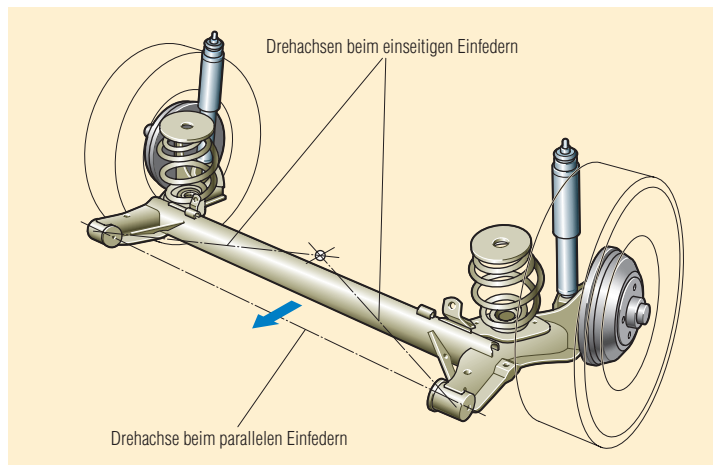


Bild 21.27 Verbundlenkerachse.

21.4.4 Starrachsen

Bei Starrachsen sind beide Räder starr durch einen Achskörper miteinander verbunden, sodass sie keine voneinander unabhängigen Bewegungen ausführen können (Bild 21.28). Starrachsen sind meist einfach und robust aufgebaut und sind im Nutzfahrzeugbereich als angetriebene und gelenkte Achsen besonders geeignet. Dort stellt das große Gewicht dieser Bauart auch kein Problem dar, da ihre ungefederte Masse im Vergleich zur Masse des Aufbaus gering ist. Im Pkw-Bereich werden sie noch selten als nichtangetriebene Hinterachsen verwendet. Sie haben folgende Eigenschaften:

- gegenseitige Beeinflussung beim wechselseitigen Einfedern,
- schlechter Bodenkontakt bei unebener Fahrbahn („Trampeln“),
- großer Raumbedarf beim Einfedern,
- keine Spurweiten-, Spur- und Sturzänderung beim Federn und bei Kurvenfahrt,
- gute Seitenführung bei ebener Fahrbahn,
- einfache und wirtschaftliche Herstellung,
- geringer Reifenverschleiß.

Welche Radaufhängung verwendet wird, ist vom Antriebssystem und von der Verwendung als Vorder- oder Hinterachse abhängig (Struktogramm auf S. 402).

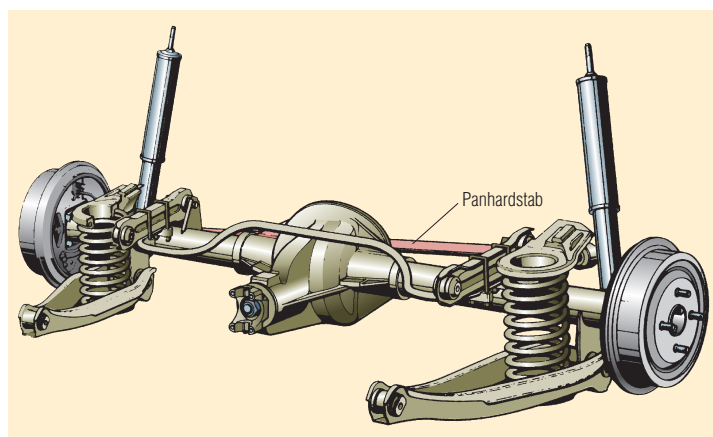
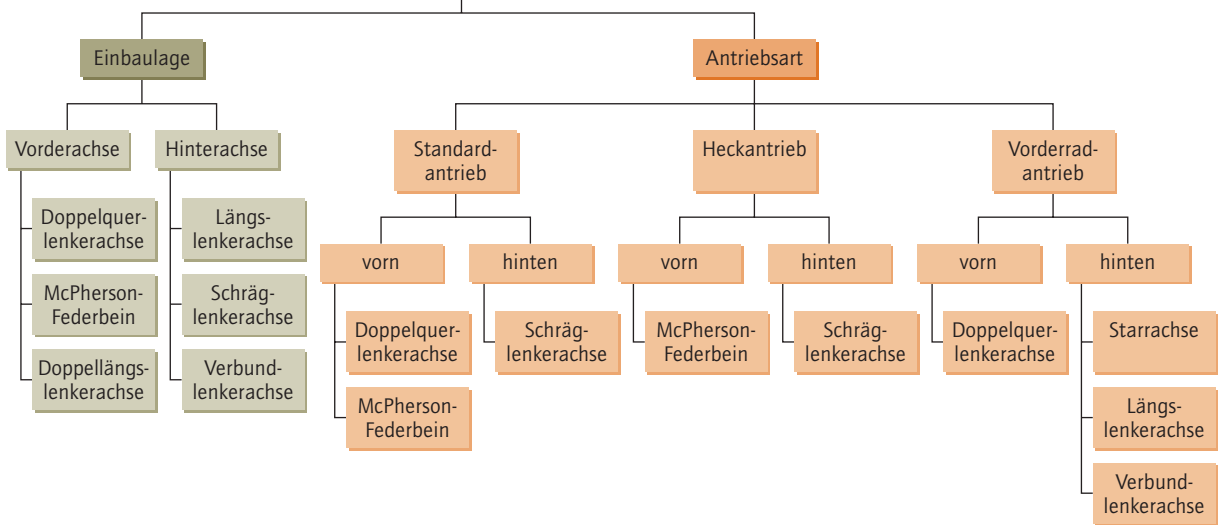


Bild 21.28 Starrachse.

Gebräuchliche Radaufhängungen in Abhängigkeit von



Arbeitsaufträge

1. Warum ist bei Mehrlenkerachsen die Veränderung sämtlicher Radstellungsgrößen beim Einfedern von Vorteil?
2. Fertigen Sie eine einfache Zeichnung an, aus der ersichtlich wird, wie es bei der Querkraftabstützung mit einem Panhardstab zu einem Seitenversatz kommt.
3. Fertigen Sie eine einfache Zeichnung an, aus der ersichtlich wird, dass es bei der Doppelquerlenkerachse mit kürzerem oberem Querlenker beim Ein- und Ausfedern einen negativen Sturz am Rad gibt.
4. Erläutern Sie die Nachteile einer Federbeinvorderachse gegenüber modernen Doppelquerlenkerachsen.

21.5 Motorräder

Hinterradföhrung. Bei Motorrädern werden an der Hinterachse überwiegend Längslenker eingesetzt. Diese werden als Schwingen bezeichnet. Es gibt sie als zweiseitige und als einseitige Varianten. Eine Einarmschwinge mit zusätzlicher Schubstrebe wird als Paraleverschwinge bezeichnet (Bild 21.29). Die Schwingen müssen möglichst spielfrei gelagert werden. Hier findet man deshalb häufig nachstellbare Kegelrollenlagerungen vor.

Vorderradföhrung. Als Vorderradaufhängung wird meist eine Teleskopgabel verwendet, bei der zwei Rohre (Standrohr und Gleitrohr) teleskopartig ineinander gleiten (Bild 21.30). Dabei werden sie durch eine innenliegende Spiralfeder gefedert. Zusätzlich befindet sich eine Dämpfereinheit in den beiden Rohren. Das Gleitrohr ist an der Achse befestigt, das Standrohr an den Gabelbrücken. Es gibt diese in der Standardausführung (Außenrohr = Gleitrohr, Innenrohr = Standrohr) und als Upside-down-Gabel (Innenrohr = Gleitrohr, Außenrohr = Standrohr). Sie besitzt eine höhere Biegesteifigkeit und ein besseres Ansprechverhalten.

Die Teleskopgabel vereint die Funktionen Radföhrung, Federung und Dämpfung in einer Bau-einheit. Der Nachteil dieser Bauart sind hohe Reibungskräfte in der Gleitlagerung zwischen Stand- und Gleitrohren, sobald die Stoßkräfte nicht genau in Gabelrichtung erfolgen.

Bei der Telelevergabel (Bild 21.31) werden Federung und Dämpfung von einem zentralen Federbein übernommen, welches über einen Dreieckslenker gelenkig mit der Gabel verbunden ist.

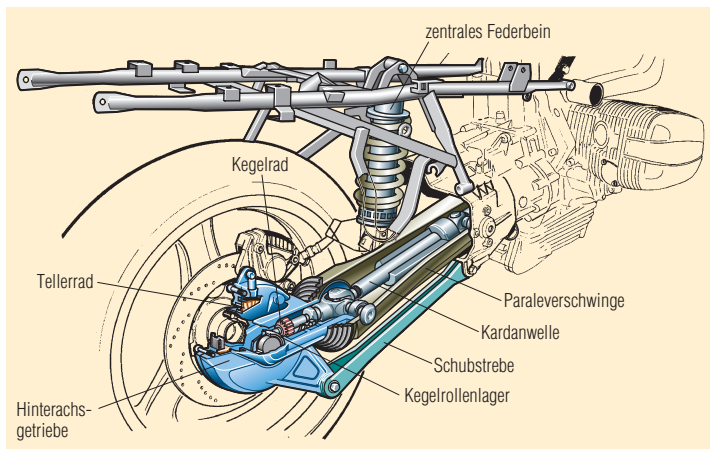


Bild 21.29 Einarmschwinge mit Schubstrebe (Paraleverschwinge).

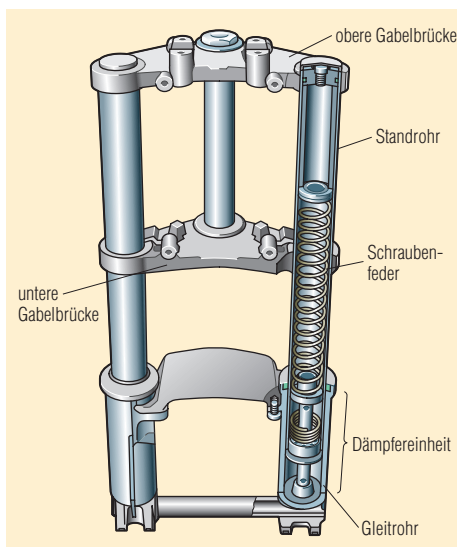


Bild 21.30 Teleskopgabel.

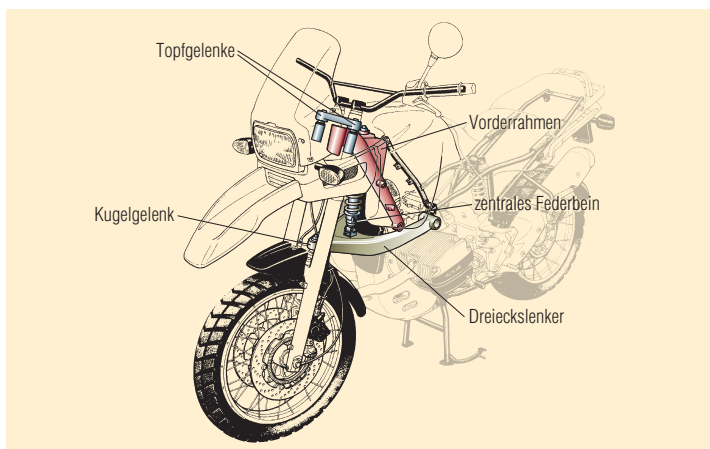


Bild 21.31 Telelevergabel.

22 Federung und Dämpfung

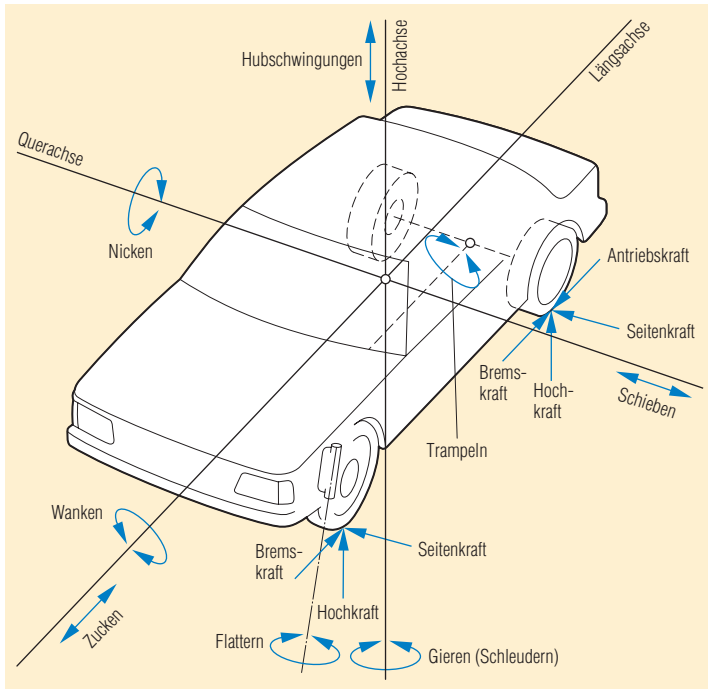


Bild 22.1 Schwingungen und Bewegungen am Fahrzeug (Freiheitsgrade).

22.1 Aufgaben der Federung

Federung, Dämpfung und Stabilisatoren sind neben der Radaufhängung hauptverantwortlich für

- den Fahrkomfort,
- das Kurvenverhalten,
- die Bewegungen des Aufbaus,
- die Betriebssicherheit,
- die Fahrsicherheit.

Viele Kräfte greifen am fahrenden Kraftfahrzeug an: Antriebs- und Bremskräfte, Flieh-, Trägheitskräfte und aerodynamische Kräfte. Auch Unebenheiten auf der Fahrbahn wirken auf die Federung. Dadurch wird die eigentlich gewünschte Fahrbewegung überlagert durch unerwünschte Bewegungen (Bild 22.1).

Diese Bewegungen führen zu Schwingungen und müssen so weit wie möglich unterdrückt werden, damit die Fahrgastzelle möglichst ruhig ist. Auch eventuell vorhandenes empfindliches Ladegut soll geschützt werden. Daher stützen sich Karosserie oder Aufbau über Federn und Dämpfer auf den Bauteilen der Radaufhängung ab.

22.2 Grundprinzip und Grundaufbau der Federung

Wird eine frei schwingende ungedämpfte Masse an einer Feder durch eine Kraft aus ihrer Ruhelage ausgelenkt (Bild 22.2), so entsteht in der Feder eine Rückstellkraft, die die Masse zurückschwingen lässt. Dabei bewegt sich die Masse jedoch über ihre Ruhelage hinaus, sodass eine neuerliche Rückstellkraft entsteht. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die durch die Auslenkungskraft zugeführte Schwingungsenergie durch äußere und innere Reibung vollständig in Wärme umgewandelt ist (Eigendämpfung). Es kommt dagegen zum Aufschaukeln, wenn eine Masse mit der Eigenfrequenz erneut angeregt wird. Dieser Vorgang wird Resonanz genannt.

Eigenfrequenz:
gleiche Frequenz,
mit der die Masse
schwingt.

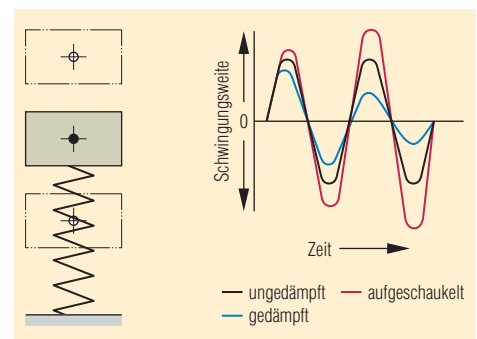


Bild 22.2 Schwingungen.

Durch die Federung wird das Fahrzeug zu einem schwingungsfähigen System mit einer Eigenfrequenz, die beeinflusst wird durch

- die Bauart und die Kennlinien von Federung und Dämpfung,
- die Massen des Fahrzeugs,
- die Federrate der Bereifung.

Grundsätzlich gilt folgender Zusammenhang:

Bei einer weichen Feder bewirkt eine große Masse eine niedrige Frequenz und einen großen Federweg. Ist die Feder hart und die Masse klein, so stellt sich eine hohe Frequenz mit einem kleinen Federweg ein.

Federkennlinien. Die Federeigenschaften lassen sich auch durch die Federkennlinie (Federcharakteristik, Bild 22.3) ausdrücken. Den Zusammenhang zwischen der Belastung und der daraus entstehenden Einfederung einer Feder gibt die Federkennlinie an. Drei Kennlinienverläufe lassen sich unterscheiden:

- Die lineare Kennlinie besagt, dass die Federkraft gleichmäßig über den ganzen Federweg anwächst (geringe Steigung = weiche Feder, große Steigung = harte Feder).
- Bei progressiver Kennlinie wird die Feder mit steigender Belastung härter, d. h. einem gleich bleibendem Wegzuwachs ist ein immer größer werdender Kraftzuwachs zugeordnet.
- Degressiv ist eine Feder, deren Federkraft mit wachsender Einfederung immer weniger ansteigt (z. B. bei Schwingungsdämpfern).

Die Kennlinie einer Feder oder einer Kombination aus mehreren Einzelfedern kann sich aus diesen drei Kennlinien zusammensetzen.

Das **Federungssystem** eines Fahrzeuges wird ergänzt durch die Bereifung und die Federung der Sitze. Erst eine einwandfreie Abstimmung von Federung und Schwingungsdämpfung ergibt die optimalen Federungs- und Fahreigenschaften eines Kraftfahrzeuges. Denn wegen mangelnder Eigendämpfung des Fahrzeugaufbaues muss jedes Federungssystem eine Schwingungsdämpfung haben. Dadurch werden unerwünschte Schwingungen wie Wanken und Nicken und bestimmte Schwingungsbereiche, die zu körperlichen Beeinträchtigungen führen können, beseitigt. Bei Kraftfahrzeugen unterscheidet man ungefederte und gefederte Massen (Bild 22.4).

Ungefederte Massen sollen möglichst klein sein, damit ihr Einfluss auf das Schwingungsverhalten des Aufbaus gering bleibt. Die Frequenz beträgt etwa 10 Hz bis 1 Hz. Je größer die gefederte Masse, desto weniger gerät sie durch angreifende Kräfte in Schwingungen. Die Frequenz beträgt etwa 1 Hz bis 1,8 Hz.

Federrate:

Verhältnis der wirksamen Federkraft zum Federweg in N/mm.

Frequenz f:

Anzahl der Schwingungen in der Sekunde in Hertz (Hz).

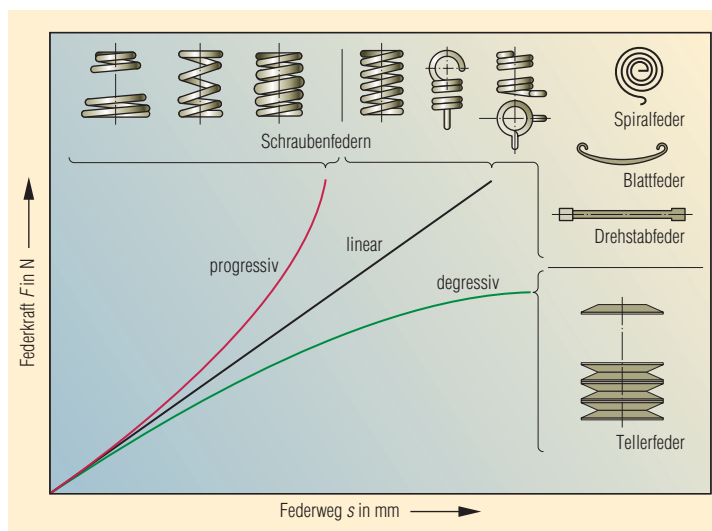


Bild 22.3 Prinzipielle Kennlinienverläufe und zugeordnete Federarten.

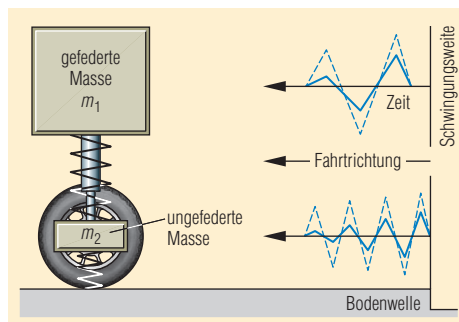
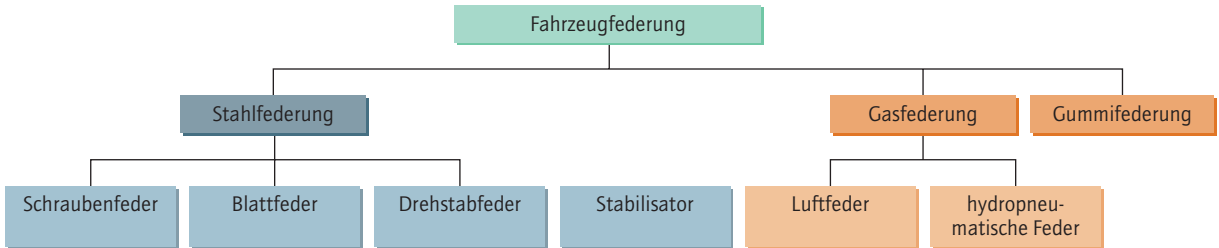


Bild 22.4 Zweimassenmodell der Fahrzeugfederung.

22.3 Arten der Fahrzeugfederung

Die Arten der Fahrzeugfederung lassen sich unterscheiden nach

- dem verwendeten Werkstoff,
- dem verwendeten Federungsmedium,
- der Bauform.



22.3.1 Stahlfederung

Die Stahlfederung ist die Standardfederungsart bei Kraftfahrzeugen.

Schraubenfedern (z. B. aus SiCrV-legierten Federstählen) sind das häufigste Federelement beim Pkw (Tabelle 22.1). Sie müssen gegen Druck und Verdrehen unempfindlich sein. Stahlfedern sind oberflächengehärtet und deshalb sehr kerbempfindlich.

Schraubenfedern haben normalerweise eine lineare Kennlinie um größere Zuladung bei ausreichendem Komfort im unbeladenen Zustand zu ermöglichen. Sie besitzen keine Eigendämpfung.

Sind geringere Bauhöhen erwünscht, müssen Schraubenfedern mit progressiver Kennlinie eingebaut oder nachgerüstet werden (Bild 22.5). Die Gestaltung schraubenförmiger Achsfedern hängt im Wesentlichen von der Achskonstruktion ab. Sie wird unter anderem von der Art der Lastenleitung und den vorhandenen Bewegungsräumen bestimmt sowie von der Ausbildung der Federenden.

Schraubenfedern können keine Radführung übernehmen und keine Radkräfte übertragen.

Blattfedern sind Biegefedern, die als Längs- oder Querfedern eingebaut werden. Je nach Belastung gibt es ein- oder mehrlagige Blattfedern aus Federstahl oder Kunststoff (Bild 22.6).

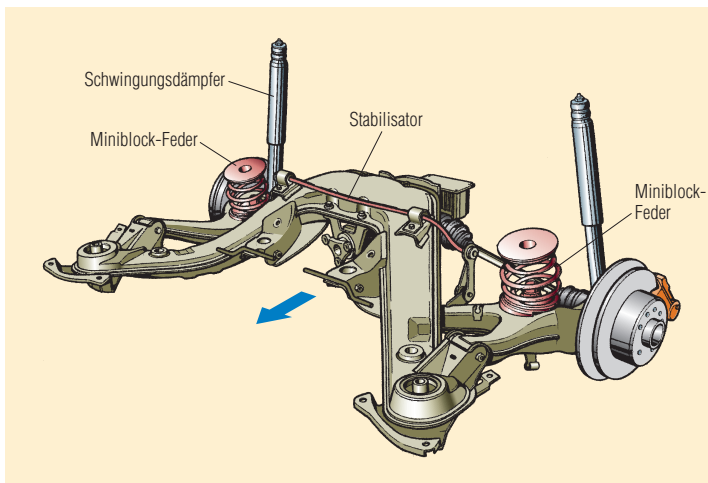


Bild 22.5 Miniblock-Feder.

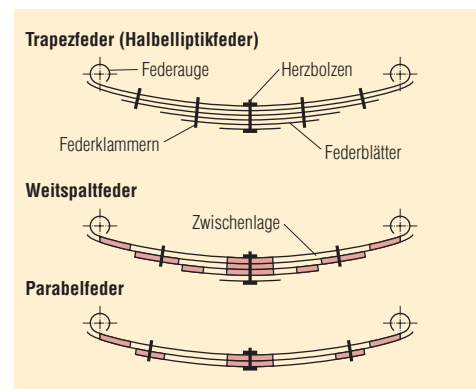
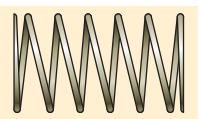



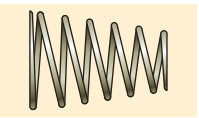
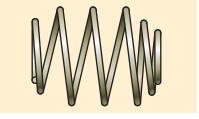


Bild 22.6 Blattfederarten.

Skizze	Merkmal	Kennlinie	Charakteristik
zylindrische Form			
	Steigung und Drahtdurchmesser konstant	linear	z. B. weich: kleiner Drahtdurchmesser, großer Federinnendurchmesser, hohe Anzahl Windungen
	veränderliche Steigung	progressiv	z. B. hart: großer Drahtdurchmesser, kleiner Federinnendurchmesser, geringe Anzahl Windungen, geringe Steigung = weich, große Steigung = hart
	unterschiedlicher Drahtdurchmesser	progressiv	z. B. weich durch geringere Drahtdurchmesser an den Enden
	mit integrierter Zusatzfeder oder paralleler Feder	linear gestuft (progressiv)	Bei zunehmender Belastung erzeugt die Zusatzfeder die notwendige Härte
Kegelform			
	konische Wicklung	progressiv	Federwindungen berühren sich beim Einfedern nicht.
Tonnenform			
	veränderliche Steigung, unterschiedlicher Wicklung und Drahtdurchmesser	progressiv	Tonnenfedern legen sich bei Belastung ineinander und erlauben trotz großer Federwege eine niedrige Bauhöhe (Bild 25.5).
Tabelle 22.1	Bauformen Schraubenfedern.		

Je nach Bauart ist die Kennlinie linear oder progressiv. Durch Reibung zwischen den Federblättern werden Schwingungen gedämpft (Eigendämpfung).

Im Gegensatz zur Schraubenfeder kann die Blattfeder auch die Achs- und Radführung übernehmen und Antriebs-, Brems- und Seitenführungskräfte übertragen. Sie benötigt wegen niedriger Bauhöhe und kleiner Federwege nur wenig Einbauhöhe.

Drehstabfeder. Bei der Drehstabfeder wird ein Stahlstab auf Torsion beansprucht. Die Drehstäbe können im Fahrzeug in Längs- und in Querrichtung angeordnet sein (Bild 22.7). Federstäbe haben einen runden oder rechtecki-

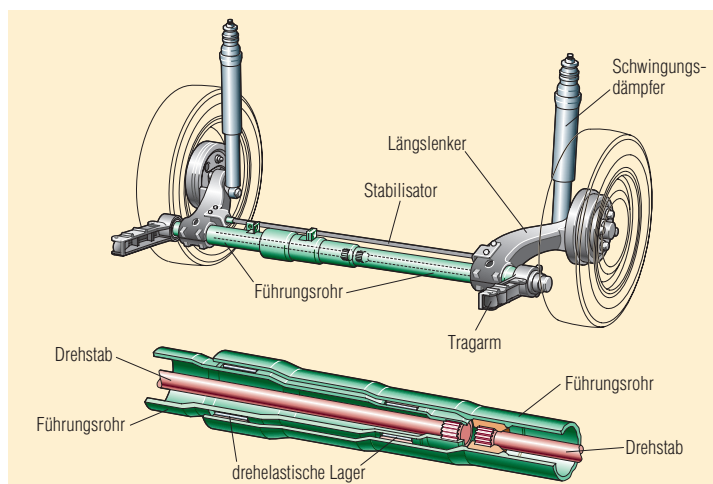


Bild 22.7 Drehstabfederung.

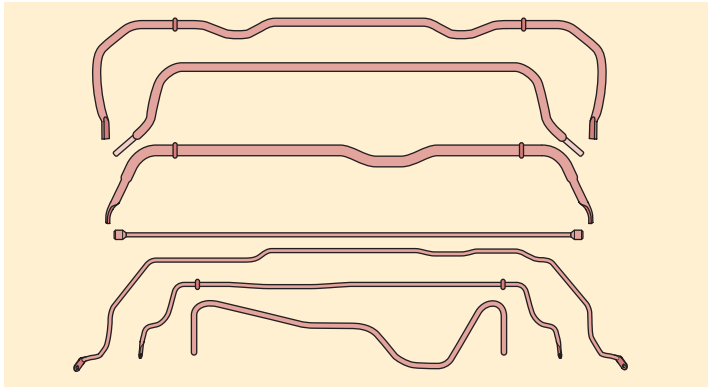


Bild 22.8 Pkw-Stabilisatoren.

gen Querschnitt. Mehrere Federstäbe können zu einem Paket zusammengebündelt werden. Die Drehstabfeder (Torsionsfeder) hat eine lineare Kennlinie. Sie übernimmt die Radführung und überträgt Antriebs-, Brems- und Seitenführungs-kräfte.

Fahrzeugstabilisatoren sind im Wesentlichen U-förmig gebogene Federstäbe (Bild 22.8). Sie werden sowohl an Vorder- als auch an Hinterachsen eingesetzt und liegen quer zur Fahrtrichtung. Die Abstimmung der Stabilisatoren auf das jeweilige Fahrwerk hat erheblichen Einfluss auf die Wankmomentverteilung an Vorder- und Hinterachse und beeinflusst damit das Kurvenverhalten des Fahrzeugs. Z. B. können bei einer Kurvenfahrt die Radlastdifferenzen verringert werden. Stabilisatoren wirken der Roll- oder Wankneigung des Fahrzeugaufbaus entgegen und können, wenn die Federrate verstellbar ist, als aktives Element zur Fahrdynamikregelung benutzt werden.

Bei Geradeausfahrt auf ebener Fahrbahn oder beim Überfahren einer beidseitig gleichen Bodenwelle wird der Stabilisator praktisch nicht beansprucht (Bild 22.9). Federn jedoch bei Kurvenfahrt die Räder unterschiedlich ein bzw. aus, so wird der Stabilisator verdreht. Dadurch erfolgt eine Kraftübertragung von der einen Fahrwerks-hälfte auf die andere und die Fahrgastzelle wird zusätzlich zur Achsfederkraft wieder aufgerichtet.

Verbundlenkerachsen, Luftfederungen und aktive Fahrwerke sowie eine rasch reagierende Hydro-pneumatik benötigen keine Stabilisatoren.

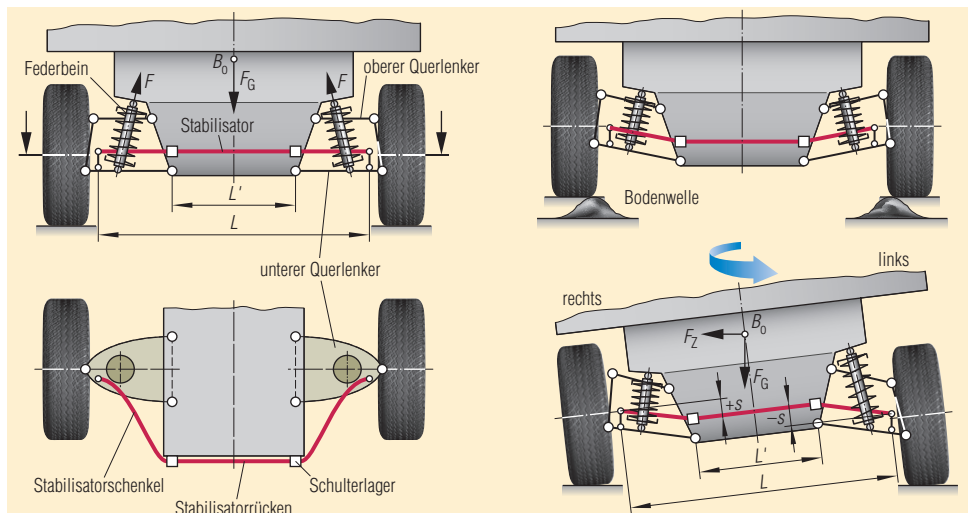


Bild 22.9 Funktionsweise eines Stabilisators am Beispiel einer Vorderadaufhängung.

22.3.2 Gasfederung

Bei der Gasfederung wird das elastische Verhalten eines eingeschlossenen Gasvolumens (Luft oder Stickstoff) ausgenutzt. Man unterscheidet Gasfederungen mit veränderlicher Gasmenge (reine Luftfederung) und gleich bleibender Gasmenge (hydropneumatische Federung).

Die **Luftfeder** wird im Nutzfahrzeugbereich eingesetzt (Bild 22.10). Wegen des technischen Aufwands und der Kosten wird sie bei Personenzugmaschinen nur ab der oberen Mittelklasse eingebaut (Bild 22.11). Ein Kompressor liefert die notwendige Druckluft für die Federelemente (Roll- oder Faltenbalg, Bild 22.12).

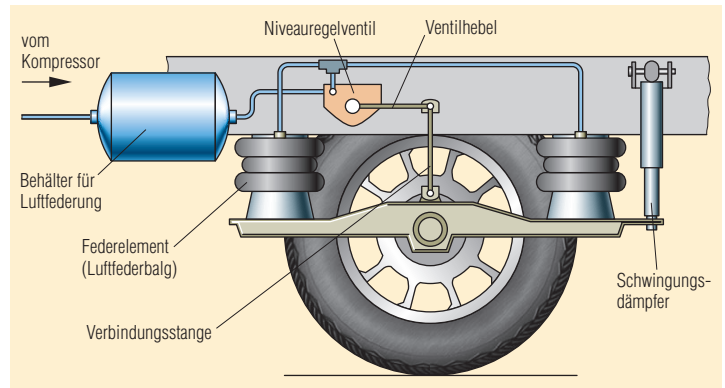


Bild 22.10 Luftfederung.

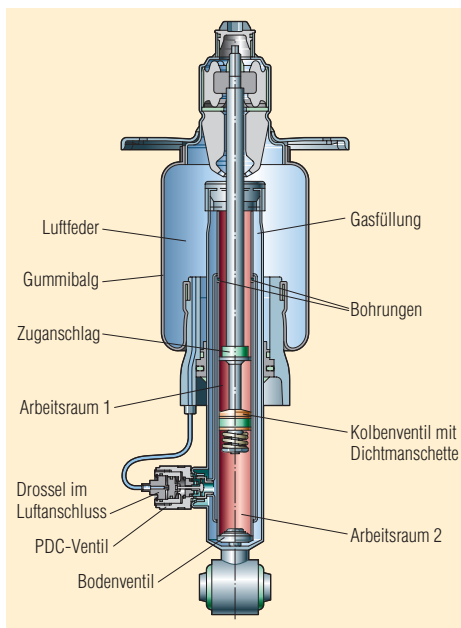


Bild 22.11 Luftfeder-Dämpfer-Einheit.

Die Druckversorgung bei Luftfederungen besteht aus Kompressor, Druckspeicher und Regelventilen mit mechanisch-pneumatischer oder elektronischer Steuerung. Die Gasmenge (Luftmenge) wird je nach Beladung bzw. Fahrzeugdynamik geregelt, um eine konstante Höhe zu erreichen. Daraus ergibt sich ein konstanter Federweg. Gleich bleibende Federungseigenschaften und niedrige Schwingungsfrequenz erhöhen den Komfort dieser progressiven Federungsart.

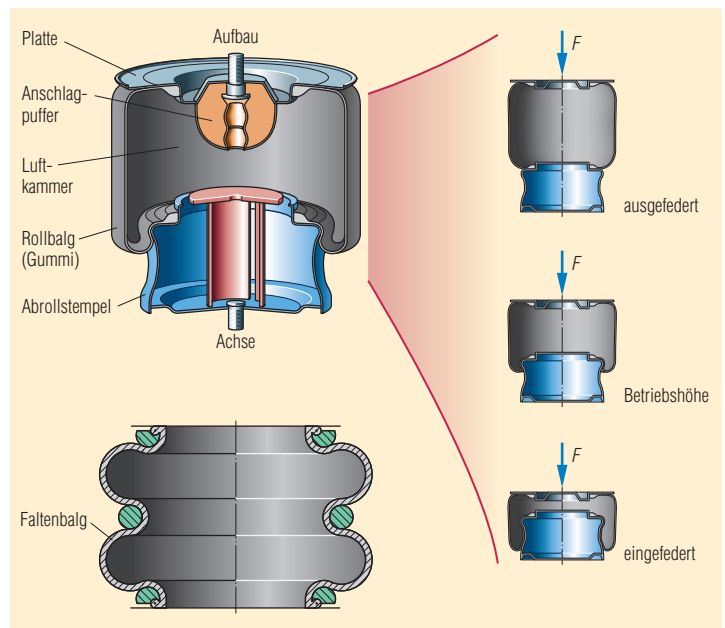


Bild 22.12 Roll- und Faltenbalg.

Wegen der geringen Eigendämpfung ist eine Schwingungsdämpfung erforderlich. Mit zusätzlichen elektronischen Sensoren und Regelementen erhält man eine geschwindigkeitsabhängige Niveauregulierung. Außerdem bieten Luftfedern eine Korrektur der Aufbauneigung bis hin zum **aktiven Fahrwerk**.

aktives Fahrwerk
→ S. 414

Die **hydropneumatische Feder** ist eine Gasfeder mit hydraulischer Kraftübertragung und hydraulischer Niveauregulierung. Sie wird als Haupt- oder Zusatzfeder verbaut (Bild 22.13).

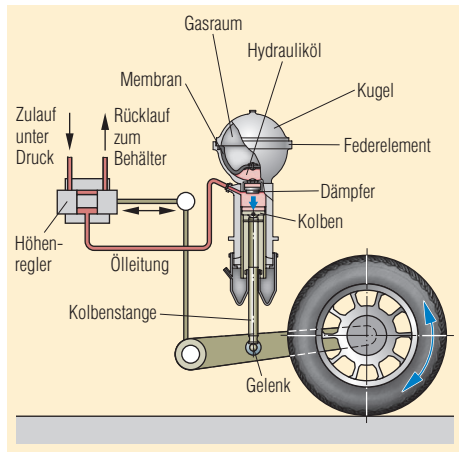


Bild 22.13 Hydropneumatische Federung.

Diese Federungsart arbeitet mit einer im Federelement fest eingeschlossenen konstanten Stickstoffgasmenge. Im kugelförmigen Federelement trennt eine Membrane Gas und Hydrauliköl. Im Hydraulikzylinder befinden sich ein mit der Radaufhängung gekoppelter Kolben und der eingebaute Schwingungsdämpfer. Den zum Betrieb notwendigen Öldruck (ca. 170 bar) liefert eine Hochdruckpumpe mit Druckspeicher. Die Niveauregulierung erfolgt über eine veränderliche Flüssigkeitssäule im Federelement. Die Niveauregler sind meist am Fahrzeugaufbau befestigt und werden von der Radaufhängung mechanisch wegabhängig gesteuert.

Kriechen:
langfristige Formänderung unter Krafteinfluss.

Durch manuelles Betätigen kann die Bodenfreiheit der Karosserie zusätzlich verändert werden. Auch eine geschwindigkeitsabhängige Steuerung sowie eine Aufbaustabilisierung sind möglich. Nachteilig ist, dass mit höherer Zuladung das Gasvolumen stärker komprimiert wird und dadurch die Federhärte zunimmt.

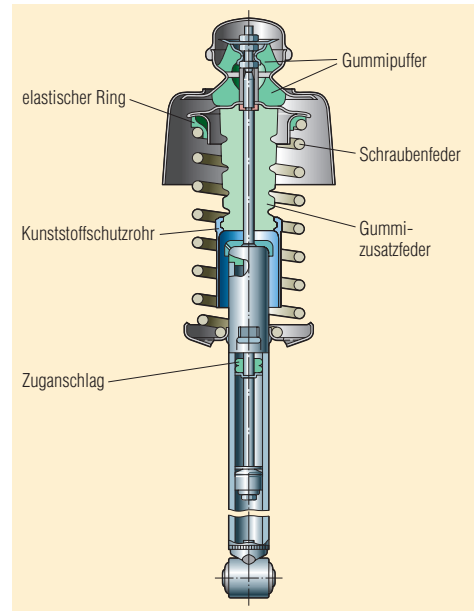


Bild 22.14 Integrierte Gummifederung in einer Feder-Dämpfer-Einheit.

22.3.3 Gummifederung

Gummifedern werden vorwiegend als Zusatzfedern und/oder als Endanschläge eingesetzt (Bild 22.14). Die Federkennlinie ist progressiv; die Feder hat eine hohe Eigendämpfung.

Weitere Eigenschaften: hohe Elastizität, Geräuschdämpfung, Aufnahme von Radkräften, kleiner Federweg, hohe Frequenz, Kriechen, empfindlich gegen Alterung, hohe Temperaturen und Chemikalien.

22.3.4 Werkstattpraxis

Die herkömmliche Mehrblattfeder muss gewartet werden, dagegen sind alle anderen Federn nahezu wartungsfrei.

Stahlfedern untersucht man durch Sichtprüfungen, z. B. auf Beschädigungen an der Oberfläche (Bruchgefahr durch Kerben).

Blattfedern ohne Kunststoffzwischenlagen sollten regelmäßig gewartet werden, weil sonst die Federwirkung zu stark nachlässt.

Luftfederbälge werden auf Risse und Durchlässigkeit hin kontrolliert. Das Kondenswasser aus der Luftfederanlage muss regelmäßig beseitigt werden. Frostschutzmaßnahmen sind nach Herstellervorschrift durchzuführen.

Hydropneumatische Federungen werden auf Undichtigkeiten untersucht.

Vor Arbeiten an Luftfederungen oder hydro-pneumatischen Federungen ist unbedingt der Aufbau abzustützen (Quetschgefahr). Auch sollten vorhandene Druckspeicher drucklos sein.

Alle gummigelagerten Federungs- und Radaufhängungsteile sind auf Verschleiß, Alterung und Spiel zu untersuchen.

Schraubenfedern werden nur mit geeigneten Federspannern demontiert und montiert (Unfallgefahr). Die Federaufnahme ist vor dem Einbau zu reinigen. Die Einbaulage der Feder genau einhalten!

Sind Lenkungsteile demontiert worden, muss das Fahrwerk anschließend vermessen werden. Der Einbau von nicht serienmäßigen Fahrwerken erfordert die genaue Beachtung der Herstellerhinweise sowie der Richtlinien der jeweiligen ABE.

Mängel an der Federung machen sich durch Geräusche, hängenden Fahrzeugaufbau oder schlechtere Federwirkung bemerkbar. Durch eine genaue Kontrolle und Reparatur des defekten Federelements werden Fahrsicherheit und Fahrkomfort wieder hergestellt.



ABE: Allgemeine Betriebserlaubnis

Arbeitsaufträge

1. Welche Aufgaben hat die Federung an einem Fahrzeug?
2. Beschreiben und erklären Sie das Gesamtsystem einer Fahrzeugfederung.
3. Was versteht man unter der Eigendämpfung einer Feder?
4. a) Welche Bauteile eines Fahrzeugs gehören zu den gefederten und welche zu den ungefederten Massen?
b) Warum soll die ungefederte Masse möglichst klein sein?
5. Erläutern Sie den Unterschied zwischen linearer und progressiver Federung.
6. Unterscheiden Sie an verschiedenen Fahrzeugbeispielen die Arten der Fahrzeugfederung.
7. Wie erreicht man bei Schraubenfedern eine progressive Federkennlinie?
8. Welche Vorteile hat eine Miniblock-Feder?
9. Vergleichen Sie eine herkömmliche Blattfeder mit einer Parabelfeder.
10. Erläutern Sie Aufgabe und Wirkungsweise eines Stabilisators.
11. Erklären Sie die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede einer Pkw- und einer Nkw-Luftfederanlage.
12. Beschreiben Sie die Arbeit eines Luftfederventils.
13. Welche Unterschiede lassen sich zwischen der reinen Luftfederung und der hydropneumatischen Federung aufzeigen?

22.4 Aufgabe der Schwingungsdämpfung

Reibungsarm reagierende Federungssysteme reagieren sensibel auf Fahrbahnnunebenheiten und werden dadurch zu Schwingungen angeregt. Unterbleibt die Schwingungsdämpfung, hat dies Auswirkungen auf den Fahrkomfort und die Fahr-sicherheit:

- Belastung der Fahrzeuginsassen durch kurze Schwingungen oder durch langes Nachschwingen des Fahrzeugaufbaus,
- Verringerung der Bodenhaftung der Räder bis hin zum völligen Verlust der Bodenhaftung (keine Spurhaltung, Bremswegverlängerung, Aquaplaning),

- Lenkungsflattern,
- Überbelastung und Verschleiß von Fahrzeugteilen.

Schwingungsdämpfung ist immer ein Kompromiss zwischen harter Sicherheitsdämpfung und weicher Komfortdämpfung. Der Schwingungsdämpfer (Stoßdämpfer) wandelt unerwünschte Bewegungsenergie in Wärme um.

22.4.1 Prinzip der hydraulischen Schwingungsdämpfung

Hydraulische Teleskop-Schwingungsdämpfer bestehen aus einem Zylinder und einem Kolben mit Kolbenstange. Eine Seite ist mit der Karosserie, die andere mit der Radaufhängung verbunden, sodass sich der Kolben bei den Federbewegungen im ölgefüllten Zylinder mitbewegt. Da sich die Flüssigkeit fast nicht zusammenpressen lässt, muss der Kolben über Bohrungen und Ventile verfügen.

Die eigentliche Dämpfungskraft entsteht durch den Strömungswiderstand des bewegten Öls an den Drosselstellen des Kolbens (bzw. Bodenventils). Ein Schwingungsdämpfer benötigt einen Volumenausgleich für die eintretende Kolbenstange bzw. für die temperaturbedingte Volumenvergrößerung des Öls. Je nach Bauart befindet sich der Ausgleichsraum im Schwingungsdämpfer (Einrohrdämpfer) oder – durch Bodenventile getrennt – in einem zweiten Rohr um den eigentlichen Dämpfer (Zweirohrdämpfer).

22.4.2 Schwingungsdämpferarten

Zugstufe =
Ausfederweg

Nach dem Aufbau und dem statischen Gasdruck unterscheidet man:

- drucklose Zweirohr-Schwingungsdämpfer,
- Zweirohr-Schwingungsdämpfer mit Nieder-gasdruck,
- Einrohr-Schwingungsdämpfer mit Hochdruck-gas.

Drucklose Zweirohr-Schwingungsdämpfer. Durch die Kolbenbewegung findet ein Austausch von Dämpfungsflüssigkeit in den Arbeitsräumen ober- und unterhalb des Kolbens statt (Bild 22.15).

Druckstufe =
Einfederweg

Druckstufe: Die Ölmenge, die dem in den Arbeitszylinder eintauchenden Kolbenstangenvolumen entspricht, wird durch das Druckventil im Boden in den Reserveraum verdrängt. Dabei wird die Dämpfungskraft der Druckstufe in Abstimmung mit dem Kolbendruckventil erzeugt. Der Öldruck ist in der Druckstufe ober- und unterhalb des Kolbens gleich groß.

Zugstufe: Die Ölmenge des austauchenden Kolbenstangenvolumens wird durch Ansaugen aus dem Reserveraum ersetzt. Gleichzeitig erzeugt die den Kolben durchströmende Ölmenge im Zugventil des Kolbens die Dämpfungskraft.

Das Dämpferverhältnis beträgt bei fast allen Schwingungsdämpfern Druckstufe zu Zugstufe 1:3. Lenkungsdämpfer sind funktionsbedingt 1:1 ausgelegt (Bild 22.16).

Die drucklose Gasfüllung über der Ölfüllung im Reserveraum kann dazu führen, dass das Dämpferöl schäumt (Nachlassen der Dämpferwirkung). Dies kann durch eine Niedergasdruckfüllung (ca. 3 bar bis 5 bar) im Reserveraum verhindert werden.

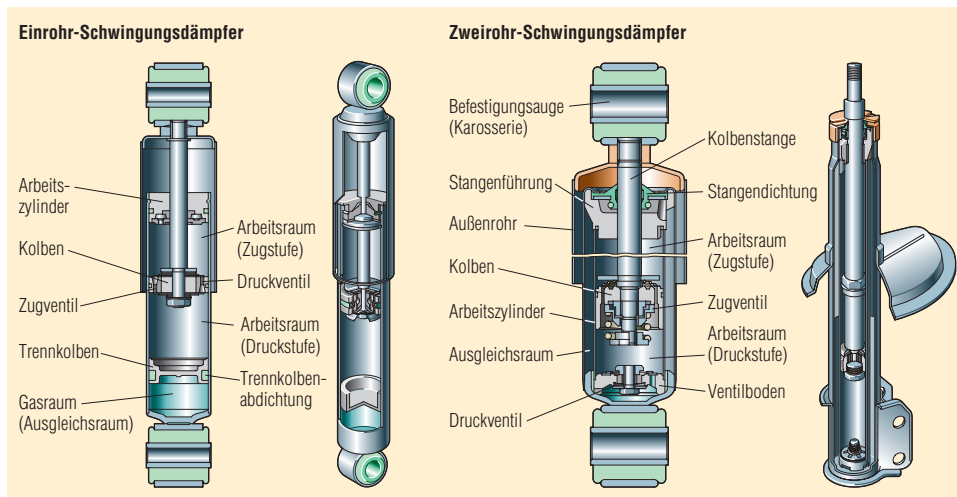


Bild 22.15 Einrohr- und Zweirohr-Schwingungsdämpfer.

Einrohr-Schwingungsdämpfer („Gasdruckdämpfer“) haben einen statischen Gasdruck von 15 bar bis 35 bar (Bild 22.15). Durch den Trennkolben werden Öl und Gas voneinander getrennt. Der Trennkolben folgt genau den Bewegungen des Ölspiegels im Zylinderrohr. Durch die absolute Öl- und Gasdichtigkeit kann diese Dämpferart unabhängig von der Lage eingebaut werden.

Der Arbeitszylinder ist in einen Öl-(Arbeits-)raum und einen Gas-(Ausgleichs-)raum unterteilt. Der Gasraum hat die Aufgabe, das hubabhängige Kolbenstangenvolumen sowie das temperaturabhängige Ölvolumen auszugleichen und die Dampfblasenbildung bei höheren Temperaturen zu unterdrücken.

In der Druckstufe strömt die Dämpfungsflüssigkeit durch das Druckventil des Kolbens. Der Volumen-

ausgleich erfolgt durch das Zusammendrücken des Gasvolumens. In der Zugstufe strömt die Dämpfungsflüssigkeit durch das Zugventil. Die entsprechende Ausdehnung des Gasvolumens sorgt für den Volumenausgleich.

22.4.3 Federdämpfer

Ein Federdämpfer fasst alle für die Federung und Dämpfung erforderlichen Teile zusammen und bildet so eine Einheit (Bild 22.14, S. 410).

Übernimmt dieses System zusätzlich Aufgaben der Radführung, so bezeichnet man dies als Feder- oder Dämpferbein (Bild 21.22, S. 399). Alle Bauteile sind wegen der höheren Belastungen verstärkt ausgeführt.

22.4.4 Geregelte Feder- und Dämpfersysteme

Alle bisher beschriebenen Schwingungsdämpfer haben eine über den gesamten Arbeitsbereich festliegende Kennlinie (Standarddämpfer; Bild 22.16). Sie ist nur von der Kolbengeschwindigkeit abhängig und ein Kompromiss zwischen Fahrkomfort und Fahrsicherheit. Unterschiedliche Beladungs- und Fahrsituationen erfordern aber eine darauf abgestimmte variable Dämpferkennlinie.

Eine Veränderung der Kennlinie lässt sich mit mechanisch, elektrisch oder elektronisch verstellbaren Schwingungsdämpfern erreichen. Die mechanische oder elektrische Verstellung

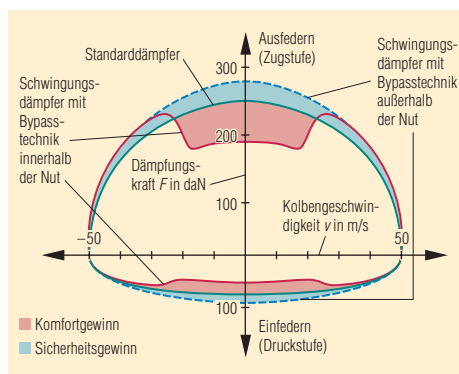


Bild 22.16 Dämpfungskennlinien.

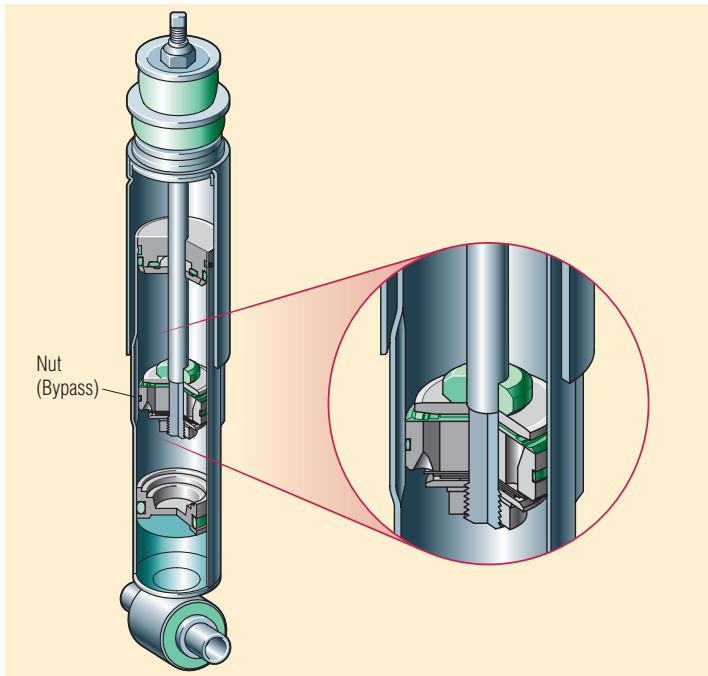


Bild 22.17 Schwingungsdämpfer mit Bypasstechnik.

verändert die Durchflussöffnungen im Schwingungsdämpferkolben und damit die Dämpfercharakteristik.

Active Body Control (engl.): aktive Fahrwerkskontrolle

Ein elektronisches Dämpfungssystem kann die Dämpfererkennung situationsgerecht anpassen. Ist es zusätzlich mit einer Luftfederung gekoppelt, kann neben der Niveauregulierung bei Beladung zusätzlich die Dämpfererkennung der

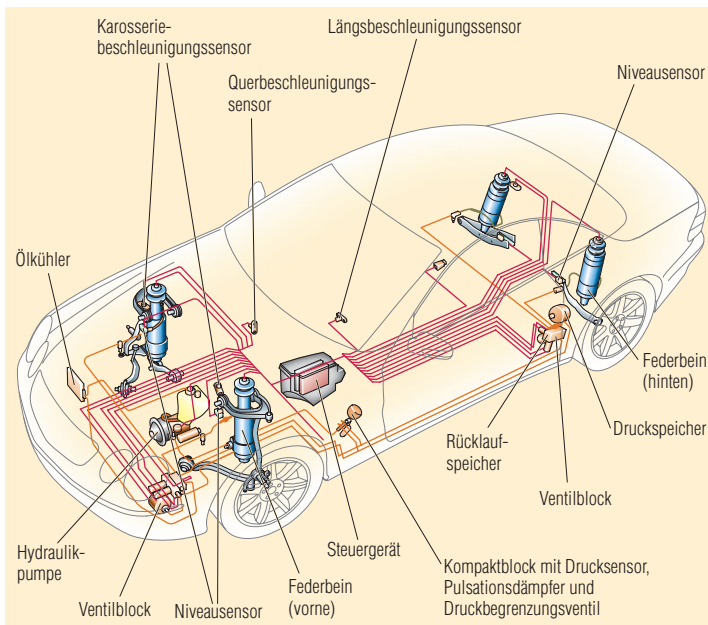


Bild 22.18 ABC-Federung.

einzelnen Dämpfer je nach Fahrbahnbeschaffenheit und Fahrbedingungen programmgemäß verändert werden (adaptives Dämpfungssystem). Damit können Wank- und Nickbewegungen des Fahrzeuges sowie die Fahrzeughöhe der jeweiligen Geschwindigkeit angepasst werden. Eine Alternative bieten Dämpfer mit höhenabhängiger Dämpfung mittels Überströmkanälen (Bypass; Bild 22.17).

Um die Niveauänderungen des Fahrzeugaufbaus auszugleichen, verwendet man Schwingungsdämpfer mit Zusatzeinrichtungen:

- Bei Schwingungsdämpfern mit zusätzlicher Luftfeder wird diese unter Druck gesetzt (2 bis 11 bar) und unterstützt so die Fahrzeugfederung. Durch Regelventile wird das Sollniveau automatisch eingestellt.
- Bei selbst aufpumpenden Schwingungsdämpfern erfolgt der Niveauregleich durch eine als Ölpumpe wirkende Kolbenstange. Durch Aufbauschwingungen erhöht sich der Innendruck und der Schwingungsdämpfer fährt auseinander.

Aktives Fahrwerk. Neben den verstellbaren Dämpfersystemen gibt es adaptive Federungssysteme mit Federkraftverstellung. Bei der semi-aktiven Luftfeder (Bild 22.11, S. 409) wird je nach Fahrsituation die Federrate angepasst. Bei der adaptiven Hydropneumatik (hydroaktives Fahrwerk) wird eine hydropneumatische Federung um zusätzliche Bauteile erweitert. Dies verringert bzw. kompensiert den Wankwinkel bei Kurvenfahrt und fahrdynamisch bedingte Nickbewegungen; d. h. der Federungskomfort wird erhöht.

Ein aktives Fahrwerk optimiert Fahrkomfort und Fahrsicherheit. Die Active Body Control (ABC) ist ein teilaktives Federungs- und Dämpfungssystem. Der gesamte statische und dynamische Traganteil wird von den vier an den Rädern angeordneten Federbeinen übernommen (Bild 22.18). In jedem Federbein ist ein dynamisch verstellbarer Hydraulikzylinder in Reihe zu einer Schraubenfeder und parallel zu einem Schwingungsdämpfer angebracht. Die Zylinder erzeugen durch die Verschiebung Kräfte, die den Radbewegungen entgegenwirken. Dieses elektro-hydraulische System ermöglicht eine variable manuelle, geschwindigkeitsabhängige und automatische Niveauregulierung. Diese hält das Fahrzeug in allen Fahrsituationen konstant.

22.4.5 Werkstattpraxis

Schwingungsdämpfer sind wartungsfrei. Durch die Dauerbelastung lassen sie aber langsam in ihrer Wirkung nach. Durch eine Sichtprüfung auf Undichtigkeiten, Beschädigungen und Verschleißspuren sowie die Beurteilung des Fahrverhaltens bei einer Probefahrt lässt sich feststellen, ob ein Schwingungsdämpfer defekt ist.

Die Wippmethode führt zu keiner qualifizierten Aussage. Eine Beurteilung der verbleibenden Wirkung der Schwingungsdämpfer ist objektiv nur im ausgebauten Zustand oder auf rechnergesteuerten Prüfanlagen möglich. Alle anderen Beurteilungsmethoden sind mehr oder weniger fehlerbehaftet.

Auf Schwingungsdämpferdefekte weisen Polter- und Klappergeräusche sowie Auswaschungen auf der Reifenlauffläche hin.

Der Austausch der nur für ein bestimmtes Fahrzeug passenden Schwingungsdämpfer erfolgt immer achsweise. Dabei ist auf die richtige Einbaulage zu achten. Beschädigte Teile sind auszuwechseln. Beim Einbau darf die Kolbenstange nicht beschädigt werden.

Schraubverbindungen sind unbedingt mit den vorgeschriebenen Drehmomenten anzuziehen.

Bei Austausch von Federbeinen bzw. bei Montagen an Lenkungsteilen ist eine anschließende Fahrzeugvermessung zwingend erforderlich. Veränderte Bremseinstellungen bei Veränderungen am Fahrwerk sind zu berücksichtigen.

Schwingungsdämpfer müssen umweltgerecht entsorgt werden (Schwingungsdämpfer mit Gasfüllung müssen drucklos sein).

Arbeitsaufträge

1. Begründen Sie, warum der Stoßdämpfer richtigerweise Schwingungsdämpfer heißen muss.
2. Beschreiben und begründen Sie die Auswirkungen nachlassender Schwingungsdämpfer auf Fahrkomfort und Fahrsicherheit (Fahrdynamikregelung und Bremsen).
3. Wie entsteht die Dämpfungswirkung in einem Schwingungsdämpfer?
4. Vergleichen Sie Aufbau und Wirkungsweise von Zwei- und Einrohr-Schwingungsdämpfern und nennen Sie deren Vor- und Nachteile.
5. Erläutern Sie die Problematik einer optimalen Fahrwerksabstimmung bzgl. Federung und Dämpfung.
6. Unterscheiden Sie mögliche Federbeinausführungen und stellen Sie ihre Bauteile heraus.
7. Nennen Sie die Vorteile der variablen Dämpfung Niveauregulierung bzw. der elektronischen und pneumatischen Dämpferregelung.
8. Erläutern Sie, warum eine Schwingungsdämpferprüfung im eingebauten Zustand so problematisch ist.
9. Beschreiben und begründen Sie die umweltgerechte Schwingungsdämpferentsorgung.
10. Beim Tieferlegen eines Fahrzeugs wurde das Justieren der Bremskraftverstellung vergessen. Beschreiben Sie die Auswirkungen auf das Fahr- bzw. Lenkverhalten.
11. a) Was versteht man unter einem aktiven Fahrwerk?
b) Erstellen Sie eine Prinzipskizze des ABC-Systems.
c) Listen Sie alle wesentlichen Komponenten für ein aktives Fahrwerk auf.
12. Ein Fahrzeug ihrer Wahl soll auf ein Gewindefahrwerk umgerüstet werden. Listen Sie alle Handlungsschritte von der Auswahl bis zur Abnahme des Fahrzeugs auf.

23 Räder und Reifen

23.1 Aufgaben von Rädern

Das Rad ist Träger- und Befestigungselement für den elastischen Reifen. So behält er auch unter Belastung seine annähernd kreisrunde Form. Zudem verhindert die Felge, dass der Reifen bei der Einwirkung von Seitenkräften ausweicht. Das Rad muss daher formstabil sein, trotzdem aber noch so elastisch, dass es kleinere Schläge aufnehmen kann ohne sich bleibend zu verformen. Als Teil der ungefederten Massen sollte das Radgewicht möglichst gering sein. Die Masse sollte gleichmäßig um die Radmitte verteilt sein um Unwucht zu vermeiden.

Unwucht:
ungleichmäßige Masseverteilung auf dem Umfang eines Rades.

Die Räder haben folgende Aufgaben:

- das Fahrzeuggewicht tragen und Kräfte aufnehmen, die durch das Fahren verursacht werden,
- die Antriebs-, Brems- und Seitenkräfte übertragen,
- dem Reifen einen sicheren und luftdichten Halt geben,
- die im Reifen und beim Bremsen entstehende Wärme abführen.

23.2 Radaufbau

Fahrzeigräder aus Stahl bestehen im Allgemeinen aus Radscheibe (Radschüssel) und Felge (Bild 23.1). „Komplettad“ ist der Begriff für das komplette Rad aus Reifen, Rad und Ventil.

In der Praxis werden die Begriffe Felge und Rad oft miteinander verwechselt. Die Felge dient zur Aufnahme des Reifens, die Radschüssel verbindet die Felge mit der Nabe, und das Rad stellt den gesamten Körper dar, bestehend aus Felge und Schüssel.

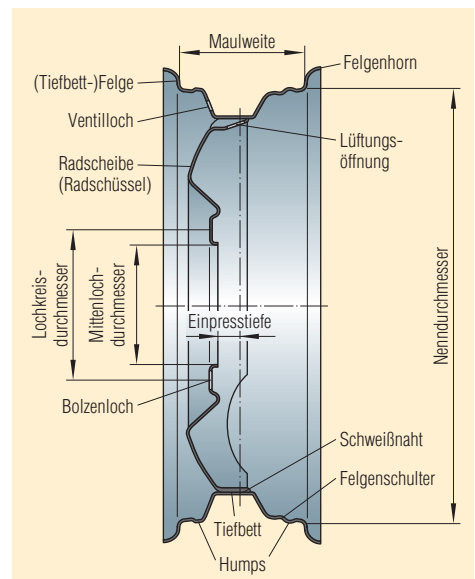
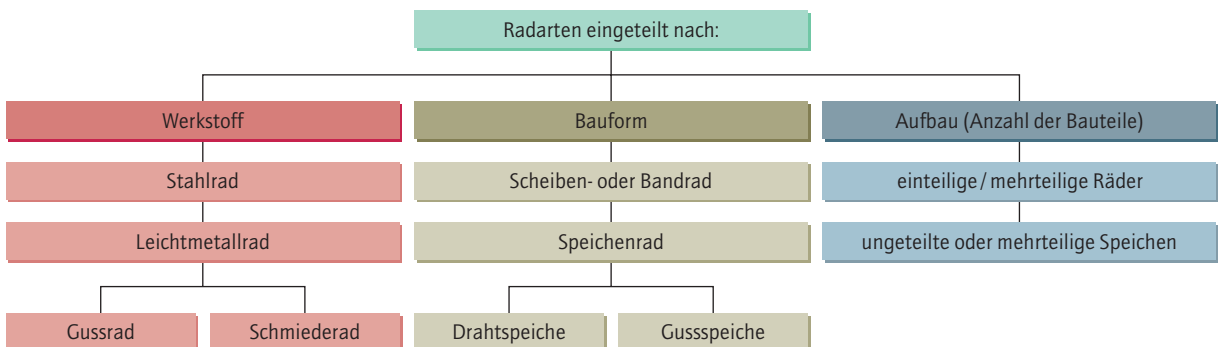


Bild 23.1 Aufbau eines Stahlrads.



Werkstoff. Stahlräder werden aus Stahlblech (Bandstahl) durch verschiedene Umformverfahren hergestellt (z. B. S 235, DP 600, HR 60). Leichtmetallräder werden entweder gegossen (z. B. G-AlSi 10 Mg), geschmiedet (AlMgSi 1 F 32) oder aus Leichtmetallband wie Stahlräder hergestellt.

Bauform. Scheiben- und Bandräder bestehen aus Radschüssel und Felge (Bild 23.2). Beide Teile sind miteinander verschweißt. Die Schüssel ist zur besseren Bremsbelüftung mit Löchern versehen. Bei Speichenrädern ist die Felge durch Drahtspeichen mit der Radnabe verbunden.

Wegen ihres Aussehens bezeichnet man einige Leichtmetallräder auch als Gusspeichenräder.

Aufbau. Bei einteiligen (ungeteilten) Rädern sind Felge und Schüssel aus einem Teil gegossen, geschmiedet oder zusammengeschweißt. Dagegen werden bei mehrteiligen Rädern Schüssel und Felge bzw. Felgenhälften zusammengeschaubt.

Tiefbettfelgen haben für Pkw eine Schulterneigung von 5° (Schrägschulter) und für Nkw eine Schulterneigung von 15° (Steilschulter).

Das Tiefbett ist zur Montage des Reifens notwendig. Ein in der Mitte liegendes Tiefbett kennzeichnet symmetrische Felgen für Zweiräder. Pkw-Felgen hingegen haben ein unsymmetrisches Tiefbett, damit der Einbauraum für die Radbremse größer wird.

Die Montage schlauchloser Reifen auf Tiefbettfelgen ist Standard. Pkw-Felgen (Sicherheitsfelgen) müssen dazu zusätzlich außen mit einer umlaufenden Erhöhung (Hump) auf der Felgenschulter versehen sein (Bild 23.3), die ein Abrutschen der Reifenwulst in das Tiefbett verhindert (Luftverlust).

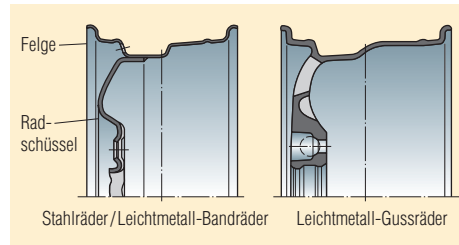


Bild 23.2 Bauformen von Pkw-Rädern.

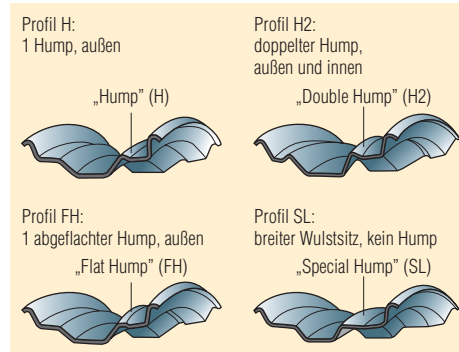


Bild 23.3 Humpausführungen bei Pkw-Felgen.

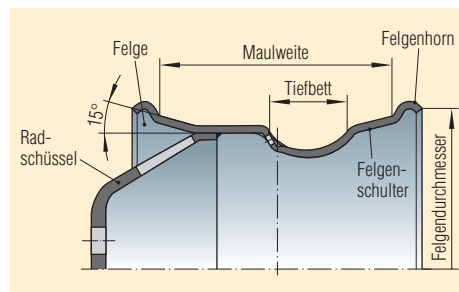
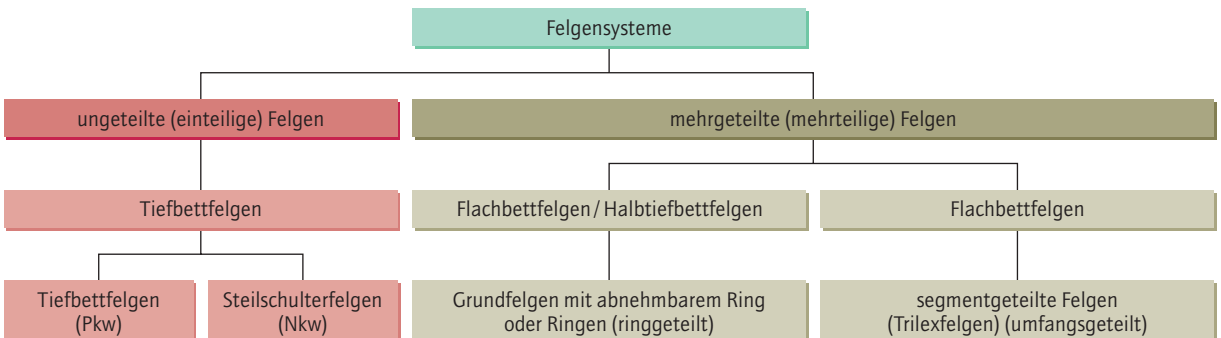


Bild 23.4 Steilschulterfelge.

Bei Nkw-Felgen sorgt die 15° -Steilschulter (Bild 23.4) sowohl für den luftdichten Abschluss als auch für den sicheren Halt des Reifens durch Festkeilen auf der Felge.



Flachbettfelgen sind geteilte Nkw-Felgen mit einer Schulterneigung von 5° (Schrägschulterfelge). Zum Reifenwechsel haben diese Felgen einen oder mehrere abnehmbare Seitenringe (Bild 23.5). Es können je nach Ausführung schlauchlose Reifen oder Reifen mit Schlauch montiert werden. Dieses ältere Felgensystem bietet den Vorteil der leichteren Reifenmontage ohne Spezialmaschinen. Nachteile dabei sind das höhere Radgewicht und die ungünstigeren Laufeigenschaften.

Im Nutzfahrzeubbereich dominieren heute die einteiligen Räder mit Steilschulter. Vorteile dieser Räder sind die hohe Sicherheit, das geringere Gewicht, die geringere Wartung und der bessere Fahrkomfort.

Radbefestigung. Aufgabe der Radbefestigung ist die feste, sichere und zentrische Verbindung zwischen Rad und Radnabe. Die Radschüssel wird mit der Radnabe verschraubt, dabei soll der Anlagenteil der Schüssel, der Spiegel, gleichmäßig

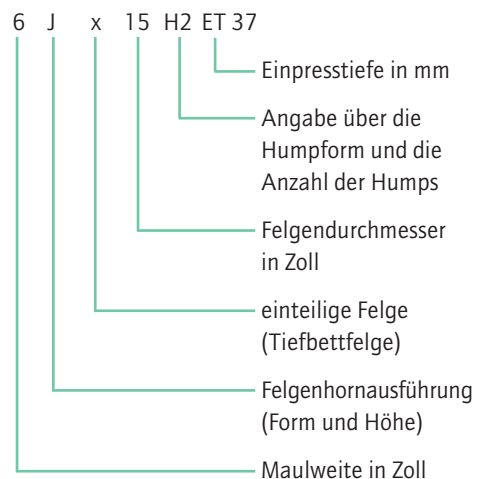
an der Flanschnabe anliegen. Die Befestigungslöcher in der Schüssel sind entweder mit einer Kugel- oder Kegelsenkung versehen oder glatt und zylindrisch.

Je nach Bauart des Rades sorgen die elastische Vorspannung der Schüssel, elastische Druckteller unter der Befestigung und/oder Reibung in Verbindung mit elastisch vorgespannten Radbolzen/-schrauben für den sicheren Halt am Fahrzeug. Die Zentrierung des Rades erfolgt beim Pkw meist über eine Mittenzentrierung, beim Nkw über eine Bolzen-, Mitten- oder Mischzentrierung.

23.3 Radbezeichnungen

Die Kennzeichnung der Räder im Schüsselspiegel und/oder auf der Felge setzt sich u. a. zusammen aus Angaben zur Felgenbezeichnung, zu Radanschlussmaßen und zusätzlichen Angaben (bei Nkw).

Nachfolgend das Beispiel für ein Pkw-Rad:



Symmetrische Felgen sind durch ein „S“ in der Felgenbezeichnung gekennzeichnet. Zusätzliche Radanschlussmaße sind Lochkreis (LK)- und Mittellochdurchmesser (ML) und Lochzahl (LZ).

Die Einpresstiefe (Bild 23.6) ist das Maß von Felgenmitte bis zur inneren Anlagefläche der Radschüssel. Sie kann positiv, null oder negativ sein.

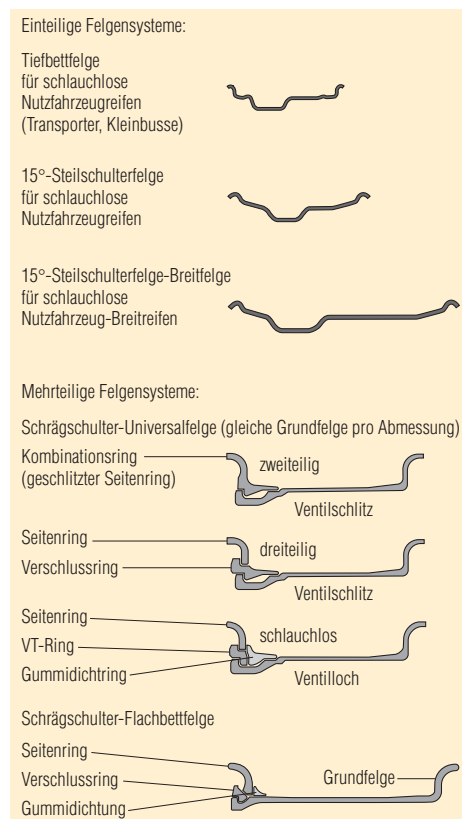


Bild 23.5 Felgensysteme.

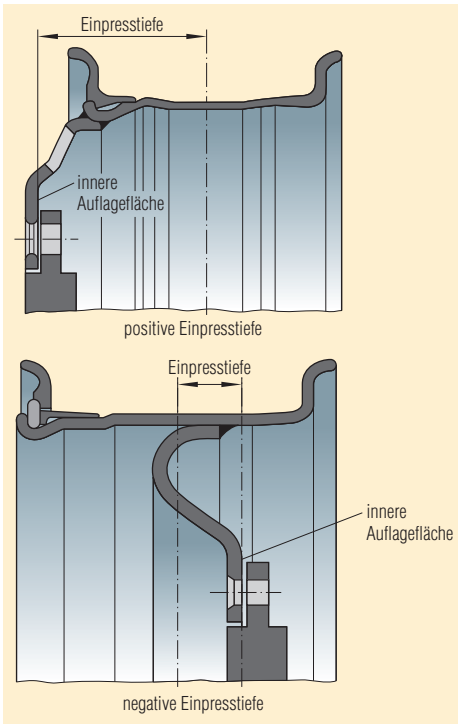
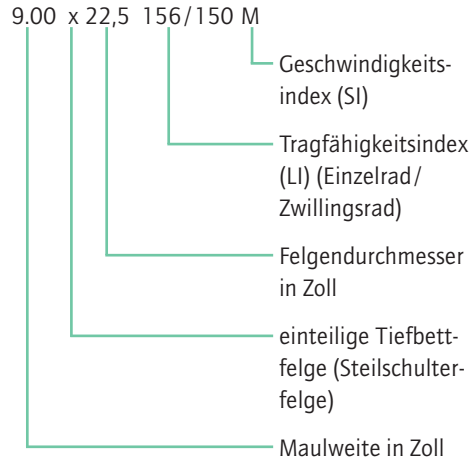


Bild 23.6 Positive und negative Einpresstiefe.

Bezeichnungen (beispielhaft) an einem Nfz-Rad (Lkw):



SI: Speed Index
(Geschwindigkeits-Kennbuchstabe)
LI: Load Index
(Tragfähigkeitskennzahl)

Ein Strich „-“ anstatt des „x“ steht für eine Flachbettfelge.

Ganzzahlige Felgendurchmesser weisen auf eine 5°-Schrägschulterfelge hin. Eine mit Komma angehängte 5 ist das Kennzeichen für eine 15°-Steilschulterfelge. Zusätzliche Radanschlussmaße bei Nkw-Rädern sind Mittenloch (ML)-, Loch- oder Teilkreisdurchmesser (LK), Lochzahl (LZ) und Ausführung sowie halber Mittenabstand.

halber Mittenabstand: Einpresstiefe + Materialstärke der Schüssel

Arbeitsaufträge

1. Aus welchen einzelnen Bauteilen besteht ein „Kompletttrad“? Nennen Sie die jeweiligen Aufgaben.
2. Unterscheiden Sie die verschiedenen Felgenarten.
3. Beschreiben Sie die Reifenmontage bei den verschiedenen Felgenarten.
4. Erläutern Sie die Funktion einer Sicherheitschulter (Hump).
5. Erläutern Sie folgende Radbezeichnungen:
a) 9J x 19 H2 ET 20 LK 135/5 und
b) 8.25 x 19,5 ML 221 LZ 8 LK 275 144/143 M.
6. Beschreiben Sie die verschiedenen Möglichkeiten, mit der das Lösen des Rades während der Fahrt verhindert wird.
7. „Leichtmetallräder verringern die ungefederten Massen!“ Bewerten Sie diese Aussage.
8. Informieren Sie sich über die verschiedenen Prüfverfahren für Fahrzeugräder.
9. Welche Probleme entstehen beim Richten von Rädern?
10. Begründen Sie die unterschiedlichen (fahrzeugspezifischen) Anzugsdrehmomente zur Radbefestigung.

23.4 Aufgaben von Reifen

Eingeschlossene Luft: tragendes Element eines Reifens.

Reifen sorgen in hohem Maße für die aktive Sicherheit (Fahrsicherheit). Sie stellen den Kontakt zwischen Fahrzeug und Fahrbahn her. Außer der Radlast, die sie über die eingeschlossene Luft zu tragen haben, müssen Reifen alle Kräfte (Antriebs-, Brems- und Seitenkräfte) übertragen, die auf das Fahrzeug wirken oder von diesem erzeugt werden. Folgende Hauptforderungen werden an Reifen gestellt.

Aktive Sicherheit:

- maximale Fahrsicherheit auf allen Fahrbahnbelägen und -zuständen,
- sicherer Sitz des Reifens auf der Felge in jeder Situation,
- ausreichende Belastbarkeit bei höheren Geschwindigkeiten,
- Unempfindlichkeit gegen Beschädigungen,
- Notlaufeigenschaften.

Wirtschaftlichkeit:

- hohe Abriebfestigkeit,
- hohe Lebensdauer,
- niedriger Rollwiderstand,
- sie sollen runterneuert werden können (Lkw),
- niedriges Eigengewicht,
- hohe Tragfähigkeit.

Umweltfreundlichkeit:

- sie sollen recycelbar sein,
- geräuscharmer Ablauf,
- sie sollen runterneuert werden können,
- Schonung der Fahrbahn,
- Dämpfung von Straßenunebenheiten,
- geräuscharmes Abrollen,
- einfaches Handling,
- guter Rundlauf.

Den idealen Reifen gibt es bis heute nicht. Es sei denn, er ist für einen bestimmten Einsatzzweck konstruiert. Sollen alle Anforderungen gleich gut erfüllt werden, so zeigt sich, dass jede Verbesserung einer bestimmten Eigenschaft eine andere Eigenschaft beeinträchtigt. Bild 23.7 zeigt durchschnittliche Eigenschaftsprofile verschiedener Pkw-Reifen im Vergleich.

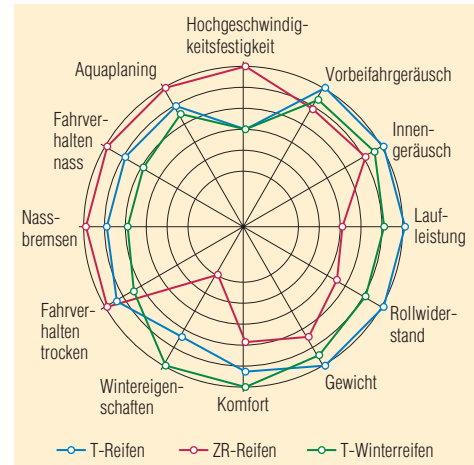


Bild 23.7 Eigenschaftsprofile von Pkw-Reifen.

23.5 Kräfte am Reifen

Kräfte greifen am Reifen längs oder seitlich an. Beschleunigen und Verzögern (Bremsen) erzeugen Längskräfte. Seitenkräfte entstehen bei Kurvenfahrt und durch Seitenwind. Ein Reifen kann nur Seitenkräfte übertragen, wenn er unter einem **Schräglaufwinkel** abrollt.

Die Räder müssen dadurch bei Kurvenfahrt etwas mehr eingeschlagen werden, als es der tatsächliche Kurvenverlauf vorgibt. Bild 23.8 zeigt die nierenförmig verformte Aufstandsfläche eines schräg rollenden Reifens, auf den eine Seitenkraft wirkt, und das daraus entstehende Rückstellmoment in Fahrtrichtung. Dabei wird die Seitenkraft um die Nachlaufstrecke versetzt.

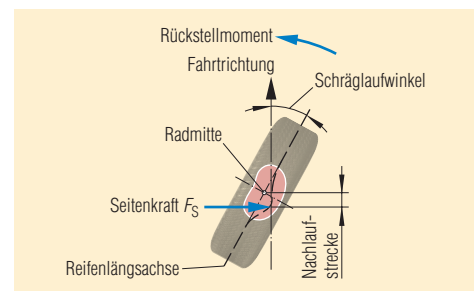


Bild 23.8 Reifenschräglaufwinkel bei Kurvenfahrt.

Schräglaufwinkel
→ S. 382

Schräglaufwinkel:
Winkel zwischen
Reifenbewegungs-
richtung und
Reifenlängsachse.

Handling: Lenken
ohne großen Kraft-
aufwand.

Die Haftgrenze eines Reifens auf trockener und nasser Fahrbahn beim gleichzeitigen Auftreten von Längs- und Seitenkraft zeigt der Kamm'sche Kreis (Bild 23.9). Sobald die resultierende Kraft F_R den jeweiligen Kreis überschreitet, verliert der Reifen seine Haftung.

Mit zunehmenden Kräften, die vom Rad auf die Fahrbahn übertragen werden müssen, beginnt der Reifen mehr und mehr zu radieren. Es kommt zu Schlupf.

Im Extremfall, bei haltlos durchdrehenden oder völlig blockierten Rädern, herrscht 100 % Schlupf (Gleitreibung). Ein Reifen überträgt selbst dann noch Kräfte auf die Fahrbahn. Die größten Kräfte hingegen kann ein Reifen in der Regel bei Schlupfwerten zwischen 10 % bis 30 % übertragen (Haftreibung). Den Zusammenhang zwischen Reibungszahl und Reifenschlupf zeigt Bild 23.10.

Die Reibungszahlen sind abhängig vom Schlupf (Kombination Reifen/Fahrbahn) und vom Schräglaufwinkel. Dies schließt die Temperaturen (Außen- und Reifentemperatur) und die Gummimischungen des Reifens, speziell der Laufflächen, mit ein. Der Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn wird weiter entscheidend beeinflusst durch die Profilgestaltung, die Profiltiefe, die Fahrgeschwindigkeit sowie die Struktur und die Feuchtigkeit der Fahrbanoberfläche. Den Zusammenhang verdeutlichen Bild 23.11 und Bild 23.12.

Beginnt ein Reifen auf dem Wasserfilm der Straße aufzuschwimmen, so spricht man von Aquaplaning. Vor der Reifenaufstandsfläche bildet sich ein Wasserkeil, der durch das Profil (Rillen) abgeleitet werden muss.

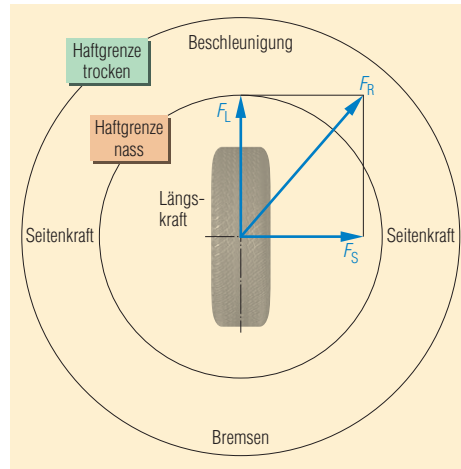


Bild 23.9 Kräfte am Kamm'schen Kreis.

Schlupf (Reifen): Relativbewegung zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und Reifen-Umfangsgeschwindigkeit.

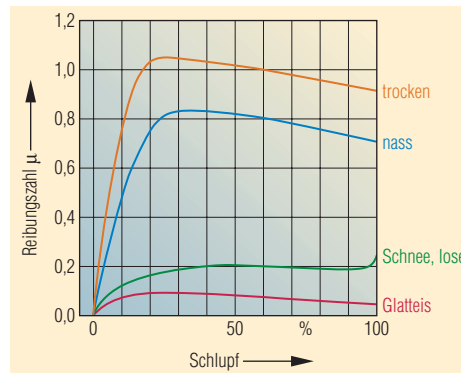


Bild 23.10 Reibungszahl und Reifenschlupf.

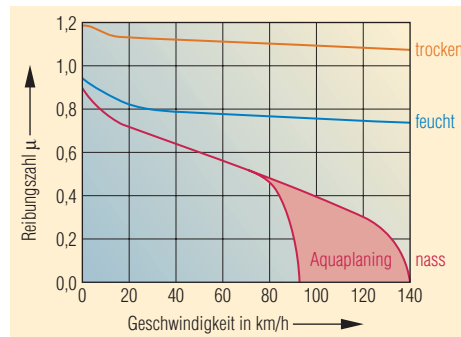


Bild 23.11 Reibungszahl und Geschwindigkeit.

Aquaplaning: Aufschwimmen des Reifens bei Nässe.

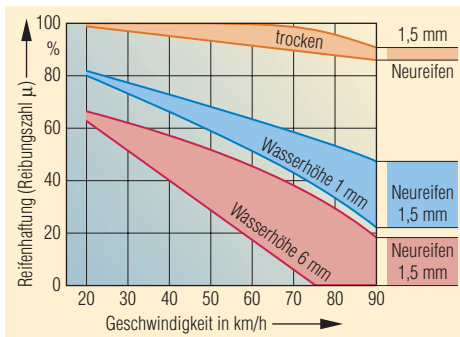


Bild 23.12 Reifenhaftung bei unterschiedlicher Wasserhöhe und Profiltiefe.

23.6 Reifenaufbau und Reifenbauarten

Nach der Bauart eines Reifens (Bild 23.13) unterscheidet man

- Radialreifen,
- Diagonal-Gürtelreifen (auch Semigürtelreifen oder Bias Belted) und
- Diagonalreifen.

Die wesentlichsten Reifenbauteile sind im Folgenden beschrieben.

Wulst mit Wulstkern (Bild 23.14). Er sorgt für den sicheren (luftdichten) Sitz des Reifens auf der Felge. Die Elastizität der Drahtringe bei Pkw-Reifen ermöglicht bei der Montage und Demontage das Rutschen über den Felgenhump einer Sicherheitsfelge. Bei Lkw-Reifen kann der Wulstring nur auf der Steilschulter bzw. Schrägschulter der Felge hochrutschen und bekommt so seinen festen Halt. Aufgenommen wird der Wulst von der umgeschlagenen Karkasse, dem Unterbau.

Die **Karkasse** ist mitverantwortlich für Reifenform, Tragfähigkeit und maximale Höchstgeschwindigkeit. Eine oder mehrere Karkassenlage(n) bilden den Festigkeitsträger aus Kunstfasern (Rayon, Nylon, Polyester, Karbonfasern oder Stahl). Das Cordgewebe ist in Gummi eingebettet und hat auf der Innenseite eine luftdichte Gummischicht zur Abdichtung (Innenseele).

Der Verlauf der Cordfäden von Wulst zu Wulst bestimmt die Reifenbauart (Bild 23.13):

- Diagonalreifen haben einen schrägen Verlauf der Cordfäden,
- Radialreifen besitzen eine Anordnung in radialer Richtung, also im rechten Winkel zur Laufrichtung.

Eine Mischbauweise (Motorradreifen) entsteht durch das Auflegen von Gürtellagen auf eine Diagonalkarkasse.

Die Karkasse des Radialreifens besteht aus 1 bis 2 Lagen, eine Diagonalkarkasse kann aus 2 bis 16 Lagen aufgebaut sein.

Gürtel. Im Zwischenbau wird auf die Karkasse unterhalb der Lauffläche ein Gürtel (geschnitten oder gefaltet) aus diagonal zueinander liegenden „Gewebelagen“ gelegt. Der Gürtel sorgt für die Festigkeit der Lauffläche. Unterschiedliche Fadenwinkel (Winkel zur Zenitlinie) und/oder Fadenwerkstoffe können die Eigenschaften eines

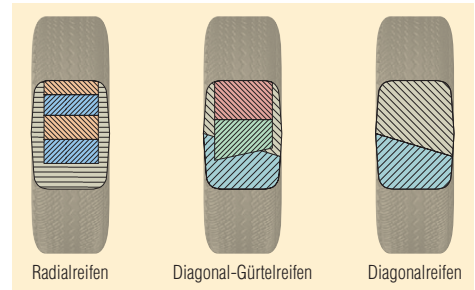


Bild 23.13 Reifenbauarten.

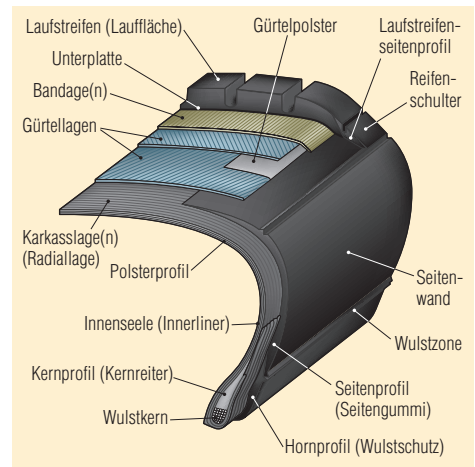


Bild 23.14 Aufbau eines Radialreifens.

Reifens maßgeblich beeinflussen. Auf diese Gürtellagen kann eine Bandage, z. B. zum Schutz des Unterbaus oder zum Geradehalten der Lauffläche bei hoher Geschwindigkeit, aufgebracht werden. Der Laufstreifen trägt das Profil des Reifens. Das Profil setzt sich aus Profilblöcken und -rillen zusammen.

Viele Faktoren beeinflussen die Profilgestaltung (Profildesign) eines Reifens: z. B. Tragfähigkeit, Höchstgeschwindigkeit, Lärmpegel, jahreszeitlicher Einsatz (Sommer-, Winter- und Ganzjahresreifen), sowie Montierposition (z. B. angetriebene/nichtangetriebene Achse, Lenkachse/Laufachse, rechte/linke Seite), Fahrzeugart und Einsatzbedingungen. Die spezifischen Einsatzmöglichkeiten der Reifen werden auf der Seitenwand entsprechend gekennzeichnet. Mögliche Laufflächengestaltungen für Pkw-Reifen zeigt Bild 23.15.

Profilblöcke:

bilden das Profil-Positiv;

Profilrillen: bilden das Profil-Negativ;

Profillamellen:

Einschnitte in den Profilstollen.

Lagenzahl: auch

ply-rating (PR)

Zenitlinie: gedachte umlaufende Linie auf der Laufflächenmitte.

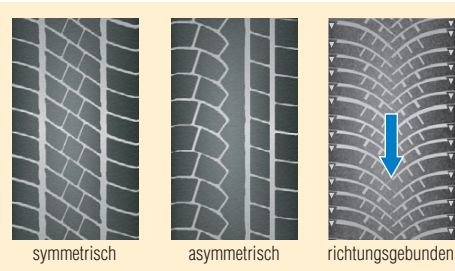


Bild 23.15 Laufflächengestaltungen für Pkw-Reifen.

Die **Seitenwand** (Reifenflanke) schützt die Kar-kasse und beeinflusst die Fahreigenschaften und den Komfort. Bei Reifen mit Notlaufeigenschaften wird sie konstruktiv verstärkt. Außerdem trägt sie die Seitenwandbeschriftung.

Je nach Verbauort und Anforderung werden im Reifen verschiedene Gummi- bzw. Kautschuk-mischungen eingesetzt.

Über **Ventile** (Bild 23.16) werden die Reifen mit Luft befüllt um den gewünschten Innendruck zu erhalten. Es gibt sie in unterschiedlichen Ausführungen für schlauchlose Reifen und für Schlauch-reifen. Das Gummiventil für schlauchlose Reifen wird in die Felge eingezogen. Es dichtet durch die Gummivorspannung ab. Schraubventile werden in der Felge festgeschraubt (Leichtmetallräder bzw. Nkw-Räder). Das Ventil für Schlauchreifen ist auf den Schlauch aufvulkanisiert. Lange Ven-tile müssen gegen Flattern abgestützt werden. Dies geschieht durch Radkappen oder durch Haltebügel.

Schlauch. Felgen, die nicht über Sicherheits-humps verfügen sowie Reifen mit der Aufschrift „tubetype“ müssen grundsätzlich mit einem Schlauch montiert werden. Die Schläuche müs-sen auf die entsprechende Felgenart abgestimmt sein. Zudem wird in das Felgenbett ein Gummi-schutzband eingelegt. Dringt ein Fremdkörper ein, verlieren Reifen mit Schlauch schnell die eingeschlossene Luft. Daher werden sie immer mehr durch schlauchlose Reifen ersetzt.

Bereifungsstandard. Heutiger Standard ist der Radialreifen. Vorteile sind

- der geringe Rollwiderstand, deshalb geringer Abrieb und Kraftstoffersparnis,
- die bessere Seitenführung,
- die geringere Walkarbeit und Erwärmung sowie
- ein weiches Federungsverhalten bei höheren Geschwindigkeiten (abhängig vom Höhen-/ Breiten-Verhältnis).

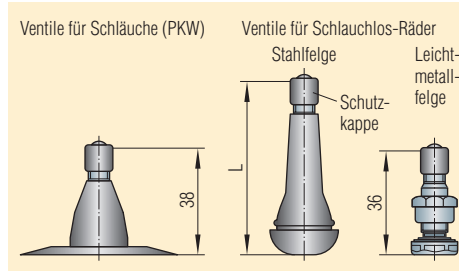


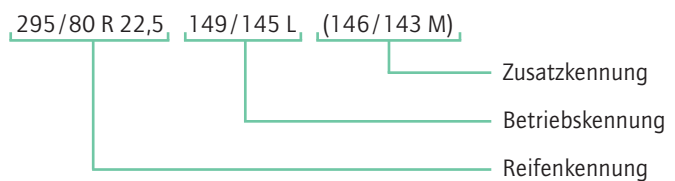
Bild 23.16 Ventile (Pkw).

23.7 Reifenbezeichnung

Die technischen Daten von Reifen entsprechen grundsätzlich den internationalen Normen nach ETRTO. Zusätzliche Angaben, z.B. weitere Rei-fengrößen und -ausführungen, entsprechen DIN-bzw. WdK-Leitlinien.

Vorschriften über die Montage von Reifen und Rädern am Fahrzeug sind den entsprechenden Paragraphen der StVZO zu entnehmen. Die Rei-fenbezeichnung (Bild 23.17, S. 424) besteht aus Reifenkennung, Betriebskennung, evtl. Zusatz-kennung.

Beispielhaft an einem Nutzfahrzeugreifen:



Reifenkennung (Reifengröße):

- Reifennennbreite in mm oder Zoll (endet bei Motorradreifen mit einer 0),
- Querschnittsverhältnis (Höhen-/Breiten-Verhältnis) in %,
- Code für die Reifenbauart (R = radialer Auf-bau, „-“ oder D für diagonalen Aufbau),
- Felgendurchmesser oder Reifeninnendurch-messer in Zoll oder mm.

Betriebskennung (Nennkennung):

- Last-Index oder Tragfähigkeitskennzahl (Ein-zel- oder Zwillingsbereifung),
- Geschwindigkeits-Index oder Geschwindig-keitskennbuchstabe.

Zusatzkennung:

- verminderter Last-Index bei erhöhtem Ge-schwindigkeits-Index.

Reifenfülldruck: der Überdruck der im kalten Reifen eingeschlossenen Luft.

ECE: Economic Commission for Europe

ETRTO: The Euro-pean Tyre and Rim Technical Organi-sation

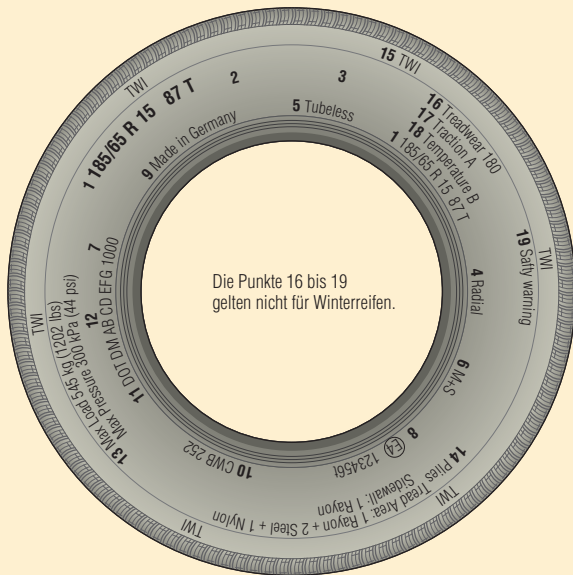
DIN: Deutsches In-stitut für Normung

WdK: Wirtschafts-verband der deut-schen Kautschuk-industrie

tubetype: Reifen mit Schlauch

tubeless: schlauch-loser Reifen

PR (Ply Rating): wurde durch den Last-Index (Load Index) ersetzt



Für Europa gültig:

- Größenbezeichnung (185/65 R 15 87 T)
185 = Reifen-Nennbreite in mm
65 = Verhältnis von Reifen-Querschnittshöhe zu Reifenbreite in Prozent
R = Radial-Bauweise
15 = Felgendurchmesser-Bezeichnung in Zoll
87 = Tragfähigkeits-Index (Load Index) für 545 kg
T = Geschwindigkeits-Index (Speed-Index) für maximal 190 km/h
- Hersteller (Handelsname)
- Profilbezeichnung
- Radial-Bauweise. (Radialer Fadenverlauf in der Karkasse)
- Kennzeichnung für schlauchlose Reifen
- Hinweis für die besondere Eignung für den Wintereinsatz
- Herstelldatum, hier 10. Produktionswoche 2000; früher 129 ◀ = Herstellungsdatum 12. Produktionswoche, 9 ◀ Produktionsjahr = 1999 (ohne ◀ = 1989)
- E = Genehmigungszeichen. Reifen erfüllt die europäischen Richtlinien von ECE-R30.
4 = Land, in dem die Prüfung durchgeführt wurde (4 = Niederlande). Zulassungsnummer gemäß ECE-R30

- Herstellands (in Deutschland hergestellt)
- Interner Profilkode des Herstellers

Für Nord-Amerika zusätzlich erforderlich:

- DOT-Zeichen. Der Reifen erfüllt die Richtlinien der amerikanischen Verkehrsbehörden (Department of Transportation)
- DOT-Code. Identifizierungs-Nummer für Herstellwerk, Reifengröße und Reifenausführung
- Angaben der für Nordamerika gültigen maximal zulässigen Last und des dort zulässigen maximalen Luftdruckes
- Anzahl und Material der Lagen in der Laufflächenmitte (Gürtel- und Schutzlagen) und in der Seitenwand (Karkasse)
- Hinweis für die Position der 6 Verschleissanzeiger (Tread Wear Indicator) Höhe 1,6 mm
- Relative Lebenserwartung (Abriebfestigkeit) bezogen auf einen US-spezifischen Standardtest. 180 = 180 %
- Bewertung des Nassbremsvermögens (A,B oder C) nach US-spezifischem Test
- Bewertung der Temperaturfestigkeit bei höheren Geschwindigkeiten (A,B oder C) nach US-spezifischem Test
- Safety Warning. Sicherheits-Hinweis für Gebrauch und Montage des Reifens

Jedem Last-Index ist eine Reifentragfähigkeit in kg zugeordnet. Bei Nkw-Reifen wird die Tragfähigkeit für Einzel- und Zwillingsbereifung angegeben. Jedem Geschwindigkeits-Index ist eine zulässige Höchstgeschwindigkeit in km/h zugeordnet (Tabelle 23.1).

Konstruktionsmaße (Außendurchmesser, Querschnittsmaße usw.) und Reifenbetriebsmaße (max. Reifenbreite, statischer und dynamischer Reifenhalmesser, Abrollumfang usw.) können den technischen Handbüchern der Reifenhersteller bzw. ETRTO entnommen werden.

Notlaufsysteme. Reifenkonstruktionen werden ständig weiterentwickelt. Grundsätzliche Veränderungen des bestehenden Rad-Reifen-Systems haben sich bisher aber nicht durchsetzen können. Der Zwang, z. B. leichtere Fahrzeuge mit geringerem hinteren Überhang zu bauen, führt zur Einsparung des Ersatzrades. Deshalb benötigt ein luftleeres Rad Notlaufeigenschaften, z. B. durch die Verwendung von Pannensprays, durch den Einbau von Stützringen verschiedener Bauarten und/oder durch die Verstärkung der Seitenwand mit geändertem Wulstaufbau in Kombination mit einem veränderten Felgenaufbau. Einen Vergleich zwischen Standard- und Run-Flat-Reifen (SST-Reifen) zeigt Bild 23.18. Reifen dieser Bauart dürfen nur mit einem Reifendruckkontrollsystem (RDKS) betrieben werden. Fahrzeuge, die serienmäßig mit Run-Flat-Reifen ausgerüstet sind, dürfen nicht mit Standardreifen bereift werden.

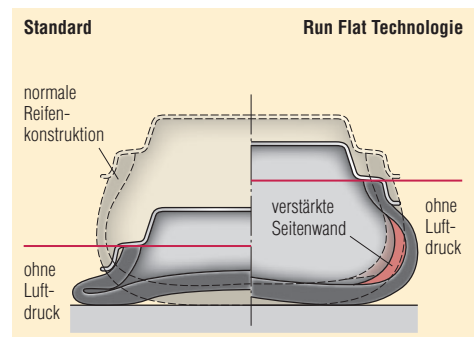


Bild 23.18 Vergleich Standardreifen mit Reifen mit verstärkter Seitenwand.

Run Flat (engl.):
Notlauf (eigen-schaften)

SST = Self Supporting Tire (engl.):
selbst abstützende Reifen

Geschwindigkeit-Indizes (SI = Speed Indices)			
Geschwindigkeitssymbol	Referenz- bzw. Höchstgeschw. in km/h	Geschwindigkeitssymbol	Referenz- bzw. Höchstgeschw. in km/h
A1	5	K	110
A2	10	L	120
A3	15	M	130
A4	20	N	140
A5	25	P	150
A6	30	Q	160
A7	35	R	170
A8	40	S	180
B	50	T	190
C	60	U	200
D	65	H	210
E	70	V	240
F	80	W	270
G	90	Y	300
J	100	ZR	> 240

Tabelle 23.1 Geschwindigkeits-Indizes.

Diffusion: Durchdringung eines festen Stoffes (Reifen) durch einen gasförmigen Stoff (Luft).

Reifendruckkontrolle. Durch die hohe Zuverlässigkeit moderner Rad-Reifen-Systeme wird die regelmäßige Luftdruckkontrolle oft unterlassen. Sicherheit, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit von Reifen sind nur dann gesichert, wenn sie mit dem vorgeschriebenen Luftdruck gefahren werden. Der Druckverlust durch Diffusion kann bei intakten Reifen innerhalb eines Jahres bis zu 30 % betragen. Reifenfüllungen mit Stickstoff können diese Diffusion merklich mindern und tragen zur Verringerung des Rollwiderstandes bei.

Elektronische Reifenkontrollsysteme (RDKS) warnen den Fahrer bei Druckverlust rechtzeitig optisch und/oder akustisch.

Reifenfehler. Es ist in der normalen Fertigung kaum möglich, ein geometrisch genau kreisrundes Rad bzw. einen kreisrunden Reifen zu fertigen. Deshalb treten beim Reifen im Wesentlichen die in Tabelle 23.2 genannten Ungleichförmigkeiten auf.

Art der Reifenungleichförmigkeit	Erscheinungsform	Werkstattkorrekturmöglichkeiten
Massenungleichförmigkeiten	statische Unwucht	statisches Auswuchten in einer Ebene
	dynamische Unwucht	dynamisches Auswuchten in zwei Ebenen
geometrische Abweichungen	Rundlaufabweichung (Höhenschlag)	Matchen
	Planlaufabweichungen (Seitenschlag)	keine

Tabelle 23.2 Reifenungleichförmigkeiten.

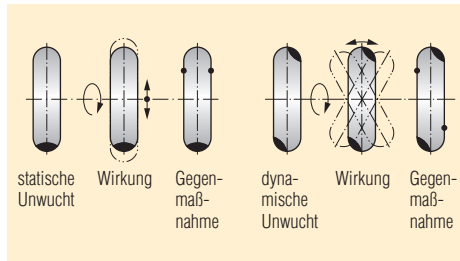


Bild 23.19 Statische und dynamische Unwucht, ihre Auswirkungen und ihre Beseitigung.

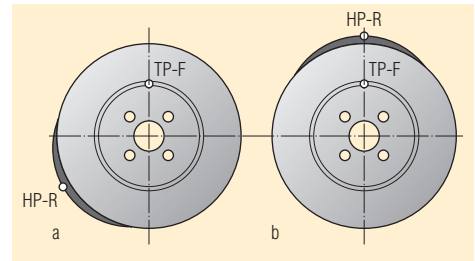


Bild 23.20 Prinzip des Matchens.

regroovable
(engl.): nach-
schneidbar

Weitere Ungleichförmigkeiten entstehen durch Kraftschwankungen und statische Seitenkräfte (Bild 23.19). Die Beseitigung der Unwuchten erfolgt an einer stationären Auswuchtmaschine und eventuell zusätzlich am Fahrzeug. Größe und Lage der zu befestigenden Auswuchtgewichte werden angezeigt. Die Wuchtgewichte werden entweder durch Anklemmen und/oder Ankleben befestigt.

Die Beseitigung eines Höhengschlages erfolgt durch Matchen. Dabei wird der Reifen so auf der Felge gedreht, dass die höchste Stelle des Reifens und die tiefste Stelle der Felge zusammenkommen (Bild 23.20).

Mischbereifung:
Radial- und Diagonalreifen (Ausnahme: Notrad), Sommer- und Winterreifen, sowie Reifen mit stark unterschiedlichem Profil

TWI: Treat Wear Indicator (engl.) = Verschleißanzeige

Reifenschäden. Normaler Reifenverschleiß ist aufgrund der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn unvermeidlich. Anomaler Reifenverschleiß tritt dann auf, wenn Fehler an Rad und/oder Reifen bzw. am Fahrwerk vorliegen. Äußerer Kennzeichen dafür ist ein asymmetrischer Abrieb, der nicht gleichmäßig über die Breite und den Umfang der Reifenlauffläche verteilt ist (Bild 23.21). Man darf jedoch Beschädigungen, die durch mechanische oder chemische Einwirkungen von außen entstanden sind, nicht dazu zählen.



Bild 23.21 Ursachen ungleichmäßigen Reifenabriebs.

Umweltschutz. Die Zweit- oder Drittnutzung von Altreifen wird durch Aufarbeitung und Rundenerneuerung ermöglicht. Beschädigte und irreparable Reifen dürfen grundsätzlich nur durch zertifizierte Betriebe entsorgt werden. Nur entsprechend gekennzeichnete Reifen dürfen nachgeschnitten werden.

Montage. Bei der Montage von Reifen bzw. Rädern sind folgende gesetzlichen Vorschriften der StVZO einzuhalten:

- Am Fahrzeug dürfen nur die vom Hersteller freigegebenen Reifen bzw. Räder montiert werden. Eine Missachtung führt automatisch zum Erlöschen der Allgemeinen Betriebserlaubnis (ABE).
- An einem Fahrzeug dürfen nur Reifen gleicher Bauart montiert werden. Der Betrieb eines Fahrzeugs mit Mischbereifung ist verboten.
- Die Profiltiefe eines Reifens darf im Hauptprofil 1,6 mm nicht unterschreiten (Bild 23.22).
- Nur bei der Montage von Winterreifen darf der vorgeschriebene Geschwindigkeitsindex der Bereifung unterschritten werden. Dann muss ein Aufkleber mit der max. zulässigen Geschwindigkeit im Sichtfeld des Fahrers befestigt werden.

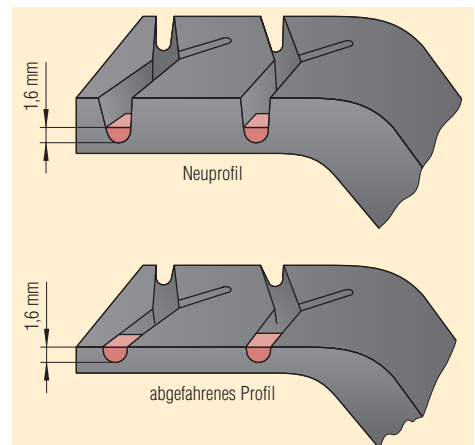


Bild 23.22 Verschleißanzeiger (TWI) in den Hauptprofilrillen der Reifenlauffläche.

- Reifen, die älter als 10 Jahre sind, sollten nicht mehr gefahren werden.
- Reifen mit dem besseren Profil sollten, wegen der besseren Seitenführung, an der Hinterachse montiert werden.
- Bei asymmetrischer Lauffläche und/oder Laufrichtungsbindung ist die Anbauposition genau zu beachten (z. B. „side facing inwards“ heißt: Diese Reifenseite muss bei der Montage am Fahrzeug nach innen zeigen).
- Reifen sollten nur auf einwandfreien, maßhaltigen, rostfreien und unbeschädigten Felgen aufgezogen werden.
- Beim Aufziehen neuer Reifen sollten grundsätzlich neue Ventile bzw. neue Schläuche verwendet werden.
- Die Montage muss sorgfältig und professionell durchgeführt werden.
- Gebrauchte Schläuche sollten nicht wieder verwendet werden.

Arbeitsaufträge

1. Nennen Sie Maßnahmen und Möglichkeiten, wie Unfälle durch Reifenschäden vermieden werden können.
2. Welche Anforderungen werden an einen Reifen gestellt?
3. Warum gibt es keinen idealen Reifen? Erläutern Sie die Zielkonflikte an ausgewählten Beispielen.
4. Erklären Sie die Aufgaben der einzelnen Reifenbauteile.
5. Auf der Reifenseitenwand stehen viele Angaben und Informationen. Entschlüsseln Sie diese Angaben an verschiedenen Pkw- und Lkw-Reifen in der Werkstatt.
6. Informieren Sie sich über folgende Begriffe:
 - a) statischer Halbmesser eines Reifens,
 - b) dynamischer Halbmesser bzw. dynamischer Abrollumfang.
7. a) Listen Sie die möglichen Räder- und Reifengrößen aus einem Fahrzeugbrief bzw. -schein eines selbst gewählten Beispiels auf.
 b) Welche Probleme ergeben sich bei der Feststellung der Räder- und Reifengrößen durch die neue Zulassungsbescheinigung Teil 1?
8. Was versteht man unter einer Reifenbindung bei Motorradreifen?
9. a) Begründen Sie den Ventilwechsel bei einer Neubereifung.
 b) Welche Hinweise sollten einem Kunden nach einer Neubereifung gegeben werden?
10. Erstellen Sie einen Ablaufplan zur Räder- und Reifenumrüstung.
11. Was versteht man unter Aquaplaning? (Problematisieren Sie die gesetzlich vorgeschriebene Mindestprofiltiefe.)
12. Wodurch ist die Laufleistung eines Reifens begrenzt?
13. a) Ein Reifenschaden ist verbotenerweise nur durch den Einbau eines Schlauches behoben worden. Welche Problematik ergibt sich daraus?
 b) Informieren Sie sich über die Reparaturmöglichkeiten von Reifen.
14. Welche unterschiedlichen Notlauf- und Reifendruckkontrollsysteme konkurrieren miteinander?
15. Erläutern Sie die Möglichkeiten eines „zweiten“ Reifenlebens oder wie Reifen recycelt werden.
16. Wodurch entsteht der Rollwiderstand eines Reifens?
17. Unterscheiden Sie die beiden Unwuchtarten und ihre Beseitigung.
18. Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Reifen, Fahrzeugfederung, Dämpfung und Radaufhängung.

24 Lenkung

24.1 Aufgaben und Anforderungen

Die Lenkung soll den Drehwinkel des Lenkrads, den der Fahrer ausführt, in einen Lenkwinkel der Räder umsetzen. Da die Betätigungskraft am Lenkrad 250 N nicht überschreiten darf, ist eine Übersetzung zwischen Lenkrad und Rädern erforderlich. Trotz dieser Lenkübersetzung muss das Lenken direkt und sicher sein. Allerdings geben die Fahrwerksbauteile geringfügig elastisch nach und bewirken so, dass die Lenkung leicht verzögert anspricht (Lenkwinkelsprung, Bild 24.1).

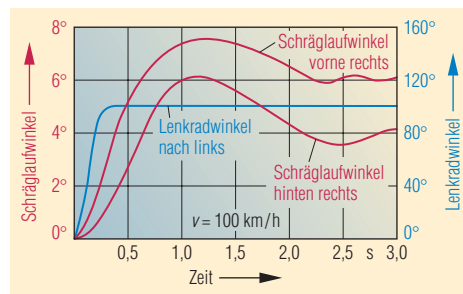


Bild 24.1 Ansprechen der Lenkung (untersteuerndes Fahrverhalten).

Wendekreis:

Kreisbogen, den die vordersten Fahrzeugteile beim maximalen Lenkeinschlag beschreiben.

Anforderungen an die Lenkung:

- dem Fahrer über das Lenkmoment und den Lenkraddrehwinkel möglichst viele Informationen über die Fahrbahn und den Fahrzustand vermitteln,
- Radbewegungen, die durch Ein- und Ausfedern entstehen, dürfen den Lenkwinkel nicht beeinflussen,
- das Lenkrad nach einem Richtungswechsel selbsttätig in die Geradeausstellung zurückdrehen,
- Stöße (z. B. durch Unebenheiten der Fahrbahn) nur in geringem Maß an das Lenkrad weitergeben (Stoßdämpfung),
- den Reifenverschleiß bei Kurvenfahrt so gering wie möglich halten,
- möglichst kleiner Wendekreis des Fahrzeugs,
- Lenkungsteile dürfen bei einem Unfall nicht in den Fahrgastraum eindringen und den Fahrer verletzen,
- bei Aufprall mit dem Kopf darf das Lenkrad den Fahrer nicht verletzen.

24.2 Lenkgeometrie

24.2.1 Lenkungsarten

Damit die Räder beim Durchfahren einer Kurve keine Radierbewegungen machen, müssen sie Kreisbögen um einen gemeinsamen Mittelpunkt beschreiben (Ackermann-Bedingung). Es gibt drei Arten von Lenkungen, die das ermöglichen (Bild 24.2).

Spurdifferenzwinkel → S. 393

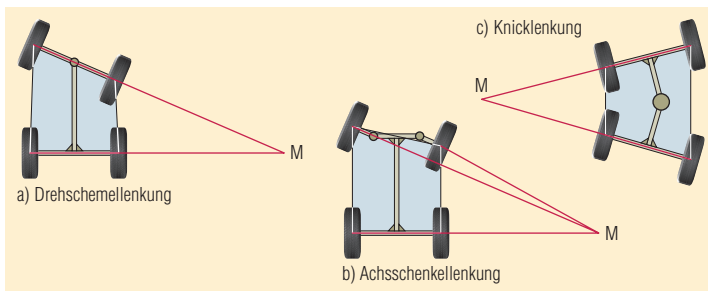


Bild 24.2 Lenkungsarten.

Drehschemellenkung. Die Lenkwinkel entstehen durch Schwenken der gesamten Vorderachse (Bild 24.2a). Mit zunehmendem Lenkwinkel verringert sich die stützende Spurweite, d. h. die Radaufstandsfläche verringert sich und die Kippstabilität nimmt ab. Die Drehschemellenkung wird überwiegend bei mehrachsigen Anhängern verwendet.

Achsschenkellenkung. Die Vorderräder drehen jeweils um eine eigene Lenkachse (Bild 24.2b und Bild 24.3). Kurvenäußeres und kurveninneres Rad müssen unterschiedlich stark eingeschlagen werden um ein Radieren zu verhindern (Spurdifferenzwinkel). Die Synchronisierung der Lenkbewegung erfolgt über ein verbindendes Gestänge (Lenkgestänge). Der bauliche Aufwand ist hier größer.

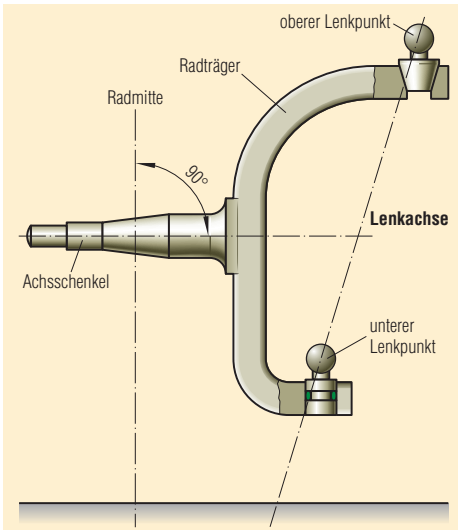


Bild 24.3 Lenkachse.

Knicklenkung. Die beiden Achsen werden gegeneinander in einen bestimmten Winkel gebracht (Bild 24.2c). Diese Bauart wird vor allem bei Arbeitsmaschinen verwendet.

24.2.2 Lenkgestänge

Um bei der Achsschenkellenkung die beiden Achsschenkel mit dem jeweils richtigen Winkel einlenken zu lassen, ist ein Lenkgestänge notwendig. Dieses kann als Lenktrapez, Lenkviereck oder Lenkdreieck ausgeführt sein.

An **Starrachsen** können nur **Lenkgetriebe** mit Drehbewegung in Verbindung mit einem Lenktrapez eingesetzt werden. In seiner einfachsten Ausführung besteht das Lenktrapez aus zwei Spurstangenhebeln und einer Spurstange (Bild 24.4).

Einzelradaufhängungen erfordern ein Lenkviereck (bei Lenkgetrieben mit Drehbewegung, Bild 24.5) oder ein Lenkdreieck (bei Lenkgetrieben mit Schiebewegung, d. h. Zahnstangenlenkungen, Bild 24.6). Die Spurstange muss geteilt sein, damit die Lenkbewegung nicht von der Kinematik beim Ein- und Ausfedern beeinflusst werden kann (Bild 24.7).

Das Übersetzungsverhältnis im Lenkgestänge, d. h. das Verhältnis zwischen Radlenkwinkel und Lenkgetriebe-Ausgangswinkel, beträgt beim Pkw in der Regel 1,0 bis 1,3.

Um Schwingungen der Räder zu dämpfen, unterstützt häufig ein hydraulischer Lenkungsämpfer das Lenkgestänge.

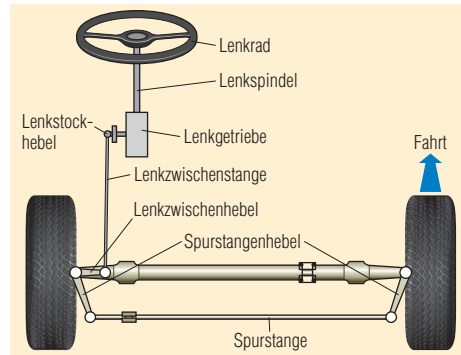


Bild 24.4 Lenktrapez.

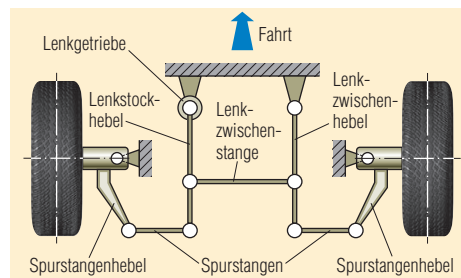


Bild 24.5 Lenkviereck.

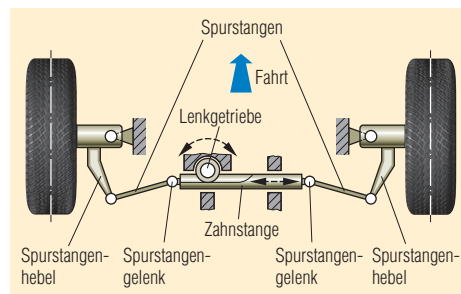


Bild 24.6 Lenkdreieck.

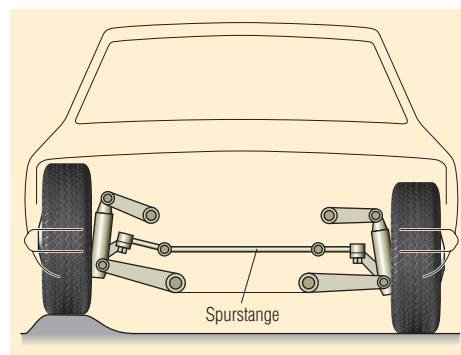


Bild 24.7 Geteilte Spurstange.

Lenkgetriebe
→ S. 430

Kinematik: Lehre der (mechanischen) Bewegungen ohne Berücksichtigung von Kräften.

24.3 Lenkgetriebe

Zur Umwandlung der Drehbewegung des Lenkrads in einen Ausschlag des Lenkstockhebels oder eine Schiebewegung der Zahnstange wird ein Lenkgetriebe benötigt. Zusätzlich wird das Drehmoment, welches der Fahrer durch Handkraft aufbringt, vergrößert.

	Lenkung ohne Hilfskraftlenkung	Lenkung mit Hilfskraftlenkung
Pkw	19 bis 25	15 bis 21
Lkw	22 bis 33	16 bis 22

Tabelle 24.1 Übersetzungen im Lenkgetriebe.

In Kraftfahrzeugen finden sich im Wesentlichen zwei Arten von Lenkgetrieben:

- Lenkgetriebe mit Schiebewegung (Zahnstangenlenkung),
- Lenkgetriebe mit Drehbewegung (Kugelumlauf- oder Schneckenrollenlenkung).

Zahnstangenlenkung. Wegen seiner Vorzüge ist die Zahnstangenlenkung am weitesten verbreitet:

- einfacher und preisgünstiger Aufbau,
- leichtgängig und guter Wirkungsgrad,
- geringer Raum wird benötigt und Lenkgestängeteile können entfallen,
- leichte Rückstellung.

Allerdings führt die leichte Rückstellung auch zu einer größeren Stoßempfindlichkeit.

Aufbau (Bild 24.8). Auf der Lenkspindel sitzt ein schrägverzahntes Ritzel, das das Lenkmoment

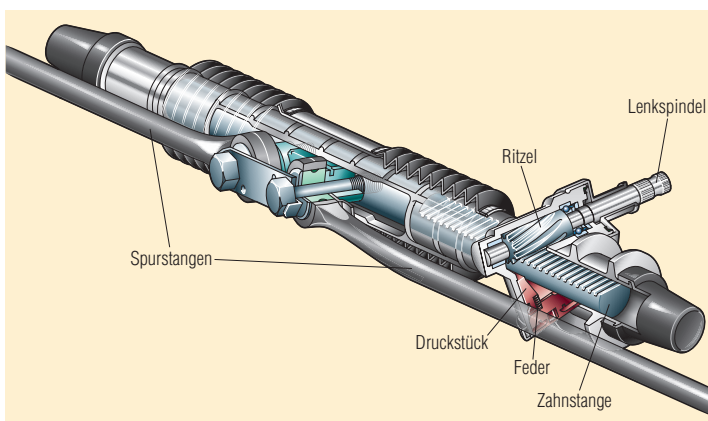


Bild 24.8 Zahnstangenlenkung.

auf eine Zahnstange überträgt. Die Zahnstange wird über ein Druckstück federnd an das Ritzel gedrückt, sodass freies Spiel gewährleistet ist. Die Zahnstange bildet einen Teil der geteilten Spurstange. Sie wird vom Ritzel bei Drehung an der Lenkspindel axial verschoben.

Durch die Geometrie bedingt nimmt in Lenkdreiecken bei größerem Lenkeinschlag die Übersetzung ab. Dies führt gerade beim Rangieren zu großen Lenkkräften. Deshalb baut man Zahnstangenlenkungen mit veränderlicher Übersetzung. Diese erreicht man durch variable Zahnteilung der Zahnstange (Bild 24.9).

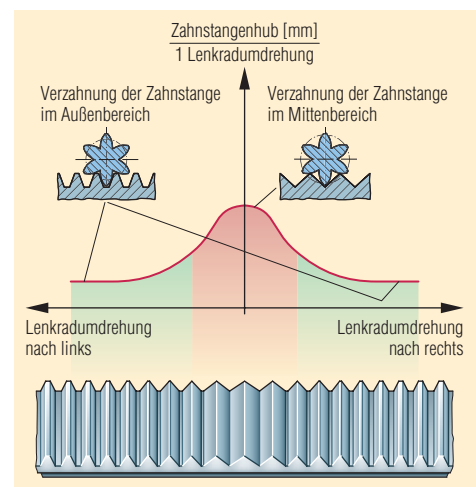


Bild 24.9 Zahnstangenlenkung mit veränderlicher Übersetzung.

Kugelumlaufenkungen können bei Starrachsen verwendet werden. Sie haben eine geringe innere Reibung, können große Kräfte übertragen und ermöglichen große Radlenkwinkel. Wegen ihrer aufwändigen Konstruktion sind sie allerdings teuer.

Im Rundgewinde der Lenkschraube laufen Kugeln, die beim Drehen der Lenkspindel die Lenkmutter verschieben und somit das Zahnsegment und die Lenkwelle verdrehen (Bild 24.10).

Schneckenrollenlenkungen sind bei kleinen Abmessungen ähnlich leichtgängig wie Kugelumlaufenkungen und ermöglichen einen großen Radlenkwinkel. Die Schnecke verdreht über eine Lenkrolle die Lenkrollenwelle, an der der Lenkstockhebel befestigt ist (Bild 24.11).

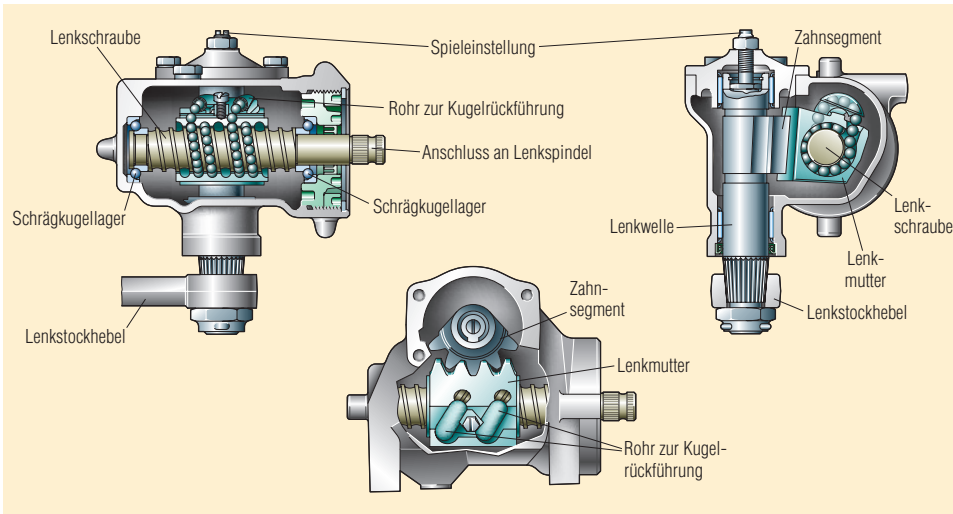


Bild 24.10 Kugelumlauf lenkung.

24.4 Hilfskraftlenkungen

Zur Unterstützung des Fahrers werden Hilfskraftlenkungen eingesetzt, die den Kraftaufwand beim Lenken begrenzen.

Funktionsprinzip. Das vom Fahrer aufgebrachte Lenkmoment wird durch ein Messsystem (meist im Bereich der Lenkspindel) erfasst. Abhängig von der Höhe des Lenkmoments wird dem Lenksystem eine Unterstützungskraft zugeführt. Die Lenkunterstützung kann auch von der Fahrgeschwindigkeit abhängen, d.h. bei höheren Geschwindigkeiten kann sie reduziert werden.

Es werden drei Arten von Hilfskraftlenkungen unterschieden:

- hydraulische Hilfskraftlenkung,
- elektrohydraulische Hilfskraftlenkung,
- elektrische Hilfskraftlenkung.

24.4.1 Hydraulische Hilfskraftlenkung

Funktionsprinzip. Die Energie zur Lenkunterstützung liefert der Antriebsmotor. Durch eine Hochdruckpumpe wird Hydrauliköl aus einem Vorratsbehälter zu einem Steuerventil gepumpt (Bild 24.12). Je nachdem, ob rechts oder links

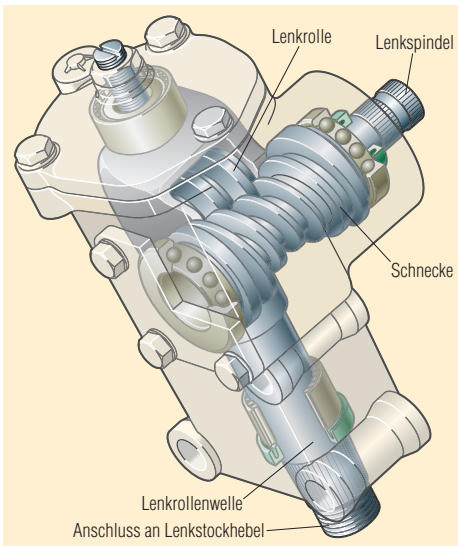


Bild 24.11 Schneckenrollenlenkung.

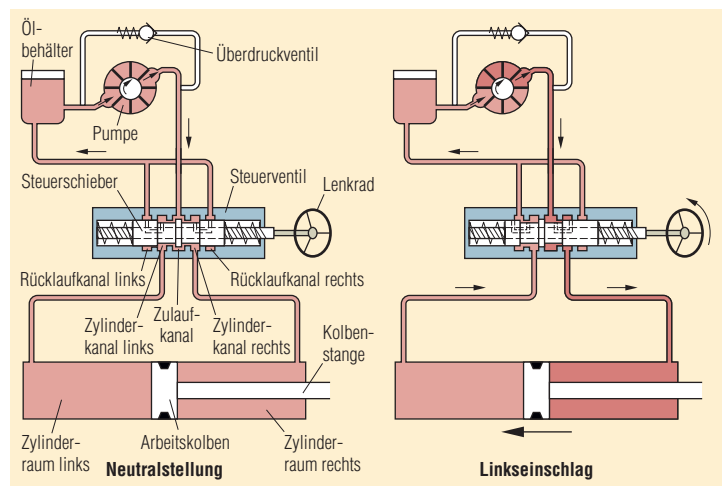


Bild 24.12 Hydraulische Hilfskraftlenkung.

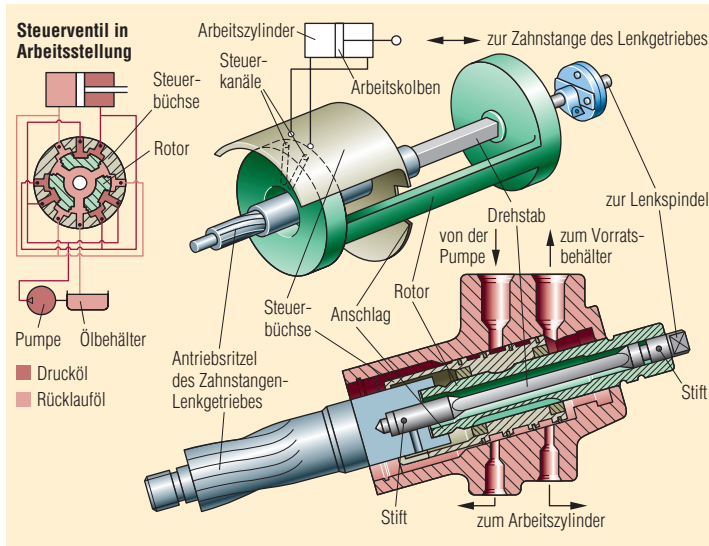


Bild 24.13 Drehschieberventil.

eingeschlagen wurde, leitet es den Arbeitsdruck an die Seiten eines Arbeitskolbens. Dieser unterstützt die Bewegung der Zahnstange oder der Lenkmutter. Nach dem Druckabbau gelangt das Hydrauliköl zurück in den Vorratsbehälter.

Ist bei vollem Lenkeinschlag der Arbeitskolben in eine Richtung voll ausgefahren, wird der Druck – um Schäden zu vermeiden – über ein Überdruckventil abgebaut. Dies erkennt man an einem zischenden Geräusch.

Drehschieberventil. In der Praxis wird im Steuerventil kein Steuerschieber (Bild 24.12, S. 431) verschoben, sondern das Steuerventil ist ein Drehschieber (Bild 24.13). Wirkt auf die Lenkspindel ein Drehmoment, so wird der Drehstab elastisch verdreht. Dadurch wird der Rotor gegenüber der Steuerbühse verdreht und gibt die Steuerkanäle zum Arbeitszylinder frei bzw. verschließt diese.

Durch einen Anschlag wird die sichere Kraftübertragung gewährleistet, auch wenn das Hydrauliksystem ausfällt. Der Drehstab verdreht sich so weit, dass Rotor und Steuerbühse mechanisch verbunden werden.

Um eine an die Geschwindigkeit angepasste Lenkkräfteunterstützung zu ermöglichen, muss der von der Pumpe gelieferte Öldruck verändert werden können. Dies geschieht mithilfe eines Steuergeräts und eines elektrisch betätigten Ventils. Dieses regelt den von der Pumpe geförderten Ölstrom und lässt ihn zum Vorratsbehälter zurück- oder zum Arbeitszylinder hinfließen.

24.4.2 Elektrohydraulische Hilfskraftlenkung

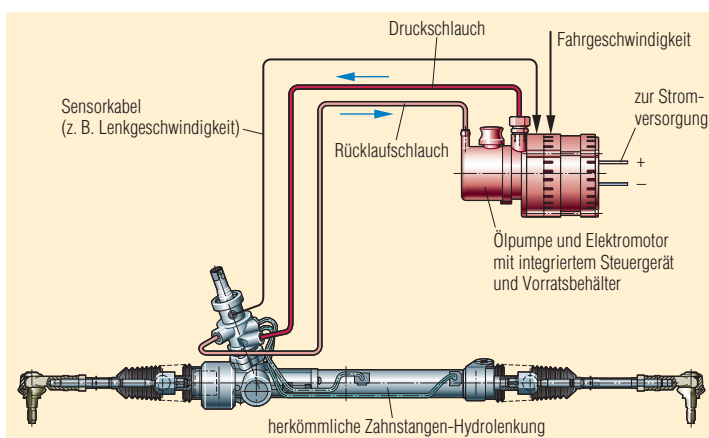


Bild 24.14 Elektrohydraulische Hilfskraftlenkung.

Die Ölpumpe zum Aufbau des Drucks im Leitungssystem wird nicht vom Fahrzeugmotor sondern elektrisch angetrieben (Bild 24.14). Dadurch ist es möglich, die Pumpe näher an das hydraulisch unterstützte Lenkgetriebe zu platzieren und Leitungen zu sparen. Weitere Vorteile sind:

- die Ölfördermenge kann elektronisch über ein Steuergerät geregelt werden, indem die Fördermenge reduziert wird (Lenkkräfteunterstützung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit),
- die Lenkkräfteunterstützung ist auch bei Motorstillstand gewährleistet,
- wegen der nicht ständig mitlaufenden Pumpe kann der Energieverbrauch gesenkt werden,
- die Lenkcharakteristik kann über die Steuer elektronik je nach Fahrzeug eingestellt werden.

24.4.3 Elektrische Hilfskraftlenkung

Um noch mehr Platz und Gewicht zu sparen, kann die Lenkunterstützung direkt durch einen Elektromotor erzeugt werden. Durch den Wegfall des gesamten Hydrauliksystems lässt sich der Energieverbrauch weiter reduzieren. Allerdings ist die Leistungsfähigkeit der 12-V-Motoren begrenzt, sodass sich dieses System nur für leichtere Fahrzeuge eignet. Erst durch Einführung der **42-V-Bordnetzspannung** wird dieses Problem gelöst.

Der Elektromotor (Bild 24.15) unterstützt über ein Schneckengetriebe elektronisch gesteuert das vom Fahrer aufgebrachte Drehmoment direkt an der Lenksäule, dem Antriebsritzel oder der Zahnstange (Bild 24.16). Der Lenkmoment-Sensor erkennt an der Verdrehung des Torsionsstabs, wie stark die erforderliche Lenkunterstützung sein muss. Das Steuergerät steuert daraufhin den Elektromotor an.

Der Geber für die Lenkposition ist erforderlich, damit das Lenkrad leichter in Geradeausstellung zurückgestellt werden kann. Erkennt das Steuergerät einen Lenkeinschlag und gleichzeitig, dass kein Lenkmoment mehr aufgebracht wird, unterstützt der Elektromotor diese Rückstellung.

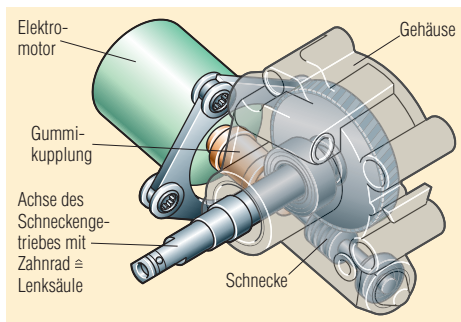


Bild 24.15 Elektromotor mit Schneckengetriebe.

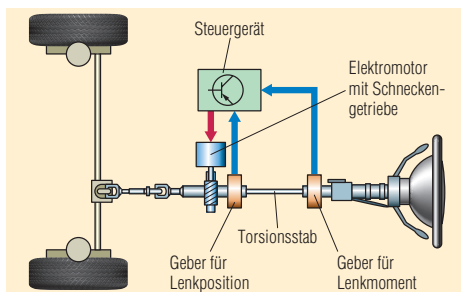


Bild 24.16 Elektrische Hilfskraftlenkung.

24.4.4 Aktivlenkung

Eine weitere Komfort- und Sicherheitssteigerung beim Lenken lässt sich erreichen, indem nicht nur die Lenkkraftunterstützung sondern auch die Lenkübersetzung der Fahrsituation angepasst werden.

Grundprinzip. Eine direkte und damit schnell reagierende Lenkung erfordert eine kleine Lenkübersetzung. Dies ist beim Rangieren vorteilhaft, da nur kleine Lenkradwinkel zum Ein- und Ausparken benötigt werden. Allerdings sind bei einer kleinen Übersetzung die Lenkkräfte sehr groß, der Einsatz einer Lenkunterstützung ist erforderlich. Bei schneller Fahrt kann zwar die Hilfskraft entfallen, aber die Lenkung müsste indirekter sein, um beispielsweise ein „Verreißen“ des Fahrzeugs bei schneller Fahrt zu vermeiden. Optimal wäre daher eine Lenkung mit kleiner Übersetzung bei langsamer und großer Übersetzung bei schneller Fahrt und zusätzlich einer variablen Lenkkraftunterstützung.

Funktion. Die Veränderung der Lenkkraftunterstützung erfolgt hydraulisch oder elektrisch; die Veränderung der Lenkübersetzung erfolgt mechanisch mittels einer Differenzwinkeleinheit (Bild 24.17), die zwischen Lenkrad und Zahnstangenritzel eingefügt wird.

In der Differenzwinkeleinheit ergibt ein gestufter Planet bei stehendem Planetenträger die Übersetzung zwischen Lenkrad und Lenkritzel $i = 0,76$. Wird während des Lenkens der Planetenträger mithilfe eines Elektromotors über einen Schneckentrieb gedreht, ändert sich diese Grundübersetzung. Wird der Planetenträger gegensinnig mit dem Lenkrad gedreht, wird die Übersetzung verringert (direkte Lenkung für niedrige Geschwindigkeit), bei gleichsinnigem Drehen ergibt sich eine größere Übersetzung (indirekte Lenkung für hohe Geschwindigkeit).

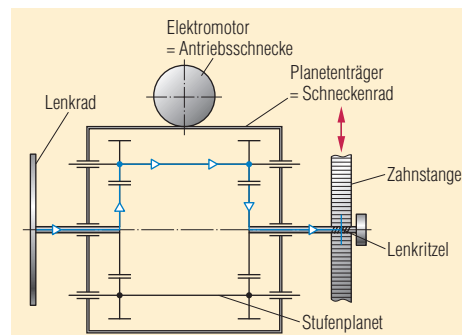


Bild 24.17 Differenzwinkeleinheit.

42-V-Bordnetzspannung → S. 518

Gierratenregelung. Die Aktivlenkung ermöglicht darüber hinaus einen aktiven Eingriff in die Lenkung. So ist beispielsweise ein Gegenlenken möglich, wenn das Fahrzeug aufgrund unterschiedlichen Fahrbahnelags beim Bremsen (μ -Split-Bremung) auszubrechen droht. Dies geschieht im Zusammenspiel mit der Fahrdynamikregelung, die den Bremsdruck am Rad mit dem weniger griffigen Untergrund absenkt. Das Aktivlenkungssystem wird darüber über den CAN-Datenbus informiert; es erfolgt ein Gegenlenken in die Richtung des Rades mit dem geringeren Bremsdruck (Gierratenregelung). Reicht der Lenkeingriff nicht zur Stabilisierung des Fahrzeugs, erfolgt zusätzlich ein Bremseneingriff durch die Fahrdynamikregelung.

Notlauf. Zwei Drehwinkelsensoren am Elektromotor und am Zahnstangenritzel überprüfen laufend die Funktion der Differenzwinkleinheit. Kommt es zu unplausiblen Signalen, arbeitet die Lenkung rein mechanisch. Dies ermöglicht eine mechanische Blockierung, welche stromlos geschaltet wird und damit den Schneckentrieb der Differenzwinkleinheit arretiert.

Airbag → S. 563

elektrisch verstellbare Lenksäule
→ S. 544

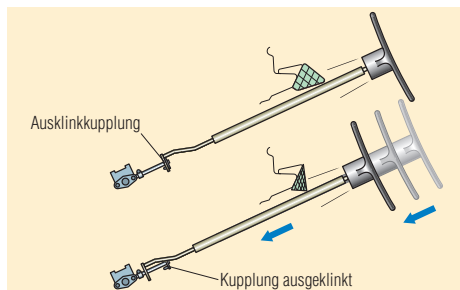


Bild 24.18 Sicherheitslenksäule.

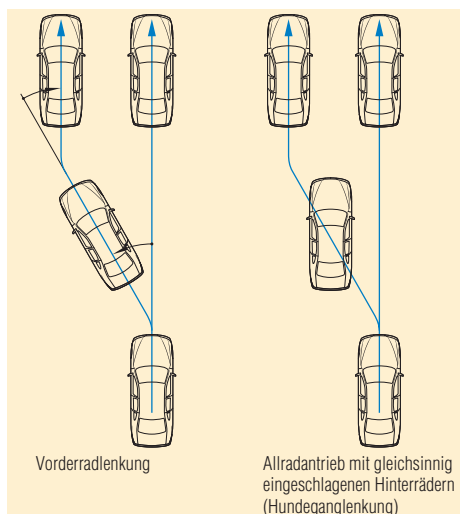


Bild 24.19 Allradlenkung.

24.5 Lenksäule

Die Lenksäule besteht aus einem mit der Karosserie verschraubten Mantelrohr und einem Lenkrohr. Das Lenkrohr leitet das am Lenkrad erzeugte Lenkmoment zum Lenkgetriebe. Außerdem verbindet die Lenksäule das Lenkrad und den Lenkstockschalter mit dem Aufbau.

Sicherheitslenksäule. Bei einem Frontalaufprall muss die Lenksäule in Längsrichtung nachgiebig sein um Verletzungen im Kopf- und Brustbereich des Fahrers zu verhindern. Dies wird durch folgende Lenksäulen-Konstruktionen erreicht:

- der untere Teil des Lenkrohrs ist als nachgiebiges Wellenrohr gestaltet,
- das Lenkrohr lässt sich wie ein Teleskop zusammenschieben,
- das Lenkrohr ist am unteren Ende zweiteilig und kann sich ausklinken (Bild 24.18),
- im Lenkrohr befinden sich zwei Kreuzgelenke in Z-Form, die parallel versetzt sind.

Unter normalen Fahrbedingungen darf aber das Lenkrohr auch bei höchsten Belastungen nicht nachgeben. Außerdem darf die Funktion des **Airbags** nicht beeinträchtigt werden.

Verstellbare Lenksäulen bieten dem Fahrer hohen Komfort und eine gute ergonomische Anpassung. Die Lage des Lenkrades lässt sich in Hochrichtung, Längsrichtung und im Neigungswinkel verstellen. Zum Teil geschieht dies mithilfe eines Elektromotors.

24.6 Allradlenksysteme

Bei der Allradlenkung sind alle vier Räder des Fahrzeugs lenkbar. Sie wird vor allem bei Spezialfahrzeugen eingesetzt, z.B. bei Kranfahrzeugen oder bei Bussen und Nutzkraftwagen. Um eine oder mehrere Hinterachsen zu lenken, werden mechanische, elektrische oder elektrohydraulische Systeme verwendet. Vorteile sind:

- leichter zu manövrieren bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten,
- erhöhte Fahrsicherheit bei höheren Fahrgeschwindigkeiten.

Dazu können die Räder gleichsinnig (höhere Fahrgeschwindigkeit) oder gegensinnig (niedrige Fahrgeschwindigkeit) zu den Vorderrädern gelenkt werden (Bild 24.19).

Arbeitsaufträge

1. Warum soll die Lenkung dem Fahrer möglichst viele Rückschlüsse über Fahrbahn- und Fahrzustand liefern?
2. Informieren Sie sich im Internet über den Begriff „drive by wire“.
3. a) Wie lautet die Ackermann'sche Lenkbedingung?
b) Welcher Zusammenhang besteht zwischen Lenktrapez und Spurdifferenzwinkel?
4. a) Zeichnen und vergleichen Sie die Radaufstandsflächen einer Drehschemel- und einer Achsschenkellenkung bei Geradeausstellung und im eingeschlagenen Zustand.
b) Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie aus dem Vergleich der Standicherheit von Fahrzeugen?
5. a) Begründen Sie die Notwendigkeit einer mehrteiligen Spurstange bei Einzelradaufhängungen.
b) Welchen Einfluss auf die Spurwerte haben die Spurstangen beim Ein- und Ausfedern?
6. Warum benötigt die hydraulische Hilfskraftlenkung einen Anschlag? – Was würde ohne den Anschlag bei Ausfall der Hydraulikunterstützung passieren?
7. Wie würden Sie die ideale Unterstützung des Fahrers durch eine Hilfskraftlenkung charakterisieren?
8. Unterscheiden Sie verschiedene Lenksysteme bei mehrachsigen Fahrzeugen.
9. Erläutern Sie die Lenkproblematik mehrachsiger Fahrzeuge bzgl. des Spurdifferenzwinkels.

25 Mechanische Bremssysteme

25.1 Einsatzbereiche

Ein langer **Betätigungsweg** am Handbremshebel bedingt nur einen **kurzen Arbeitsweg** in der Bremse.

Rein mechanische Bremssysteme werden eingesetzt bei:

- Kraftwagen (Feststellbremse),
- Anhängerfahrzeugen (Betriebs- und Feststellbremse),
- Krafträdern mit geringem Hubraum (Betriebsbremse).

Kennzeichnend für mechanische Bremssysteme ist ein geringer Wirkungsgrad bei der Kraftübertragung. Ein großer Teil der zugeführten Energie geht an Umlenkungen, Seilführungen und Aufhängungen in Form von Reibung verloren.

Damit große Kräfte in der Bremse erzeugt werden können, müssen meist lange Wege an der Betätigungseinrichtung zurückgelegt werden. Die Verstärkung in der Bremse wird mithilfe von Hebelübersetzungen erreicht.

Die mechanischen Übertragungsmittel (Seile und Gestänge) verlaufen meist ungeschützt entlang der Karosserie. Sie sind Nässe, Schmutz und gegebenenfalls auch Frost verstärkt ausgesetzt und müssen daher regelmäßig geschmiert und gewartet werden.

25.2 Feststellbremse im Pkw und Nutzkraftwagen

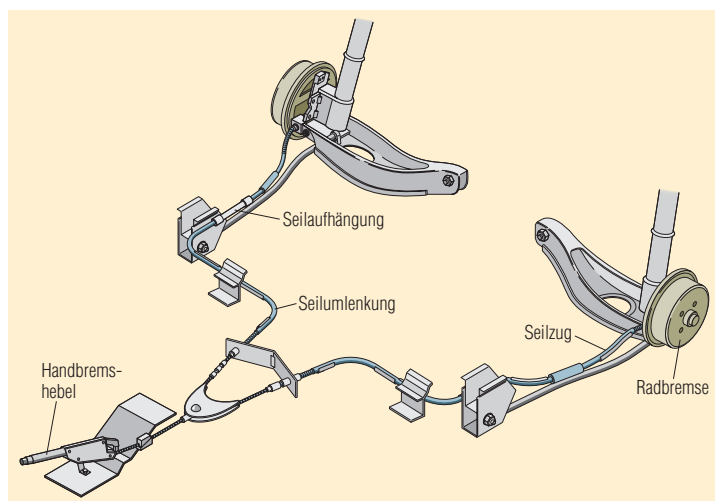
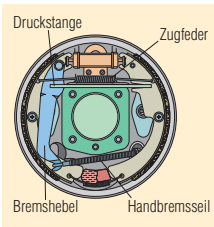
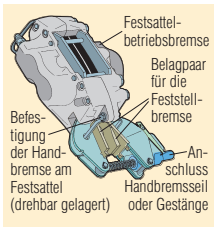
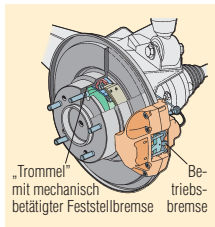
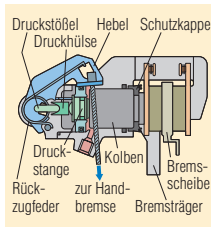


Bild 25.1 Prinzipieller Aufbau einer Feststellbremse (Pkw).

Das stehende Fahrzeug muss mit der Feststellbremse gegen Wegrollen gesichert sein (Bild 25.1). Die Feststellbremse wirkt gleichmäßig auf die Räder der Hinterachse. Die Kraftübertragung erfolgt vom Hand- bzw. Fußbremshebel mechanisch auf die Spannvorrichtung in der Bremse.

Je nach Bremsenausführung arbeitet die Feststellbremse in Verbindung mit einer Trommel- oder Scheibenbremse.

Bei Fahrzeugen mit Scheibenbremsen an der Hinterachse ist der Einbau der Feststellbremse mit einem wesentlich höheren konstruktiven Aufwand verbunden.

Kombination der Feststellbremse mit einer ...				
	Trommelbremse	Scheibenbremse	Scheibenbremse	Scheibenbremse
Art der Ausführung	Kombination der Betriebs- und Feststellbremse innerhalb der Bremsstrommel.	Einbau einer zusätzlichen Feststellbremse an der Bremsscheibe.	Einbau einer Brems-scheibe mit ausgebildeter Trommel.	Einbau einer Feststellbremse, die in das Hydrauliksystem integriert ist.
Funktionsbeschreibung	Unterhalb des hydraulischen Radbremszylinders wird eine zusätzliche mechanische Spannvorrichtung auf der Bremsträgerplatte montiert.	Auf die Bremsscheibe wirkt ein zusätzliches Belagpaar. Es wird durch mechanische Betätigung der separaten Bremszange bewegt.	Im Bereich der Rad-aufnahme bildet die Bremsscheibe eine Art Trommel aus. Darin befindet sich eine einfach aufgebaute und mechanisch betätigte Feststellbremse.	Der hydraulisch betätigte Kolben der Betriebsbremse wird zusätzlich auf seiner Rückseite mechanisch betätigt.
Abbildung				
Tabelle 25.1	Ausführungen der Feststellbremse in Kombination mit Trommel- und Scheibenbremsen.			

25.3 Betriebs- und Feststellbremse am Anhänger

Auflaufbremsen sind nur bei Anhängern zulässig mit einem zulässigen Gesamtgewicht von nicht mehr als

- 8,00 t und einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h,
- 8,00 t und einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40 km/h, wenn die Bremse auf alle Räder wirkt,
- 3,50 t, wenn die Bremse auf alle Räder wirkt.
- Bei Sattelanhängern sind Auflaufbremsen nicht zulässig.

Die Auflaufbremse funktioniert nach einem einfachen mechanischen Prinzip (Bild 25.2). Wird das Zugfahrzeug abgebremst, hat der Anhänger das Bestreben auf den Zugwagen aufzulaufen. Diese Auflaufkraft wird über ein Gestänge- und Hebelsystem auf die Anhängerbremse übertragen und der Anhänger wird abgebremst. Die

erzeugte Bremskraft ist direkt abhängig von der Auflaufkraft. Damit bei geringer Geschwindigkeitsänderung des Zugwagens (z. B. Gangwechsel) die Auflaufkraft größer sein als die Vorspannkraft der eingebauten Druckfeder. Bei Rückwärtsfahrten mit dem Anhänger muss die Auflaufbremse außer Betrieb sein.

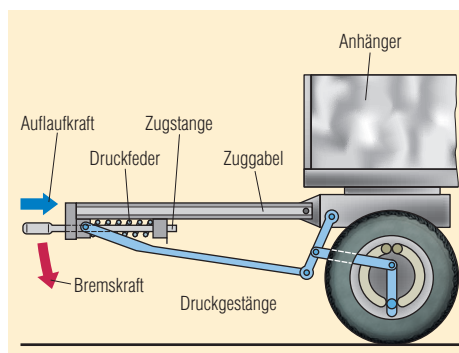


Bild 25.2 Auflaufbremse.

Die Auflaufbremse kann gleichzeitig als Feststellbremse benutzt werden. Es sind zwei verschiedene Ausführungen möglich:

Fallbremse. Bei Abstellen oder Abreißen des Anhängers fällt die Zuggabel durch ihr Eigengewicht nach unten. Sie betätigt dabei das Bremsgestänge.

Seilbremse. Am Bremsgestänge des Anhängers ist ein Stahlseil befestigt. Sein Ende wird mit der Anhängervorrichtung des Zugfahrzeuges verbunden. Sollte der Anhänger abreißen, löst das Verbindungsseil die Bremse des Anhängers aus, bevor es selber abreißt. Beim Abstellen des Hängers wird die Bremse durch Ziehen eines Hebels oder durch Drehen an einer Handkurbel betätigt.

25.4 Betriebsbremse am Kraftrad

Mofas, Mopeds und kleinere Motorroller besitzen meist noch mechanisch betätigte Trommelbremsen. Dabei wirkt die Fußbremse meist auf die Hinterradbremse, die Handbremse auf die Vorderradbremse. Die Trommelbremsen sind in der Regel als **Simplexbremsen** ausgeführt.

Simplexbremse
→ S. 452

Arbeitsaufträge

1. Erklären Sie mithilfe des Hebelgesetzes die Aussage: „Langer Betätigungsweg am Handbremshebel bedingt einen kurzen Arbeitsweg in der Bremse“.
2. Begründen Sie, warum die mechanisch ausgeführte Bremse am Kraftrad zunehmend an Bedeutung verliert.

26 Hydraulische Bremssysteme

26.1 Anforderungen

Bei der Entwicklung einer leistungsstarken und unter allen Bedingungen zuverlässigen Bremsanlage stehen drei Ziele im Vordergrund:

1. Optimierung der Funktion und Zuverlässigkeit der technischen Komponenten,
2. Entwicklung von Systemen, die Schwächen des Fahrers (z. B. schnelles, aber zu zaghaftes Betätigen der Bremse bei Vollbremsung → Bremsassistent) und negative äußere Einflüsse (z. B. nasse und schmierige Fahrbahn → ABS) ausgleichen,

3. ein angemessener Preisrahmen für die Entwicklungs- und Produktionskosten der Bremsanlage in einem Fahrzeug.

Die technischen Einflüsse sind weitestgehend unveränderlich, die menschlichen und äußeren Einflüsse stark situationsabhängig.

In den Kraftfluss einer hydraulischen Bremsanlage werden oftmals mechanische und pneumatische Kraftübertragungssysteme integriert (Bild 26.1).

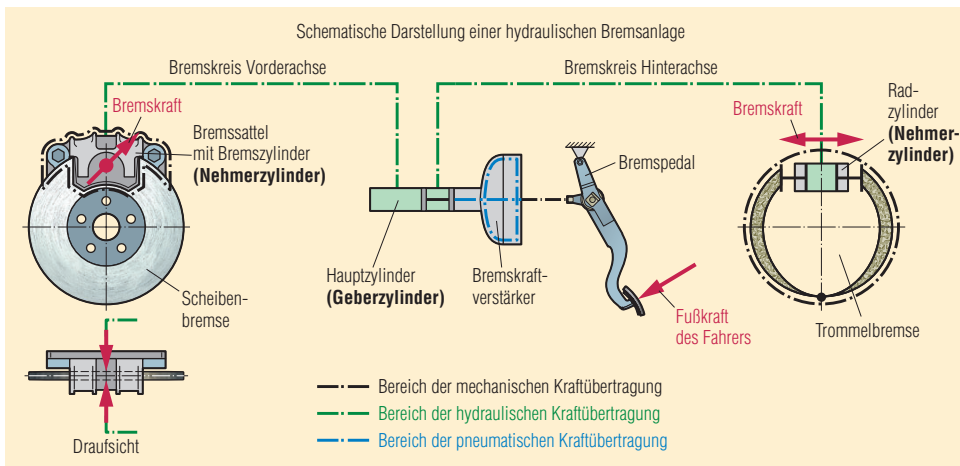
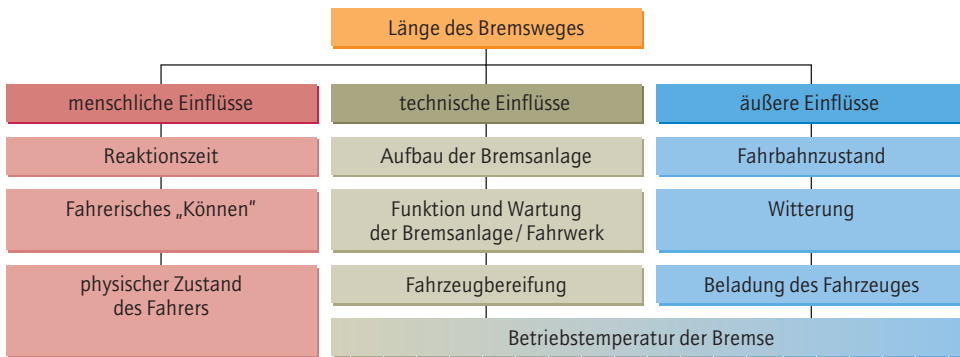


Bild 26.1 Schematische Darstellung einer hydraulischen Bremsanlage.

26.1.1 Allgemeine physikalische Grundlagen

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

E_K = kinetische Energie, m = Fahrzeugmasse in kg, v = Geschwindigkeit in m/s

$$F_B \cdot s = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

F_B = Gesamtbremskraft in N, s = Bremsweg in m

Kinetische Energie. Ein Fahrzeug, das sich mit der Geschwindigkeit v bewegt, besitzt die Bewegungsenergie (kinetische Energie) E_K .

Während des Bremsvorganges bis zum Stillstand des Fahrzeuges muss die Bewegungsenergie vollständig in Wärmeenergie umgewandelt werden (Bild 26.2). Für die Umwandlung benötigt das Fahrzeug den Bremsweg s .

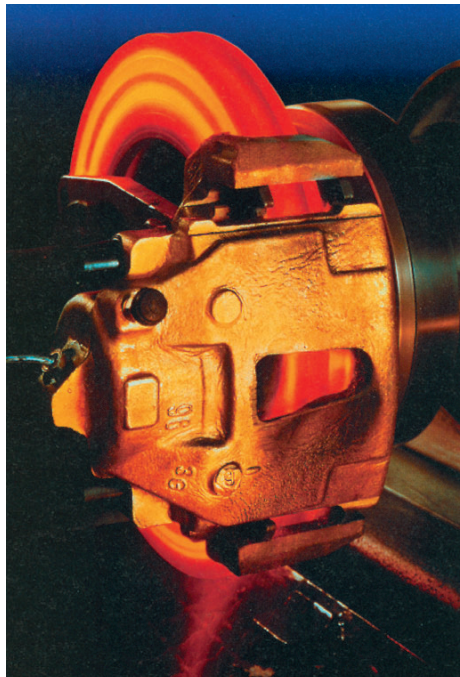


Bild 26.2 Wärmeentwicklung einer Bremsscheibe während des Bremsvorganges.

Zur Abbremsung des Fahrzeugs wird die Haftreibung zwischen Reifen und Fahrbahn ausgenutzt. Die Bremskraft an allen vier Rädern ergibt die Gesamtbremskraft F_B des Fahrzeugs. Die Bremskraft am Reifenumfang wird durch die Bremskraft in der Radbremse erzeugt. Beide Kräfte erzeugen ein Drehmoment am Rad, die Beträge der Drehmomente stehen im Gleichgewicht (Bild 26.3).

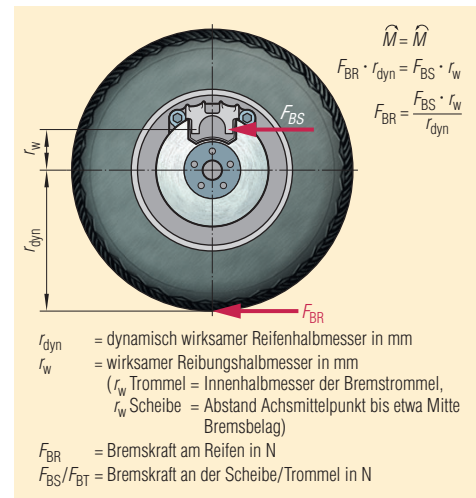


Bild 26.3 Darstellung der Kräfte und Momente am Rad beim Bremsvorgang.

Wird das Moment aus $(F_{BT} \text{ oder } F_{BS}) \cdot r_w$ größer als das Moment aus $F_{BR} \cdot r_{dyn}$, blockiert das Rad. Dabei können keine Seitenkräfte erzeugt werden, sodass das Fahrzeug nicht in der Spur bleibt und für den Fahrer schwer zu beherrschen ist. In den meisten Fällen wird sich der Bremsweg verlängern.

Bei hydraulischen Bremsanlagen wird die Bremskraft an der Trommel oder Scheibe meist durch das Zusammenwirken von vier Teilsystemen erzeugt (Tabelle 26.1).

Hydraulische Kraftübertragung. Sie beruht auf dem Pascal'schen Gesetz.

Während des Bremsvorganges wird die Fußkraft auf den Kolben des Hauptzylinders (Geberzylinder) übertragen. Seine Kolbenfläche erzeugt einen Flüssigkeitsdruck im geschlossenen Leitungssystem, der sich gleichmäßig ausbreitet. Dieser Druck wirkt dann auf alle Kolben der Radzylinder (Nehmerzylinder) in der Trommel- oder Scheibenbremse, die die jeweilige Spannkraft an

hydraulische Steuerung → S. 154

Gesetz von Pascal: Der Druck im Innern einer ruhenden Flüssigkeit ist an allen Stellen gleich (hydrostatischer Druck).

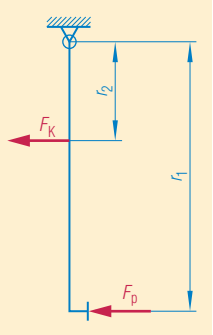
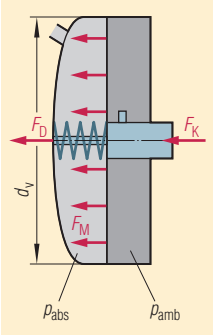
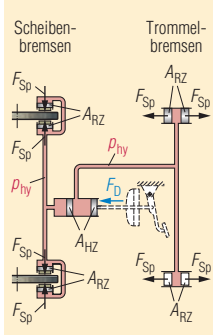
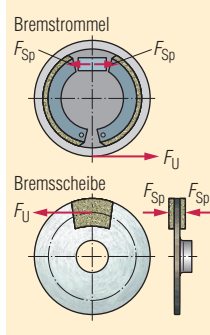
	Teilsystem 1	Teilsystem 2	Teilsystem 3	Teilsystem 4
	Hebelsystem am Bremspedal	Unterdruck-Bremskraftverstärker	Hauptzylinder / Radzylinder	Reibungskraft an der Trommel oder Scheibe
Art der Kraftübertragung in den Teilsystemen	mechanisch	pneumatisch	hydraulisch	mechanisch
Aufgabe des jeweiligen Teilsystems	Kraftverstärkung	Kraftverstärkung	Kraftübertragung und -verstärkung	Umwandlung der Bewegungsenergie in Wärmeenergie
bildliche Darstellung der Kraftübertragung in den jeweiligen Teilsystemen				

Tabelle 26.1

Darstellung des Kraftverlaufs in den Teilsystemen eines hydraulischen Bremssystems.

der Bremse erzeugen. Die zur Druckübertragung eingesetzte Bremsflüssigkeit ist praktisch inkompressibel, obwohl von ihr kurzzeitig Drücke von annähernd 200 bar aufgenommen werden müssen.

Aus den Beschreibungen lassen sich die Vorteile hydraulischer Bremsen ableiten:

- hohe Leitungsdrücke können einfach übertragen werden,
- geringe Abmessungen der hydraulischen Bauelemente,
- nur kleine Leerwege müssen überbrückt werden, weil sich die Bremsflüssigkeit nicht komprimieren lässt (man spricht von kleinen „Lüftspielen“),
- rascher Druckanstieg führt zu schnellem Ansprechen der Bremse,
- die Bremsanlage ist über einen langen Zeitraum wartungsfrei.

26.1.2 Bremsflüssigkeit

An die Bremsflüssigkeit werden hohe Anforderungen gestellt. Sie müssen folgende Eigenschaften erfüllen:

- inkompressibel,
- hoher Siedepunkt (205 °C bis ca. 280 °C je nach Ausführung),
- tiefer Gefrierpunkt (bis ca. – 65 °C),
- über den gesamten Temperaturbereich (– 40 °C bis + 100 °C) nur gering verändernde Fließeigenschaften (Viskosität),
- chemisch neutrales Verhalten gegenüber Metall,
- kontrollierte Quellung der Gummidichtungen bis 16 % (Elastomerquellung) und somit Abdichtung,
- Korrosionsschutz,
- Schmierung der beweglichen Teile.

Damit diese Anforderungen unter allen Betriebsbedingungen erfüllt werden, muss die Flüssigkeit in Abständen von 12 bis 36 Monaten gewechselt werden. Die Intervalllänge ist vom Fahrzeugtyp und von der eingesetzten Bremsflüssigkeit abhängig. Die Farbe der Bremsflüssigkeit von Serienfahrzeugen erscheint bernsteinengelb. Sie

inkompressibel
(lat.): nicht zusammenpressbar

hygroskopisch:
Flüssigkeit zieht
Wasser an und
bindet es.

DOT: Department
of Transportation,
amerikanisches
Verkehrsministerium.



Weitere z. Z.
erhältliche DOT-
Qualitäten von
Bremsflüssigkeiten
auf Glykolbasis
sind u. a.:
DOT 5.1 sowie die
**ATE-Typen Super
DOT 4, Typ 200**

kennzeichnet den Hauptbestandteil ihrer chemischen Verbindung, eine Glykolbasis. Solche Verbindungen haben den Nachteil, dass sie stark hygroskopisch sind.

Das Wasser gelangt über die Bremsschläuche, die Manschetten und den Ausgleichsbehälter in die Flüssigkeit. Pro Jahr gelangen auf diesem Wege bis zu 2 % Wasser in die Flüssigkeit. Hierdurch sinkt der Siedepunkt der Bremsflüssigkeit erheblich. Bei einem Volumenanteil von 3 % ist der kritische Nass-Siedepunkt erreicht. Jetzt führt die beim Bremsen entstehende Wärme zur Dampfblasenbildung im Leitungssystem. Der Bremsdruck wird nicht vollständig weitergeleitet, da beim Druckaufbau die Dampfblasen komprimiert werden. Die Folgen sind eine Verschlechterung

der Bremswirkung bis hin zum Ausfall der Bremsanlage. Für den angegebenen Trockensiedepunkt wird eine Dampfblasenbildung durch die beim Bremsen erzeugte Wärme ausgeschlossen. Die unterschiedliche Qualität der handelsüblichen Bremsflüssigkeiten wird durch die DOT-Klassen angegeben. In ihnen werden die wesentlichen Anforderungen festgeschrieben. Weiterhin sind auf den Bremsflüssigkeitsdosen die spezifischen Eigenschaften angegeben (Tabelle 26.2).

Bei der Qualität DOT 5 handelt es sich um eine Flüssigkeit auf Siliconbasis, daher die blaue Kennzeichnung. Sie ist nur von Harley-Davidson und der US-Armee freigegeben. Sie darf nicht mit Flüssigkeiten auf Glykol-Basis gemischt werden.

Eigenschaften/ Anforderungen	DOT 3	DOT 4	DOT 5
Trockensiedepunkt in °C von mindestens	205	230	260
Nass-Siedepunkt in °C von mindestens	140	155	180
Kälteviskosität in mm/s bei – 40 °C von max.	1500	1800	900
Kennfarbe	bernstein- gelb	bernstein- gelb	blau

Tabelle 26.2 Gegenüberstellung der Eigenschaften bekannter DOT-Klassen (Auszug).

Werkstattpraxis



- Regelmäßige Überprüfung des Nass-Siedepunktes mit einem Bremsflüssigkeitstestgerät.
- Bremsflüssigkeit ist giftig und darf nur in den Originalgebinden gelagert werden.
- Bremsflüssigkeit greift Autolacke an. Bei der Wartung müssen Ausgleichsbehälter daher vorsichtig aufgefüllt werden.
- Bremsflüssigkeitsbehälter müssen stets gut verschlossen sein, damit kein Wasser hineingelangen kann.
- Gleiche Bremsflüssigkeitsqualitäten sind untereinander mischbar.
- Alte Bremsflüssigkeit ist Sondermüll und muss speziell entsorgt werden.
- Bremsflüssigkeit darf niemals dem Altöl, dem Grundwasser oder der Kanalisation zugeführt werden.
- Bei Arbeiten mit Bremsflüssigkeit sollten spezielle Hautschutzmittel aufgetragen werden.



26.1.3 Bremskreisaufteilung

Im Fahrzeugbereich sind Zweikreis-Bremsanlagen vorgeschrieben. Sie sorgen für die notwendige Sicherheit gegen Ausfälle im Hydrauliksystem, da beide Kreise vollständig voneinander getrennt arbeiten. Jeder Kreis muss für sich eine ausreichende Hilfsbremswirkung aufweisen. Dabei können die beiden Bremskreise sehr unterschiedlich auf die einzelnen Radbremsen aufgeteilt sein. Mögliche Bremskreisaufteilungen schreibt die DIN 74 000 vor (Tabelle 26.3).

Bremskreisaufteilung der Zweikreisbremsanlage nach DIN 74 000

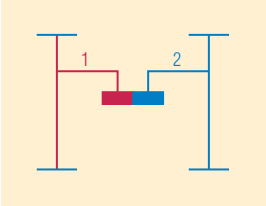
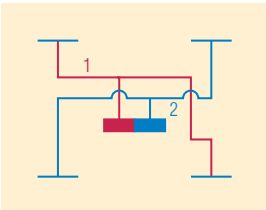
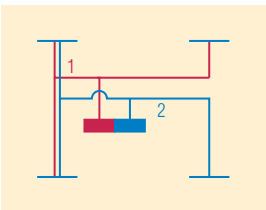
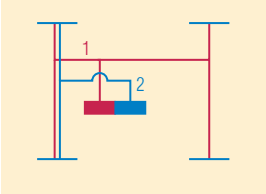
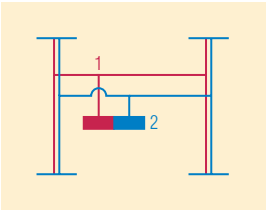
Kurz- zeichen	bildliche Darstellung unter Angabe der Fahrtrichtung	Beschreibung der Aufteilung	Vor- bzw. Nachteile der Aufteilung
II		„Schwarz-weiß-Aufteilung“ 1. Kreis: Vorderachse (VA) 2. Kreis: Hinterachse (HA) Bremskraftverteilung: VA ca. 70 % HA ca. 30 %	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Ausfall eines Kreises besteht noch gute Bremswirkung. • Bei Verwendung eines gestuften Tandem-Hauptzylinders sind bei Ausfall des Vorderachsenbremskreises kaum erhöhte Pedalkräfte zum Abbremsen der Hinterachse notwendig. • preiswerte und einfache Lösung.
X		„Diagonal-Aufteilung“ 1. und 2. Kreis: Jeweils ein Vorderrad mit dem diagonal gegenüberliegenden Hinterrad Bremskraftverteilung: VA und HA je ca. 50 %	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Ausfall eines Kreises bremsen immer ein Vorderrad und das gegenüberliegende Hinterrad. • Blockieren die Räder des intakten Kreises, kann dies zu einem Drehmoment um die Hochachse des Fahrzeugs führen (Giermoment). • Die Anordnung benötigt einen negativen Lenkrollradius an den Vorderrädern.
LL		„Dreieck-Aufteilung“ 1. und 2. Kreis: Zwei gegenüberliegende Radzylinder der VA sind mit einem Radzylinder der HA verbunden. Bremskraftverteilung: VA und HA je ca. 50 %	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Ausfall eines Kreises werden immer beide Vorderräder mit halber Bremskraft und ein Hinterrad gebremst. • Ähnlich der X-Aufteilung führt auch hier der Ausfall eines Kreises zu unterschiedlichen Bremskräften an den Fahrzeugseiten. • Die Vorderachse muss mit einer Vierkolben-festsattel- oder Zweikolbenschwimmsattelbremse ausgestattet sein. • teure Lösung.
HI		„Vier-Zwei-Aufteilung“ 1. Kreis: Zwei gegenüberliegende Radzylinder der VA und beide Radzylinder der HA 2. Kreis: Zwei gegenüberliegende Radzylinder der VA	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfall des 2. Bremskreises: Nur halbe Vorderachs- und Hinterachsbremskraft, Hinterräder neigen zum Überbremsen, Fahrstabilität geht verloren. • Ausfall des 1. Bremskreises: Nur halbe Vorderachsbremskraft, die Hinterräder übernehmen die Seitenführung. • Vorderachse muss mit Vierzylinderfestsattel- oder Zweizylinderschwimmrahmen-Scheibenbremsen ausgestattet sein. • teure und seltene Lösung.
HH		„Vier-Vier-Aufteilung“ 1. und 2. Kreis: Je zwei gegenüberliegende Radzylinder der Vorderachse und zwei gegenüberliegende Radzylinder der Hinterachse	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Ausfall eines Bremskreises werden beide Achsen mit der Hälfte der Bremskraft abgebremst. • Alle Räder müssen mit einer Vierzylinderfestsattel- oder Zweizylinderschwimmrahmen-Scheibenbremse ausgestattet sein. • teure und seltene Lösung.

Tabelle 26.3

Bremskreisaufteilungen der Zweikreisbremsanlage.

Arbeitsaufträge

1. Beschreiben Sie den prinzipiellen Aufbau einer hydraulischen Bremsanlage.
2. Vergleichen Sie die Zunahme der kinetischen Energie eines Kraftfahrzeuges bei
 - a) Verdoppelung der Geschwindigkeit und
 - b) Verdoppelung der Fahrzeugmasse.
3. Das Hebelsystem am Bremspedal verstärkt die Fußkraft des Fahrers. Technisch ließen sich die Hebellängen hierbei so verändern, dass der Kraftzuwachs noch wesentlich größer werden würde. Was spricht dagegen?
4. Die eingefüllte Bremsflüssigkeit hat einen Nass-Siedepunkt von 155 °C. Was bedeutet diese Angabe?
5. Erklären Sie einem Kunden die Notwendigkeit eines Bremsflüssigkeitswechsels.
6. Welchen Vorteil hat der negative Lenkrollradius an der Vorderachse bei einer X-Bremskreisaufteilung?
7. Warum wird bei einer „Schwarz-weiß-Bremskraftaufteilung“ meist ein gestufter Tandem-Hauptzylinder eingebaut?

26.2 Funktionsgruppen der hydraulischen Bremsanlage

26.2.1 Hauptzylinder

Gesetzlich vorgeschrieben sind zwei voneinander unabhängige Bremskreise. Daher benötigt die Zweikreis-Bremsanlage einen Tandem-Hauptzylinder. In seinem Gehäuse befinden sich zwei hintereinander angeordnete Druckräume. Auf die Kolben beider Räume wirkt die Kolbenstangenkraft. Der Hauptzylinder hat folgende Aufgaben:

- wandelt die Fußkraft in hydraulischen Druck um,
- ermöglicht einen dosierbaren Druckaufbau in beiden Kreisen,
- sorgt nach Beendigung des Bremsvorganges für ein schnelles Lösen der Bremse,
- ermöglicht einen Volumenausgleich der Bremsflüssigkeit bei Temperaturveränderung,
- sorgt für den Zufluss fehlender Bremsflüssigkeit bei Bremsbelagverschleiß,

- hält in Lösestellung einen hydraulischen Vor-
druck von 0,1 bis 1 bar im Leitungssystem (bei
Trommelbremsen),
- sorgt für vollständigen Druckabbau im Lei-
tungssystem (bei Scheibenbremsen).

Tandem-Hauptzylinder mit Zentralventil (Bild 26.4). Der eingeleitete Bremsvorgang verschiebt den Druckstangenkolben nach links. Zwei Manschetten (Primär- und Sekundärmanschette) dichten den Kolben zur Zylinderwand hin ab. Eine Füllscheibe verhindert dabei das Eindringen der Primärmanschette in die Füllbohrung und somit eine Beschädigung. Hat die Primärmanschette die Ausgleichsbohrung überfahren, ist der Druckraum des Kolbens abgedichtet. Zunächst baut sich ein geringer Druck auf, der den Zwischenkolben ebenfalls nach links verschiebt. Der Zwi-

werden. Diese Aufgabe übernimmt ein Spezialbodenventil, welches einen restlosen Druckabbau ermöglicht. Alternativ zu den Bodenventilen können Vordruckventile verbaut werden, die bei kombinierten Bremsanlagen (Scheibe/Trommel) außerhalb des Hauptzylinders in die Bremsleitung eingebaut werden.

Gestufter Tandem-Hauptzylinder (Bild 26.5). Dieser Zylinder wurde speziell für eine II-Bremskreisaufteilung entwickelt. Er berücksichtigt, dass bei dieser Aufteilung an der Vorderachse eine wesentlich höhere Bremskraft wirken muss als an der Hinterachse.

Die Zylinderdurchmesser sind gestuft, d.h. sie haben unterschiedliche Durchmesser. Der Durchmesser des Zwischenkolbens, der auf den Hinterachsbremskreis wirkt, ist kleiner als der

des Druckstangenkolbens. Bei intakter Bremsanlage herrscht beim Bremsen in beiden Kreisen der gleiche Druck. Der größere Durchmesser im Vorderachsbremskreis bewirkt, dass mehr Flüssigkeitsvolumen verschoben wird. Die Bremsen sprechen schneller an. Fällt durch Druckverlust der Vorderachsbremskreis aus, wird der Druckstangenkolben beim Bremsen auf den Zwischenkolben aufgeschoben. Die Kolbenstangenkraft wirkt jetzt direkt auf ihn, der Pedalweg wird länger. Im Hinterachsbremskreis entsteht durch den kleineren Durchmesser ein höherer Druck, der eine ausreichende Bremswirkung an den Hinterachsbremsen erzeugt.

Tandem-Hauptzylinder mit gefesselter Kolbenfeder (Bild 26.6). Als Besonderheit ist in den Druckstangenkolben eine Verbindungsschraube eingedreht. Sie hält über die Anschlaghülse die vorgespannte Kolbenfeder fest (gefesselt). Zwischen dem Druck- und dem Zwischenkolben besteht eine nahezu „starre“ Verbindung. Beim Betätigen der Bremse werden durch die Vorspannung der Feder beide Kolben gleichzeitig verschoben und verschließen sehr schnell die jeweilige Ausgleichsbohrung. Schon nach einem kurzen Pedalweg baut sich der Bremsdruck auf, die Bremse spricht schnell an. Erst mit steigendem Bremsdruck wird der Zwischenkolben nicht mehr durch die Kolbenfeder bewegt, sondern durch den Druck der Bremsflüssigkeit.

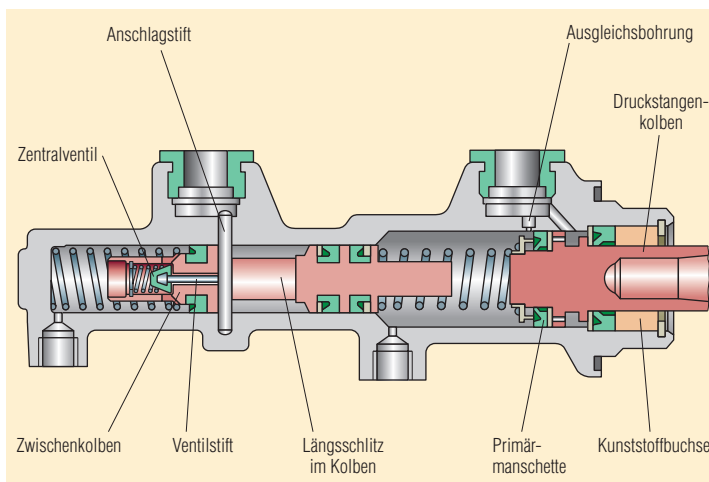


Bild 26.5 Gestufter Tandem-Hauptzylinder mit Zentralventil.

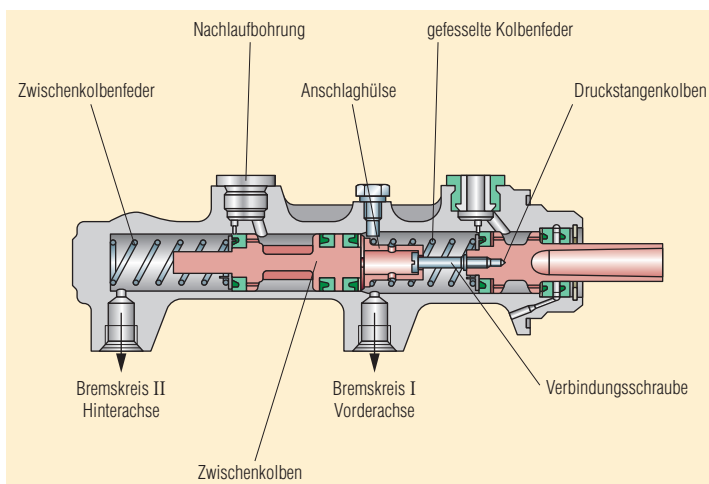


Bild 26.6 Tandem-Hauptzylinder mit gefesselter Kolbenfeder.

26.2.2 Bremskraftverstärker

Bremskraftverstärker erzeugen eine Hilfskraft, die die Pedalkraft beim Bremsvorgang unterstützt. Bremskraftverstärker werden zwischen Pedalgestänge und Hauptzylinder eingebaut. Fällt die unterstützende Kraft aus, ist dies für die Funktion der Bremse bedeutungslos. Der Fahrer muss allerdings eine erhöhte Pedalkraft aufbringen.

Unterdruck-Bremskraftverstärker (Bild 26.7). Bei Fahrzeugen mit Otto-Motor wird der Unterdruck unmittelbar dem Ansaugrohr entnommen. Dieselmotoren besitzen eine vom Motor angetriebene Vakuumpumpe.

Das Verstärkergehäuse ist in eine Unterdruck- und Arbeitskammer unterteilt. Der Arbeitskolben mit der umlaufenden Rollmembran trennt beide Kammern und dichtet sie gegeneinander ab. Die Unterdruckkammer ist über die Unterdrucklei-

tung mit dem Motor oder der Vakuumpumpe verbunden. Um den Unterdruck zu sichern, ist in die Leitung ein Rückschlagventil eingebaut. Die Arbeitskammer kann sowohl mit der Außenluft als auch mit der Unterdruckkammer verbunden werden.

Die jeweilige Verbindung stellt ein Doppelventil (Unterdruck-Außenluftventil) her. Die Kolbenstange am Bremspedal steuert das Ventil und überträgt gleichzeitig seine Kraft über Ventilkolben und Gummi-Reaktionsscheibe auf die Druckstange des Hauptzylinders. Auf diese wirkt auch der Arbeitskolben mit seiner Verstärkerkraft. Der Bremskraftverstärker gewinnt seine Kraft durch Ausnutzung der Druckdifferenz zwischen dem anliegenden Unterdruck und dem atmosphärischen Außendruck. Da die Druckdifferenz in der Praxis sehr klein ist (ca. 0,2 bar) benötigt der Arbeitskolben eine entsprechend große Fläche. Zur weiteren Vergrößerung der Kolbenfläche können auch zwei Vakuum- und Arbeitskammern mit den entsprechenden Membrantellern paarweise hintereinander angeordnet sein (Bild 26.9, S. 448).

In der Lösestellung drückt die Kolbenfeder den Arbeitskolben in seine Grundstellung. Beiderseits des Arbeitskolbens herrscht der gleiche Druck. Mögliche Stellungen des Bremskraftverstärkers und die damit verbundenen Funktionen der Bauteile stellt Tabelle 26.4 dar.

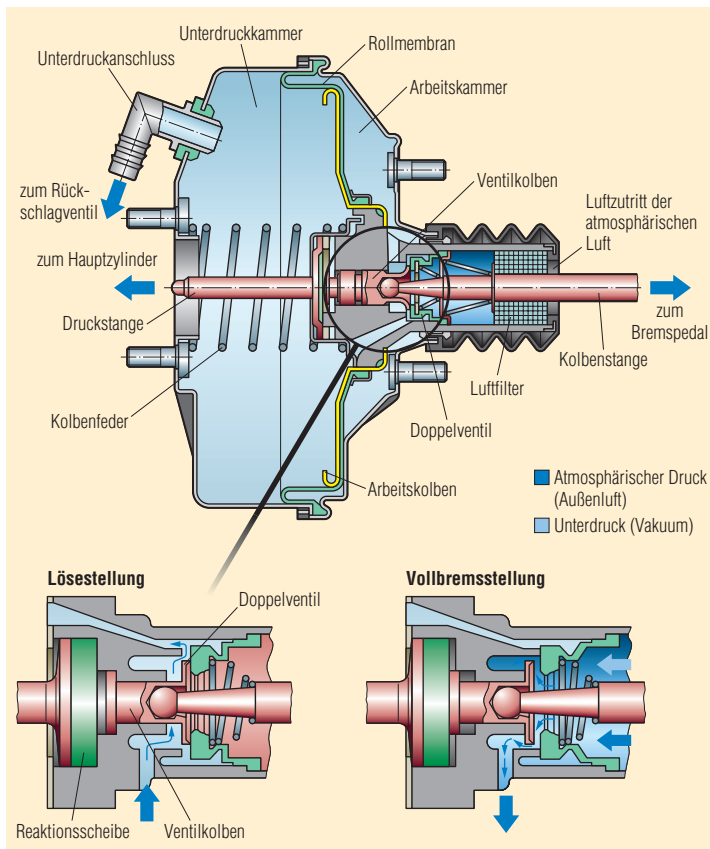


Bild 26.7 Unterdruck-Bremskraftverstärker.

Stellung des Bremskraftverstärkers	Außenluftventil	Unterdruckventil	Druckdifferenz zwischen beiden Kammern	Kraftunterstützung
Lösestellung	geschlossen	geöffnet	keine	keine
Teilbremsstellung	So lange geöffnet, bis die Verstärkerkraft so groß ist wie die Reaktionskraft vom Hauptzylinder.	geschlossen	zwischen Lösestellung und Vollbremsung	zwischen Lösestellung und Vollbremsung Nach Unterbrechung der Außenluftzufuhr ist die Bereitschaftsstellung erreicht, d. h. die Kraftunterstützung bleibt so lange unverändert, bis eine Veränderung des Pedaldruckes eine Vergrößerung oder Verkleinerung der Druckdifferenz bewirkt.
Vollbremsstellung	ständig geöffnet	geschlossen	max. Druckdifferenz	größte Unterstützung
Tabelle 26.4	Ventilstellung, Druckdifferenz und Kraftentwicklung für unterschiedliche Stellungen des Bremskraftverstärkers.			

Hydraulischer Bremskraftverstärker (Bild 26.8). Er kann relativ kostengünstig in Fahrzeuge mit serienmäßiger Servolenkung oder in Kombination mit anderen hydraulischen Systemen eingebaut werden.

Von der Hochdruckölpumpe fließt die Hydraulikflüssigkeit zu einem Stromregelventil. Hier teilt sich die Druckleitung in zwei Kreise, dem umlaufenden Lenkungsreis und dem Bremskraftverstärkerkreis. Bei Bedarf muss der Bremskraftverstärker schnell und unabhängig vom Zustand der Lenkung ansprechen. Aus diesem Grunde ist in sein Leitungssystem zusätzlich ein Hydrospeicher eingebaut. Vom hydraulischen Verstärker strömt das Öl drucklos zum Vorratsbehälter zurück.

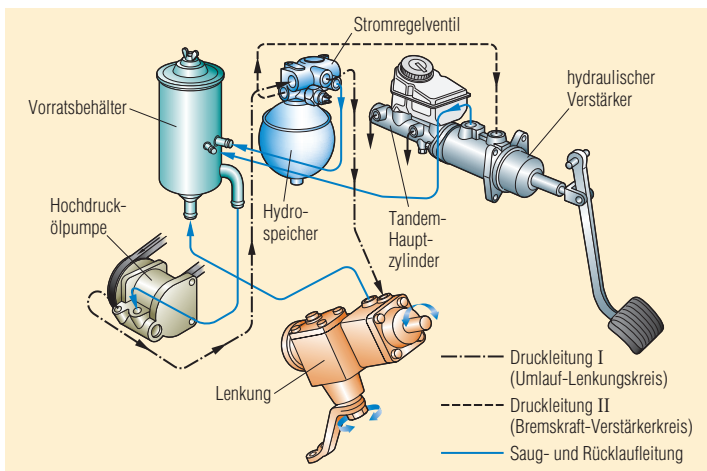


Bild 26.8 Hydraulischer Bremskraftverstärker (in Verbindung mit einer Servolenkung).

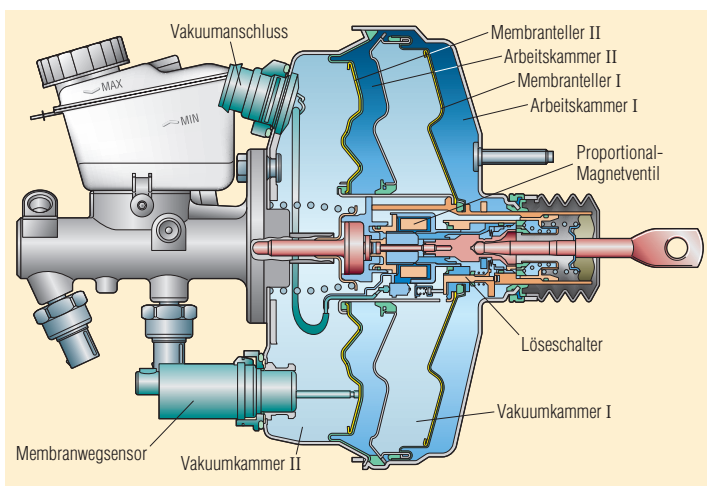


Bild 26.9 Bremskraftverstärker mit integriertem elektronischen Bremsassistenten.

Pneumatischer Bremskraftverstärker mit integriertem elektronischem Bremsassistenten (Bild 26.9). Bei einer Vollbremsung greift dieses elektronisch gesteuerte System unter bestimmten Bedingungen selbstständig in die Bremsanlage ein um den Bremsweg weiter zu verkürzen. Der Entwicklung des Bremsassistenten gehen Erkenntnisse aus Untersuchungen voraus, dass Fahrer in Gefahrensituationen zwar schnell, aber zu zaghaft auf das Bremspedal treten. Hierdurch verlängert sich der Bremsweg unnötig. Der Bremsassistent erkennt anhand bestimmter Kennwerte (Parameter), ob der Fahrer eine Vollbremsung erzeugen möchte. Informationen darüber liefert der Membranwegsensormessfühler, der die Betätigungsgeschwindigkeit des Bremspedals erfasst. Ist in dieser Situation der Pedaldruck durch den Fahrer zu gering, greift der Assistent in den Bremsverlauf ein.

In seiner Funktion ähnelt dieser Typ einem rein pneumatisch ausgeführten Bremskraftverstärker mit zwei hintereinanderliegenden Verstärkerbereichen. Jeder Bereich besteht aus einer Arbeits- und Vakuumkammer, die durch einen Membranteller voneinander getrennt sind. Im unbetätigten Zustand herrscht in beiden Kammern jedes Verstärkerbereiches der gleiche Unterdruck.

Bei Betätigung der Bremse werden die beiden Arbeitskammern über ein mechanisches Steuerventil belüftet. Das Ventil ist mit dem Bremspedalgestänge gekoppelt. Die eingesteuerte Druckdifferenz an den Membranen ergibt die Verstärkungskraft. Ihre Stärke ist somit unmittelbar an die Fußkraft gekoppelt. Die maximale Verstärkung ist erreicht, wenn beide Arbeitskammern den Druck der Atmosphäre aufweisen.

Für die Steuerung des Bremsassistenten ist ein zusätzliches Proportional-Magnetventil notwendig. Es belüftet die hintere Kammer schlagartig, damit sich die maximal mögliche Druckdifferenz einstellt und somit die größtmögliche Verstärkungskraft erzeugt wird. Nach dem Lösen der Bremse wird das Magnetventil durch den Löseschalter ausgeschaltet.

26.2.3 Bremskraftübertragung

Bremskräfte werden durch Bremsleitungen (Verlegung entlang starrer Fahrzeugteile) und Bremsschlauchleitungen (Verlegung entlang beweglicher Karosserieteile) übertragen. Sie haben folgende gemeinsame Anforderungen zu erfüllen:

- Druckübertragung ohne wesentliche Verluste,
- Korrosionsbeständigkeit,
- Unempfindlichkeit gegen Steinschlag und andere mechanische Beschädigungen,
- Unempfindlichkeit gegen hohe und niedrige Temperaturen.

Damit sich die Bremsflüssigkeit im Leitungssystem nicht zu stark erwärmt, sollten Bremsleitungen und -schläuche möglichst weit entfernt von der Abgasanlage verlegt werden.

26.2.4 Bremskraftverteilung

In vielen Fahrzeugen arbeiten Systeme zur Bremskraftverteilung. Sie sorgen dafür, dass bei einem Bremsvorgang unter allen Bedingungen zuerst die Vorderräder blockieren, damit die Hinterräder weiterhin die Seitenführungskräfte übertragen können. Die Fahrstabilität bleibt erhalten, die Lenkfähigkeit geht allerdings verloren. Je nachdem wie viel geladen und wie verteilt wird, entstehen unterschiedliche Achslasten in einem Fahrzeug. Systeme zur Bremskraftverteilung passen die Bremskraft an die jeweilige Achslast an.

Allen Systemen ist gemeinsam, dass der Bremsdruck der Hinterradbremse begrenzt wird, während den Vorderrädern die volle Bremskraft zugeteilt wird. Bremskraftverteiler werden zwischen dem Hauptzylinder und den Radzylindern der Hinterachse eingebaut.

Werkstattpraxis

- Bei der Inspektion müssen Bremsleitungen und -schläuche optisch überprüft werden. Im Zweifelsfall sind sie zu ersetzen.
- Bremsleitungen und -schläuche müssen mit ausreichend großen Biegeradien und spannungsfrei verlegt werden.
- Über alte Bremsschläuche nimmt die Bremsflüssigkeit mehr Wasser auf.

Bremskraftbegrenzer (Druckbegrenzer). Sie begrenzen den Höchstdruck im Hinterachskreis. Bis zum Erreichen des fest eingestellten Abschaltdruckes ist der Bremsdruck im Vorder- und Hinterachskreis gleich hoch. Steigt der Druck über den Abschaltdruck an, schließt das Ventil im Bremskraftbegrenzer. Der Druck in den Radzylindern der Hinterachse bleibt konstant (Bild 26.10).

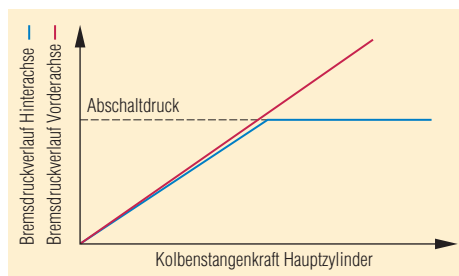


Bild 26.10 Bremsdruckverlauf der Vorderachs- und Hinterachsbremseanlage mit eingebautem Bremskraftbegrenzer.

Bremskraftregler. Sie mindern den weiteren Druckanstieg im Hinterachsbremskreis nach Erreichen eines bestimmten Druckes (Umschalt- punkt). Ist die Steuerung des Umschaltpunktes nur vom Bremsdruck abhängig, liegt ein Regler mit festem Umschaltpunkt vor (Bild 26.11).

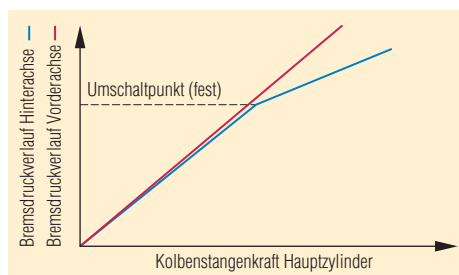


Bild 26.11 Bremsdruckverlauf der Vorderachs- und Hinterachsbremseanlage bei einem Regler mit festem Umschaltpunkt.

Bei einem automatisch lastabhängigen Bremskraftregler erfolgt die Steuerung des Umschaltpunktes in Abhängigkeit von dem jeweiligen Beladungszustand (statische Regelung) oder von der Achslastverlagerung beim Verzögern (dynamische Regelung; Bild 26.12).

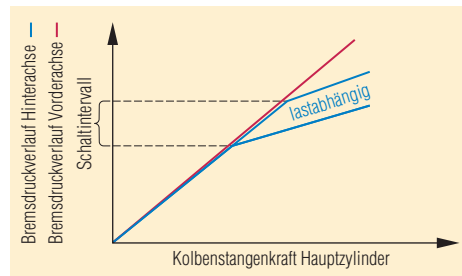


Bild 26.12 Bremsdruckverlauf der Vorderachs- und Hinterachsbremsanlage mit einem lastabhängigen Bremskraftregler.

Wird der Bremskraftregler zusätzlich mit einer hydraulischen Sperre versehen, erhalten die Hinterräder den vollen Bremsdruck bei Ausfall der Vorderradbremse (Bild 26.13).

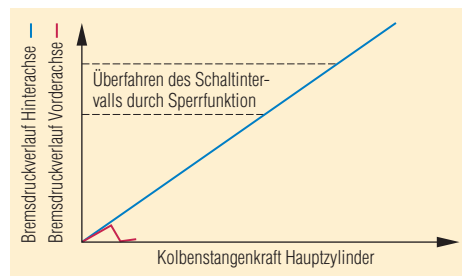


Bild 26.13 Bremsdruckverlauf der Hinterachsbremsanlage bei Ausfall der Vorderachsbremse.

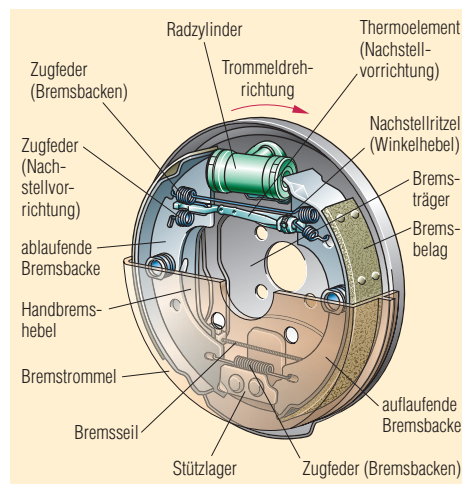


Bild 26.14 Prinzipieller Aufbau einer Pkw-Trommelbremse (rechtes Hinterrad).

26.2.5 Trommelbremse

Hauptsächlich geringe Produktionskosten sind der Grund, dass Trommelbremsen noch vereinzelt in preiswerten Personen- und Lastkraftwagen eingebaut werden. Weitere Vorteile sind:

- Platz sparender Einbau in der Radnabe möglich,
- gleichzeitige Nutzung als Betriebs- und Feststellbremse möglich,
- Bauteile sind vor äußeren Einflüssen weitgehend geschützt.

Den Vorteilen stehen aber gravierende Nachteile gegenüber:

- schlechte Wärmeabfuhr führt zu nachlassender Bremsleistung,
- umfangreiche Wartungsarbeiten verursachen hohe Betriebskosten,
- Abrieb der Bremsbeläge sammelt sich in der Trommel an.

Aufbau und Funktion (Bild 26.14). Mit den Außenseiten der beiden Bremsbacken sind die Bremsbeläge fest verbunden (geklebt, genietet). Während des Bremsvorganges werden die zwei gegenüberliegenden Bremsbacken gegen die drehende Trommel gepresst. Diese Aufgabe übernimmt der zweiseitig wirkende hydraulische Radzylinder.

Bei Druckluftbremsanlagen sorgt meist ein S-förmiger Nocken für den Anpressvorgang. Er wird von einem außerhalb der Trommel liegenden Bremszylinder verdreht (Bild 27.21, S. 470).

Die Bremsbacken stützen sich mit ihrem unteren Ende am Stützlager ab, welches mit dem Bremsträger verbunden ist. Zum Lösen der Bremse ziehen die obere und untere Zugfedern die Bremsbacken zurück. Die Feststellbremse wird mechanisch über einen Seilzug ausgelöst, der am unteren Ende des Handbremshebels eingehakt ist. Der Handbremshebel ist oben in der ablaufenden Bremsbacke drehend gelagert und wirkt auf die Nachstellvorrichtung. Bei Betätigung der Feststellbremse zieht der Seilzug den Handbremshebel unten nach rechts. Dabei drückt der obere Teil des Hebels über die Nachstellvorrichtung die rechte Bremsbacke gegen die Trommel, bis diese anliegt. Zur Betätigung der linken Bremsbacke stützt sich der Hebel an der Nachstellvorrichtung ab. Alle Bauteile sind auf der Bremsträgerplatte befestigt. Sie ist fest mit der Radaufhängung verbunden. Die Radnabe stellt die Verbindung zur Bremstrommel und dem Rad her.

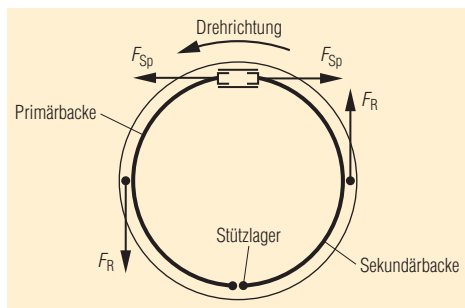


Bild 26.15 Bremskrafterzeugung in der Trommelbremse.

Bremskrafterzeugung (Bild 26.15). Zwischen dem Bremsbelag und der sich drehenden Trommel wird die Reibkraft F_R erzeugt. Ihre Höhe ist abhängig von

- der Spannkraft F_{Sp} und
- der Gleitreibungszahl μ_{GS} .

Beim Bremsvorgang liegen die Bremsbacken an der Trommel an. Die Backenoberfläche reibt an der Innenseite der Trommel und versucht diese abzubremesen. Die Trommel versucht die Bremsbacken in Drehrichtung mitzunehmen. Es entsteht die Reibkraft F_R . Diese versucht die Bremsbacken um das Stützlager (Drehpunkt) zu drehen. Es entsteht beiderseits ein rechtsdrehendes Moment $M_R = F_R \cdot r_R$ (Bild 26.16).

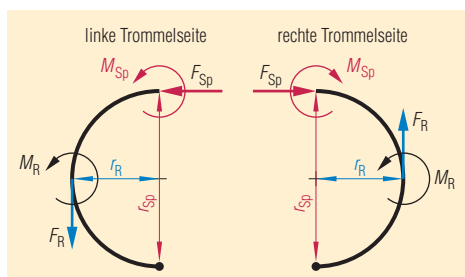


Bild 26.16 Entstehung der Drehmomente während des Bremsvorganges.

Auch die Spannkraft erzeugt auf beiden Belagseiten ein Moment $M_{Sp} = F_{Sp} \cdot r_{Sp}$. Ihre Drehrichtungen sind jedoch unterschiedlich. Linksseitig sind beide Momente gleich drehend und addieren sich in ihrer Wirkung. Die Reibkraft verstärkt sich. In diesem Fall spricht man von einer auflaufenden (Primär-)Backe. Rechtsseitig sind beide Momente entgegengerichtet. Die Reibkraft schwächt sich selbst. Es handelt sich um eine ablaufende (Sekundär-)Backe.

Bauarten. Trommelbremsen unterscheiden sich in ihrer Bauweise durch:

- Art der Radzylinder (Ein- oder Zweikolben),
- Anzahl der Radzylinder (ein oder zwei Stück),
- Gestaltung der Stützlager.

Je nach Bauweise erzeugen die Trommelbremsen unterschiedlich starke Bremskräfte. Für die Berechnung der Bremskraft F_{BT} gilt: $F_{BT} = F_{Sp} \cdot C$. Der Buchstabe „C“ gibt den Bremsenkennwert an.

In diesem Wert sind berücksichtigt:

- die Höhe der auftretenden Selbstverstärkung in der Trommel,
- die Gleitreibungszahl,
- die Bauart der Bremse.

Der Wert der Gleitreibungszahl μ_{GS} ist stark temperaturabhängig, das heißt mit zunehmender Temperatur der Bremse sinkt der Reibungswert zwischen Belag und Trommel. Da die Selbstverstärkung der Trommelbremse eine Folge der Reibung ist, nimmt auch die Verstärkungskraft stark ab. Die entsprechenden Veränderungen sind in dem Diagramm Bild 26.17 abzulesen. Den Verlust der Bremskraft mit zunehmender Erwärmung bezeichnet man als Bremsfading.

Tabelle 26.5 auf Seite 452 gibt eine Übersicht über die Bauarten.

„C“ wird auch als innere Übersetzung der Trommel bezeichnet.

μ_{GS} ist abhängig von der Werkstoffpaarung und der Oberflächenbeschaffenheit.

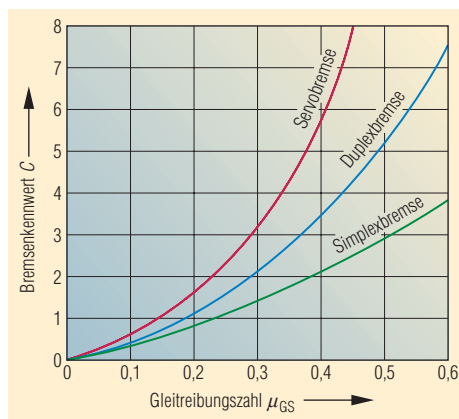
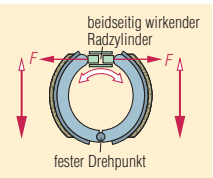
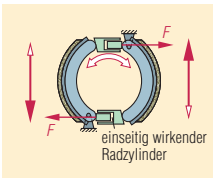
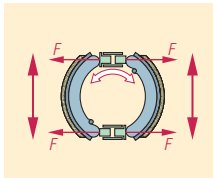
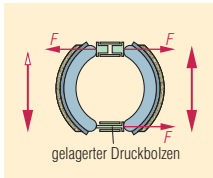
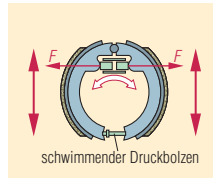


Bild 26.17 Diagramm für Bremsenkennwerte.

Simplex-Bremse	Duplex-Bremse	Duo-Duplex-Bremse	Servo-Bremse	Duo-Servo-Bremse
 <p>beidseitig wirkender Radzylinder fester Drehpunkt</p>	 <p>einseitig wirkender Radzylinder</p>		 <p>gelagerter Druckbolzen</p>	 <p>schwimmender Druckbolzen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • ein doppelt wirkender Radzylinder • eine auflaufende und eine ablaufende Bremsbacke 	<ul style="list-style-type: none"> • zwei einseitig wirkende Radzylinder • beim Vorwärtsfahren zwei auflaufende Bremsbacken • beim Rückwärtsfahren zwei ablaufende Backen 	<ul style="list-style-type: none"> • zwei doppelt wirkende Radzylinder • zwei auflaufende Bremsbacken beim Vorwärts- und Rückwärtsfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • ein doppelt wirkender Radzylinder • Bremsbacken sind über einen gelagerten Druckbolzen miteinander verbunden • beim Vorwärtsfahren zwei auflaufende Bremsbacken • beim Rückwärtsfahren eine auflaufende und eine ablaufende Bremsbacke 	<ul style="list-style-type: none"> • ein doppelt wirkender Radzylinder • Bremsbacken sind über einen schwimmenden Druckbolzen miteinander verbunden • beim Vorwärts- und Rückwärtsfahren zwei auflaufende Bremsbacken
<p>➤ Richtung und qualitative Größe der Bremskraft an der Bremsbacke</p>				
<p>Tabelle 26.5 Bauarten von Trommelbremsen mit Beschreibung ihrer Funktion.</p>				

Nachstellung. Durch den Verschleiß der Bremsbeläge wird der Abstand zwischen Belag und Trommel größer. Das Lüftspiel der Bremse nimmt zu. Dadurch bedingt dauert es länger, bis die Bremse anspricht und die maximale Bremskraft kann möglicherweise nicht erzielt werden. Die Trommelbremse muss deshalb rechtzeitig nachgestellt werden. Dies kann manuell (meist im Rahmen einer Inspektion) oder automatisch erfolgen.

Manuelle Nachstellvorrichtungen:

- Nachstellung durch Verdrehen von zwei Exzentern auf der Bremsträgerplatte. Dadurch werden die Bremsbacken im unbetätigten Zustand näher an die Trommelinnenseite geschoben. Die Exzenter können von der Außenseite der Bremsträgerplatte aus eingestellt werden.
- Nachstellvorrichtung am Radzylinder. Mit einem Schraubendreher können von außen durch eine Öffnung am Bremsträger die Ritzel am Radzylinder verdreht werden, die oberen Auflagepunkte der Bremsbacken gehen nach außen.

- Nachstellvorrichtung am unteren Stützlager. Mit einem Schraubendreher kann von außen durch eine Öffnung am Bremsträger das Ritzel am Stützlager verdreht werden. Dadurch werden zwei Nachstellmutter aus dem Stützlager herausgedreht, an dem sich die Bremsbacken am unteren Drehpunkt abstützen. Beide Bremsbacken wandern nach außen, das Lüftspiel wird kleiner.

Automatische Nachstellvorrichtungen werden verstärkt eingesetzt, weil sie das Lüftspiel zwischen Bremsbacken und -trommel jederzeit konstant halten. Prinzipielle Funktion: Beim Betätigen der Betriebsbremsanlage drücken die Kolben des Radzylinders die Bremsbacken mit den Belägen gegen die Trommel. Die an den Backen befestigten Zugfedern ziehen die Nachstellvorrichtung auseinander, innerhalb der Vorrichtung entsteht ein Zwischenraum. Immer wenn der Zwischenraum eine bestimmte Länge erreicht hat, wird automatisch durch ein Federhebelsystem der Zahnkranz eines Nachstellritzels verdreht, wodurch eine Stellschraube aus der Nachstellvorrichtung herausgedreht wird. Die Nachstellvorrichtung verlängert sich, das Lüftspiel wird korrigiert.

Zusätzlich kann ein Thermoelement mit Bimetallstreifen verbaut sein (Bild 26.14). Es verhindert bei Temperaturen über ca. 80 °C eine automatische Nachstellung (z. B. lange Talfahrt mit häufiger Bremsbetätigung). Unter solchen Fahrsituationen dehnt sich die Bremstrommel extrem aus, das Erwärmungsspiel wird größer als das vorgesehene Lüftspiel.

26.2.6 Scheibenbremse

Aufbau und Funktion. Allen Ausführungen ist gemeinsam, dass während des Bremsvorganges zwei Bremsbeläge in axialer Richtung gegen die drehende Bremsscheibe gedrückt werden. Die Beläge werden in einem Bremssattel geführt. Dieser nimmt auch die Bremskolben auf. Der Bremssattel ist mit der Radaufhängung verschraubt. Unterschiede in der Bauart ergeben sich durch die Anzahl der Kolben und durch die Führung des Sattels (Bild 26.18).

Weitere Ausführungsvarianten ergeben sich durch:

- **Bremsscheiben.** Werden diese besonders hohen Anforderungen ausgesetzt, müssen sie zur besseren Wärmeabfuhr mit radialen Hohlräumen versehen sein (innenbelüftete Bremsscheibe).
- **Bremsbelag-Verschleißanzeige** (Bild 26.19). Der Anzeigengeber wird in den Belag eingesetzt und nutzt sich zusammen mit diesem ab. Im Fühlerkopf ist eine elektrische Kabelschleife integriert. Wird diese frei, baut sich bei betätigter Bremse ein Stromkreis über die Bremsscheibe auf. Eine optische Anzeige in der Instrumententafel signalisiert, dass die Verschleißgrenze erreicht ist.

Vorteile der Scheibenbremse:

- gute Dosierbarkeit,
- selten unterschiedliche Bremskräfte an einer Achse,
- geringes Bremsfading aufgrund guter Kühlung,
- geringer Wartungsaufwand,
- selbsttätige Nachstellung des Lüftspiels,
- gleiche Bremswirkung beim Vorwärts- und Rückwärtsfahren.

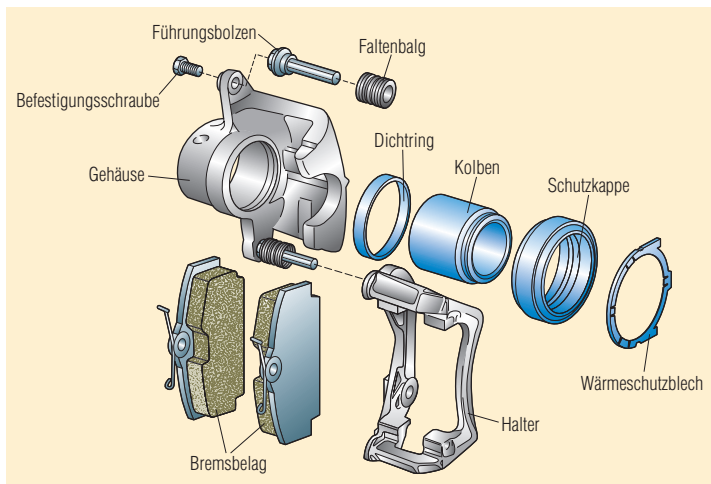


Bild 26.18 Einzelteile einer Faustsattelbremse.

Nachteile der Scheibenbremse:

- hohe Anpresskräfte (keine Selbstverstärkung),
- starker Belagverschleiß,
- Bauteile sind äußeren Einflüssen ausgesetzt,
- Einbau einer Feststellbremse sehr aufwändig.

Bremskrafterzeugung. Die Bremsbeläge erzeugen beiderseits der Bremsscheibe Reibungskräfte (Bild 26.20). Nach dem Reibungsgesetz gilt:

$$F_{BS} = 2 \cdot F_{Sp} \cdot \mu_{GS}$$

Die Scheibenbremse wird durch den Fahrtwind gut gekühlt. Sie kann die beim Bremsen entstehende Wärme gut abführen. Dadurch verändert sich auch bei längeren Bremsvorgängen der Wert von μ_{GS} kaum. Scheibenbremsen zeichnen sich durch geringes Bremsfading aus.

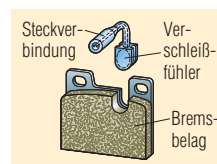


Bild 26.19 Bremsbelag-Verschleißanzeige

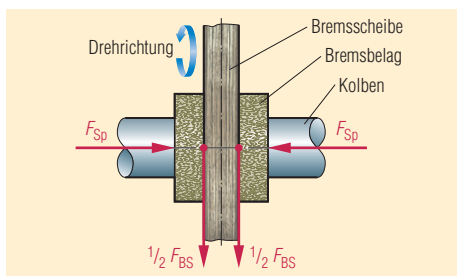


Bild 26.20 Bremskrafterzeugung an der Scheibenbremse.

detaillierte Beschreibung und Abbildungen zur Scheibenbremse
→ S. 471

Einhaltung des Lüftspiels (Bild 26.21). Die Rückstellung des Kolbens und die Selbstnachstellung der Bremse erfolgt durch einen Gummidichtring im Bremsattel. Er dichtet den Kolben zum Gehäuse hin ab. Sein Innendurchmesser ist geringfügig kleiner als der Kolbendurchmesser. Bei jeder Ausfahrbewegung des Kolbens wird der Dichtring elastisch vorgespannt. Wird die Bremse

gelöst, baut sich zunächst der Bremsdruck vollständig über den Hauptzylinder ab. Die Vorspannkraft des Dichtrings reicht aus, den Kolben von der Bremsfläche zurückzuziehen. Dadurch stellt sich ein Lüftspiel von ca. 0,15 mm ein. Um den Belagverschleiß auszugleichen, rutscht der Kolben während des Bremsvorganges geringfügig unter dem Dichtring hindurch.

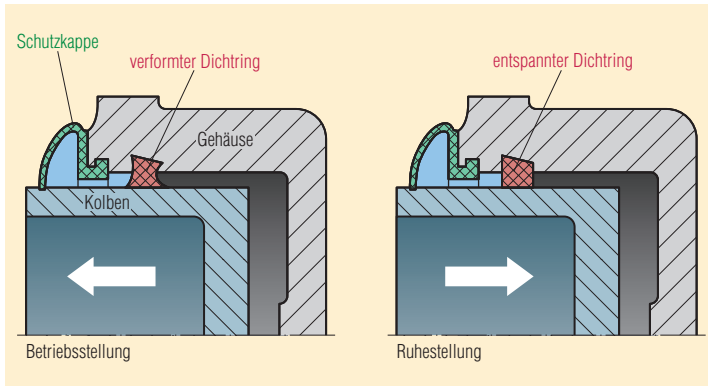


Bild 26.21 Einhaltung des Lüftspiels durch Vorspannung des Dichtringes.

Arbeitsaufträge

1. Bild 26.22 zeigt einen Tandem-Hauptzylinder mit defektem Druckstangenkolben-Bremskreis. Erklären Sie den Druckaufbau für den intakten Zwischenkolben-Bremskreis.
2. Bild 26.23 zeigt einen Tandem-Hauptzylinder mit defektem Zwischenkolben-Bremskreis. Erklären Sie den Druckaufbau für den intakten Druckstangenkolben-Bremskreis.
3. Die wirksame Druckdifferenz in einem Bremskraftverstärker beträgt 0,18 bar. Wie groß muss der Durchmesser des Arbeitskolbens sein, um eine Kraft von 885 N zu erreichen?
4. Unterscheiden Sie das Regelverhalten von Bremskraftbegrenzer und Bremskraftregler.
5. Erläutern Sie die Funktion der Kraftverstärkung und -abschwächung bei einer Trommelbremse.
6. Begründen Sie, warum die Trommelbremse ein höheres Bremsfading aufweist als die Scheibenbremse.
7. Wie hält die Scheibenbremse ihr Lüftspiel selbsttätig ein?

Bauarten von Scheibenbremsen. Sie unterscheiden sich durch den Aufbau des Bremsstells.

- **Festsattel:** Beim Bremsen wird jeder Bremsbelag von einem Kolben gegen die Bremsfläche gedrückt. Es gibt Zwei- und Vierzylindersattel. Letzterer wird meist zweikreisig angeschlossen. Dabei sind jeweils zwei gegenüberliegende Kolben hydraulisch zusammengefasst.
- **Schwimmrahmensattel:** Er besitzt nur einen Kolben. Ein schwimmend gelagerter Rahmen überträgt die Spannkraft auf den zweiten Bremsbelag. Sobald der Druck aufgebaut wird, stützt sich die Bremsflüssigkeit auf der Kolbenrückseite und an der Zylinderwand ab. Hierdurch verschiebt sich der Rahmen, bis beide Beläge an der Scheibe anliegen.
- **Faustsattel:** Seine Funktion ist ähnlich wie die des Schwimmrahmensattels. Jedoch ist diese Bremse stabiler ausgeführt. Hier umgreift das komplette Zylindergehäuse (Faustsattel) die Bremsfläche. Es überträgt die Spannkraft auf die andere Belagseite. Faustsattel-Scheibenbremsen können unterschiedlich ausgeführt sein (Zahnführung, Bolzenführung, Bolzenführung mit aufklappbarem Faustsattel (siehe Bild 26.18, S. 453), Bolzen- und Zahnführung kombiniert).

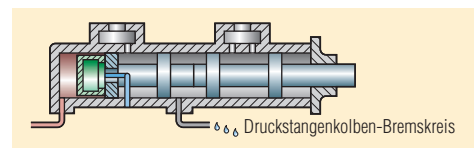


Bild 26.22 Tandem-Hauptzylinder mit defektem Druckstangenkolben-Bremskreis.

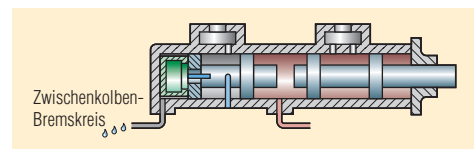


Bild 26.23 Tandem-Hauptzylinder mit defektem Zwischenkolben-Bremskreis.

26.3 Elektrohydraulische Bremse

Die elektrohydraulische Bremse hat den Vorteil, dass der notwendige Bremsdruck nicht durch die Fußkraft des Fahrers erzeugt werden muss (Bild 26.24). Dies übernimmt ein Hydroaggregat, das elektronisch gesteuert wird. Ein Druckspeicher erlaubt im Notfall einen sehr schnellen Bremsdruckaufbau. Zudem ist die Bremsdruckregelung im Vergleich zu einer hydraulischen Bremsanlage sehr viel feinfühlig und dynamischer. Folgende Einzelkomponenten bauen die Steuerkette der elektrohydraulischen Bremse auf:

Pedalmodul (Signaleingabe). Es besteht aus einer Pedalplatte, mit der jeweils ein Weg- und Drucksensor verbunden sind. Diese ermitteln den Bremswunsch des Fahrers und leiten ihn an das Steuergerät weiter. (Der in das Modul integrierte Hauptzylinder mit Vorratsbehälter wird nur bei Systemausfall benötigt.)

Steuergerät (Signalverarbeitung). Es verarbeitet den Bremswunsch des Fahrers. Zusätzlich werden Informationen zur Fahrsituation aus anderen Steuergeräten, z. B. dem ESP bezogen und berücksichtigt. Aus diesen Informationen wird individuell für jedes Rad der Bremsdruck ermittelt.

Elektrohydraulisches Hydroaggregat (Signalabgabe). Es besteht aus Pumpe, Speicher und Ventilblock. Die Pumpe erzeugt den benötigten Bremsdruck und lädt den Druckspeicher. Die stromgesteuerten Ventile des Ventilblocks werden über das Steuergerät angesprochen. Beim Öffnen wird der hydraulische Druck aus dem Speicher zu den Bremssätteln geleitet.

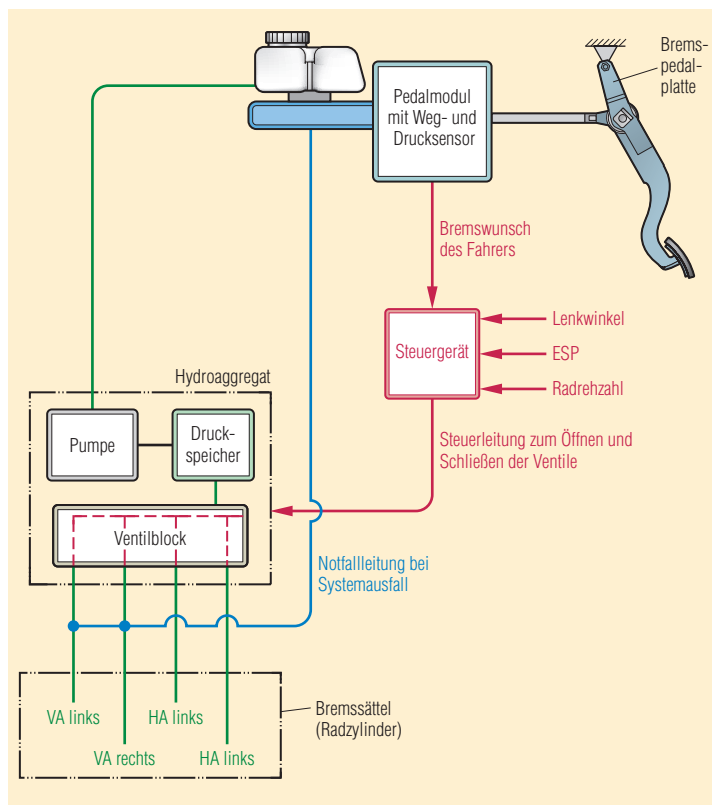


Bild 26.24 Aufbau der elektrohydraulischen Bremse.

Um dem Fahrer das notwendige Pedalgefühl zu simulieren, bewegt er mit seiner Fußkraft die Pedalplatte gegen eine Feder und den hydraulischen Druck im Hauptbremszylinder. Hierüber kann bei Systemausfall die Vorderradbremse hydraulisch betätigt werden.

ESP: Elektronisches Stabilitätsprogramm (Fahrdynamik-Regelung) → S. 579

26.4 Elektrohydraulisch-mechanische Parkbremse

Die Parkbremse (Bild 26.25, S. 456) wird bei abgestelltem Motor mechanisch verriegelt. Wird der Parkbremstaster betätigt, spannt ein Elektromotor die beiden Bowdenzüge, die die Trommelbremse der Hinterachse auslösen. Fällt die Parkbremssteuerung aus, kann die Trommelbremse manuell entriegelt werden. Bei laufendem Motor und stehendem Fahrzeug halten die vier Scheibenbremsen das Fahrzeug fest. Dazu muss der Parkbremstaster gedrückt werden, die Auslösung übernimmt das DSC-Steuergerät. Ein erneuter Druck auf den Taster löst die Bremse.

Eine Besonderheit ist die automatische Haltefunktion der Parkbremse, die vom Fahrer aktiviert werden kann. In Verbindung mit dem automatischen Getriebe erkennt das System selbstständig, ob das Fahrzeug während eines Stopps festgehalten werden muss um die Kriechwirkung des Getriebes zu verhindern. Die Betätigung des Gaspedals löst die Bremse.

Bei Ausfall der Betriebsbremse übernimmt die Parkbremse die Funktion der Hilfsbremse. Bei dauernder Betätigung des Parkbremstasters löst das System eine Notbremsung aus. Solange der Fahrer den Knopf gedrückt hält, verzögert das Fahrzeug mit ca. 5 m/s^2 .

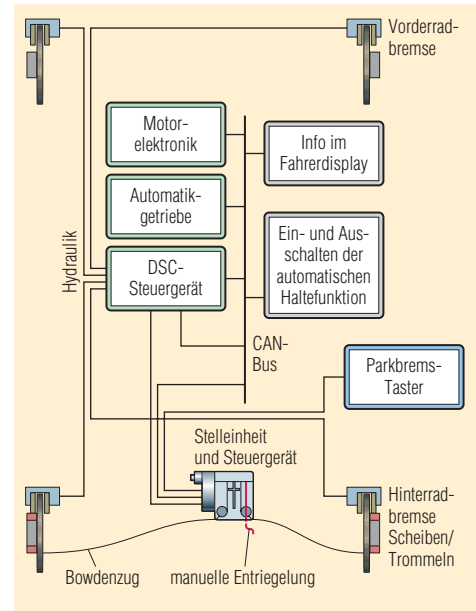


Bild 26.25 Elektrohydraulische Parkbremse.

26.5 Besonderheiten der Kraftradbremse

Technisch besonders schwierig ist, die optimale Bremskraftverteilung zwischen der Vorderrad- und Hinterradbremse in allen Fahrsituationen sicherzustellen. Dies hat im Wesentlichen zwei Ursachen:

- Beim Bremsen greift die Verzögerungskraft im Schwerpunkt an. Um die Achslastverschiebung gering zu halten, sind eine tiefe Schwerpunktlage und ein langer Radstand wünschenswert. Beim Kraftrad ist die Höhe des Schwerpunktes bezogen auf den Radstand ungefähr doppelt so hoch wie beim Kraftwagen. Somit wird beim Bremsen das Vorderrad sehr stark belastet, das Hinterrad dagegen entlastet. In Extremsituationen kann dies zum Abheben des Hinterrades führen.
- Bezogen auf die Fahrzeugmasse zeichnet sich das Kraftrad durch einen hohen Anteil variabler Zuladungsmöglichkeiten aus. Das Fahren mit einer zweiten Person oder das Mitführen von Reisegepäck verändert prozentual die Gesamtmasse des Zweirades stärker als beim Kraftwagen.

Beide Gründe lassen eine konstant vorgegebene Bremskraftverteilung nicht zu. Die einfachste und häufigste Lösung ist die Verteilung der Bremskraft durch den Fahrer. Er betätigt die Vorderradbremse über den Handbremshebel, die Hinterradbremse über den Fußhebel. In der

Regel sind Krafträder an beiden Achsen mit Scheibenbremsen ausgestattet. Leistungsstarke Räder besitzen vorne zwei Brems scheiben. Ein wesentlicher Beitrag zur Fahrsicherheit ist die Ausstattung der Bremsanlage mit einem Anti-blockiersystem. Es verhindert das Überbremsen (Blockieren) eines Rades. Gerade bei sportlicher Fahrweise kann hierdurch die Fahrstabilität erhalten werden.

Die zur Zeit aufwändigste Kraftradbremsanlage arbeitet mit der Kombination von drei Regelsystemen um optimales Brems- und Fahrverhalten zu garantieren:

- CBS → regelt die Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterradbremse,
- ABS → verhindert das Blockieren eines Rades,
- TCS → verhindert das Durchdrehen des Antriebsrades beim Beschleunigen.

Das CBS-System ist ein kraftradspezifisches Regelsystem. Die Regelvorgänge laufen servomechanisch ab, elektronische Komponenten werden nicht benötigt. Die Betätigung der Bremse über Hand- und/oder Fußhebel ist möglich (Bilder 26.26 und 26.27).

CBS: Combined Brake System
ABS: Anti-blockiersystem
 → S. 569
TCS: Traction Control System

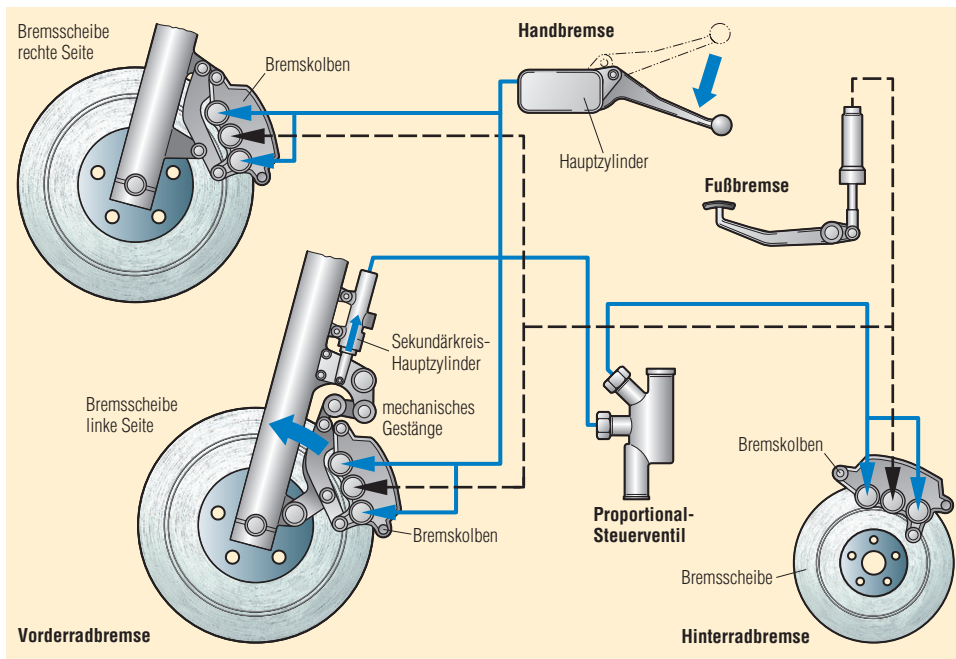


Bild 26.26 Bremsen mit der Hand.

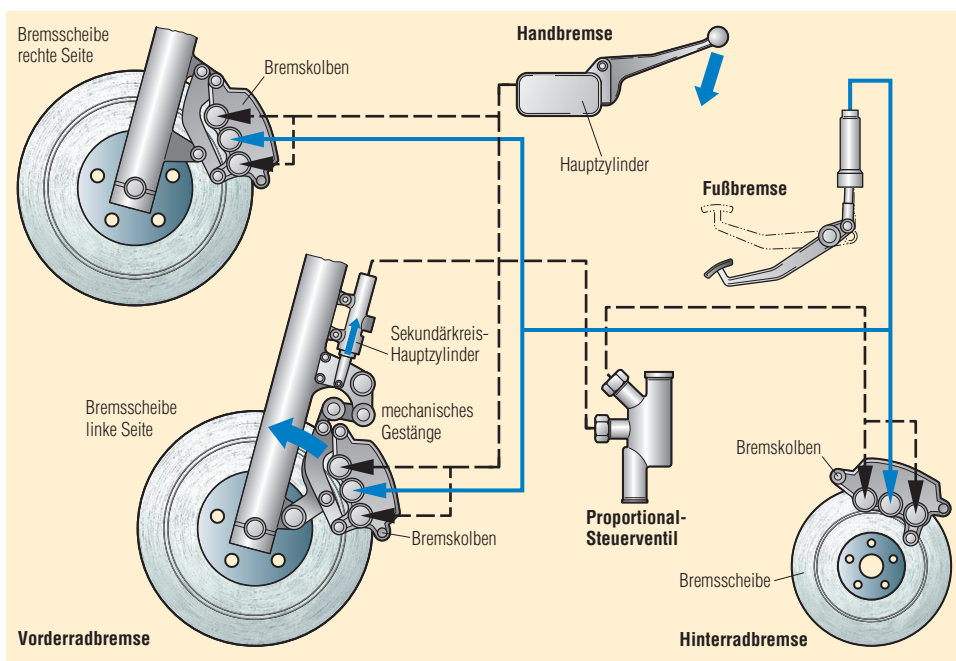


Bild 26.27 Bremsen mit dem Fuß.

Handbremse. Der eingeleitete Bremsdruck wirkt auf die beiden äußeren Kolben beider Vorderrad-Bremsscheiben. Die Auswirkung des Bremsdruckes auf das Bremsverhalten des Kraftrades wird von einem mechanischen Gestänge erfasst. Hierüber wird ein entsprechender Teil der Bremskraft auf den Sekundärkreis-Hauptzylinder übertragen. Der abgeleitete Druck wirkt über das Pro-

portional-Steuerventil auf die beiden äußeren Kolben der Hinterradbremse. Das Ventil regelt die Bremskraftverteilung in voreingestellten Stufen.

Fußbremse. Es werden der mittlere Kolben der Hinterradbremse und beide mittleren Kolben der Vorderradbremse angesprochen.

26.6 Werkstattpraxis

Eine Funktionsbeeinträchtigung oder schlimmstenfalls der Ausfall der Bremsanlage stellt eine große Gefahr für die Fahrzeuginsassen und den Straßenverkehr dar. Deshalb müssen Arbeiten an der Bremsanlage äußerst sorgfältig und gewissenhaft durchgeführt werden. Auch der Fahrzeughalter muss sich von der Verkehrssicherheit seiner Bremsanlage überzeugen. Störungen müssen umgehend behoben werden. Fahrzeugspezifische Wartungs- und Reparaturarbeiten sind unbedingt nach Herstellervorgaben durchzuführen. Allgemein ist zu beachten:

- regelmäßige Sichtprüfung auf Dichtigkeit und Korrosion der hydraulischen Anschlüsse und Leitungen,
- Kontrolle des Bremsflüssigkeitsstandes im Ausgleichbehälter,
- bei Austausch der Bremsbeläge niemals den abgebauten Bremssattel am Bremsschlauch aufhängen,
- Bremsbeläge immer achsweise erneuern,
- Trommel und Scheibe auf Abnutzung, Riefen und Seitenschlag untersuchen,
- Trommelbremsen ohne Selbstnachstellung regelmäßig von Hand nachstellen,
- regelmäßige Funktionsprüfung: Bremspedal längere Zeit im Stand betätigen und feststellen, ob sich der Pedalweg verlängert,
- Entlüftungsarbeiten an der Bremsanlage sollten mithilfe eines Füll- und Entlüftergerätes durchgeführt werden. Das manuelle Entlüften mit zwei Personen durch „Pumpen“ wird von einzelnen Fahrzeugherstellern (speziell mit ABS-Bremsanlagen) verboten.

Arbeitsaufträge

1. Nach dem störungsfreien Betrieb einer Bremsanlage über 30 000 km stellen Sie bei der Kontrolle des Bremsflüssigkeitsstandes fest, dass die Minimal-Markierung erreicht ist. Ihr Kollege rät Ihnen, lediglich die Flüssigkeit auf den Maximalwert aufzufüllen. Was antworten Sie ihm?
2. Folgende Daten sind gegeben:

	Kraftrad	Pkw
Leergewicht	230 kg	1570 kg
Gewicht des Fahrers	85 kg	85 kg
Zuladung (Urlaub)	125 kg	335 kg

Berechnen Sie für Kraftrad und Pkw die prozentuale Gewichtszunahme (bezogen auf das Leergewicht) durch den Fahrer und durch das Urlaubsgepäck. Welche Auswirkung haben die Ergebnisse auf das Bremsverhalten beider Fahrzeuge?

3. Begründen Sie, warum bei einem Kraftrad bei starker Abbremsung das Hinterrad abheben kann, bei einem Pkw dagegen nicht.

27 Pneumatische Bremssysteme

Um schwere Fahrzeuge (ab ca. 8 t) wirkungsvoll abbremsen zu können, muss die mechanische Fußkraft des Fahrers durch ein pneumatisches Bremssystem unterstützt werden. Da in diesen Fällen der Einsatz einer zusätzlichen „fremden Kraft“ erforderlich ist, bezeichnet man solche Bremsanlagen auch als Fremdkraftbremsanlagen. Man unterscheidet:

- hydraulische Bremsanlagen mit Druckluftunterstützung für Fahrzeuge zwischen ca. 8 und 15 t,
- reine Druckluftbremsanlagen für Schwerfahrzeuge ab ca. 16 t.

Gesetzlich vorgeschrieben ist für beide Ausführungen ein Zweikreissystem. Damit wird die Betriebssicherheit des Fahrzeuges erhöht. Die Fremdkraftbremsanlage arbeitet mit einem Betriebsdruck von 8 bar bis 10 bar. Bei Bedarf lassen sich an das Luftdrucknetz eine Reihe von Nebenaggregaten anschließen wie z. B. eine Reifenfülleinrichtung, eine Luftfederung oder ein pneumatischer Türöffner.

27.1 Funktionsdarstellung der Fremdkraftbremsanlage

Zur einheitlichen und übersichtlichen Darstellung der Bremsschaltpläne verwendet man genormte grafische Symbole (DIN ISO 74 253; Bild 27.1).

Bei mehreren gleichartigen Anschlüssen an einem Bauteil muss eine zweite Ziffer angegeben werden. Das Mehrkreisschutzventil z. B. besitzt vier gleichartige Energieabflüsse (21, 22, 23 und 24). Die Bedeutung der verschiedenen Geräteanschlussziffern werden in Tabelle 27.1 erläutert.

Eine Ausnahme dieser Systematik bilden die genormten zweistelligen Zahlen am Luftkompressor. Sie haben eine eigene Bedeutung:

81 = Schmierölzufluss, 82 = Schmierölabfluss

91 = Kühlwasserzufluss, 92 = Kühlwasserabfluss

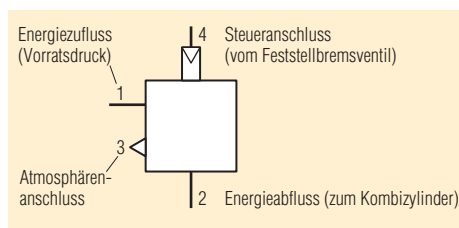


Bild 27.1 Druckregler mit Anschlusskennzeichnung.

Anschlussziffer	Bedeutung	Anschlussziffer	Bedeutung
0	Ansauganschluss	5, 6	frei
1	Energiezufluss	7	Frostschutzmittelanschluss
2	Energieabfluss (nicht zur Atmosphäre)	8	Schmierölanschluss (Luftkompressor)
3	Atmosphärenanschluss	9	Kühlwasseranschluss
4	Steueranschluss		
Tabelle 27.1		Bedeutung der verschiedenen Geräteanschlussziffern.	

27.2 Teilbremssysteme der Fremdkraftbremsanlage

Dauerbremsanlagen → S. 473

Die Fremdkraftbremsanlage besteht aus drei gesetzlich vorgeschriebenen Teilbremssystemen (Tabelle 27.2). Kraftomnibusse mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 5,5 t sowie andere Kraftfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 9 t müssen

außer mit den Bremsen nach den bestehenden Vorschriften noch mit einer **Dauerbremse** ausgerüstet sein. Als Dauerbremse gelten Motorbremsen oder in der Bremswirkung gleichartige Einrichtungen.

Betriebsbremsanlage	Hilfsbremsanlage	Feststellbremsanlage	Dauerbremsanlage (Sondervorschrift)
Abstufbare Bremsanlage, die bei normalem Fahrbetrieb benutzt wird.	Abstufbare Bremsanlage, die bei Störung oder Ausfall der Betriebsbremsanlage eingesetzt werden kann.	<p>Bremsanlage, die das abgestellte Fahrzeug auch bei geneigter Fahrbahn festhalten muss.</p> <p>Am Kraftfahrzeug muss die Feststellbremse so ausgelegt sein, dass sie das Abrollen des Fahrzeugs auf der größten befahrbaren Steigung verhindert.</p> <p>Am Anhänger muss die Feststellbremse so ausgelegt sein, dass sie das Abrollen des vollbelasteten Anhängers auch bei Steigung/Gefälle von 18 % verhindert.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtung zur anhaltenden Verringerung der Geschwindigkeit, damit die Betriebsbremse bei längeren Talfahrten nicht zu stark beansprucht wird. • keine Abbremsung bis zum Stillstand möglich.
Tabelle 27.2		Teilbremssysteme und ihre Aufgaben.	

27.3 Hydraulische Bremsanlage mit Druckluftunterstützung

Die Bremsanlage besteht aus

- Energieversorgungsteil (Drucklufterzeugung),
- zweikreisigem hydraulischem Betriebsbremsystem,
- Feststellbremssystem,
- Hilfsbremssystem (nach Bauart mechanisch oder pneumatisch ausgeführt).

Funktionsbeschreibung. Der Kompressor erzeugt die Druckluft, die über einen Druckregler zum Zweikreis-Schutzventil geleitet wird. Von dort gelangt sie in zwei Luftbehälter, wo sie gespeichert wird. Aus diesen beiden Vorratskreisen wird der Bremskraftverstärker mit Druckluft versorgt.

Die Höhe des Vorratsdruckes kann am Doppelmessgerät abgelesen werden. Zu niedriger Druck wird durch eine Warnlampe angezeigt.

Durch Niedertreten des Fußbremspedals wird der Tandem-Hauptzylinder mechanisch betätigt. In Abhängigkeit von der aufgebrachten Fußkraft und des Pedalweges strömt eine entsprechend dosierte Druckluftmenge aus den Vorratsbehältern in den Bremskraftverstärker. Diese verstärkt die Pedalkraft des Fahrers. Die Folge ist eine Erhöhung des hydraulischen Druckes im Bremskreis. Die Spannkraft in den Radzylindern nimmt zu.

Bei Ausfall eines Betriebsbremskreises kann über den Tandem-Hauptzylinder der noch intakte Kreis weiterbenutzt werden. Dabei erhöht sich der Pedalweg an der Fußbremse.

Bei Ausfall eines Druckluftkreises bleibt die volle Bremskraft erhalten. Dafür sorgt der doppelte Druckluftanschluss am Bremsgerät. Sollte die unterstützende Druckluft völlig fehlen, muss der Fahrer eine erheblich größere Fußkraft aufbringen um das Fahrzeug abzubremesen. Die Feststellbremsanlage kann in diesem Fall als Hilfsbremsanlage genutzt werden.

Die im Bild 27.2 dargestellte Bremsanlage wird auch in anderen Ausführungen angeboten. Statt der dargestellten mechanischen Feststellbremsanlage ist auch eine gestängellose Ausführung möglich. Diese wird über ein Feststell- und Hilfsbremsventil pneumatisch gesteuert (Bild 27.3). Sie wirkt auf einen eingebauten Federspeicher in der Hinterachsbremse.

Zusätzlich kann ein Anhängersteuerventil mit den zugehörigen Kupplungsköpfen für eine druckluftbetätigte Zweileitungs-Anhängerbremse vorhanden sein.

Anhängergefahrzeug
→ S. 469

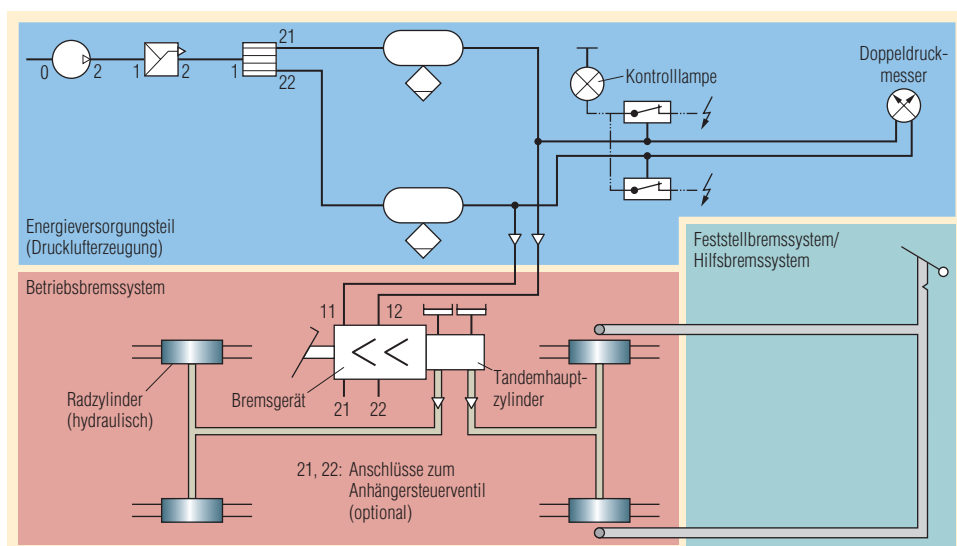


Bild 27.2 Druckluftunterstützte hydraulische Bremsanlage mit mechanischer Feststell- und Hilfsbremsanlage.

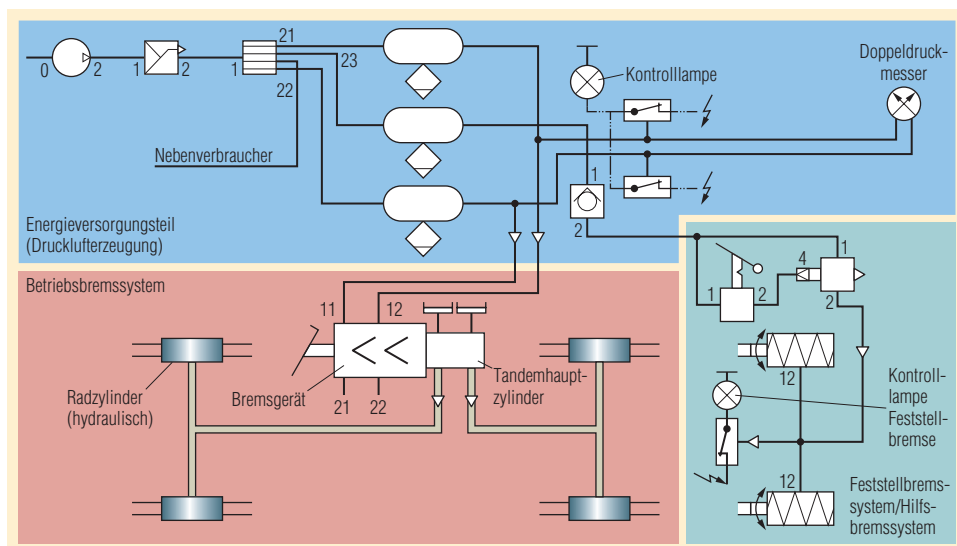


Bild 27.3 Druckluftunterstützte hydraulische Bremsanlage mit pneumatischer Feststell- und Hilfsbremsanlage.

27.4 Zweikreis-Zweileitungs-Bremsanlage

Vorteil dieser Bremsanlage ist, dass der Fahrer lediglich den Bremsvorgang steuern und überwachen muss, die benötigten hohen Bremskräfte

werden dagegen durch Druckluft erzeugt (Bild 27.4).

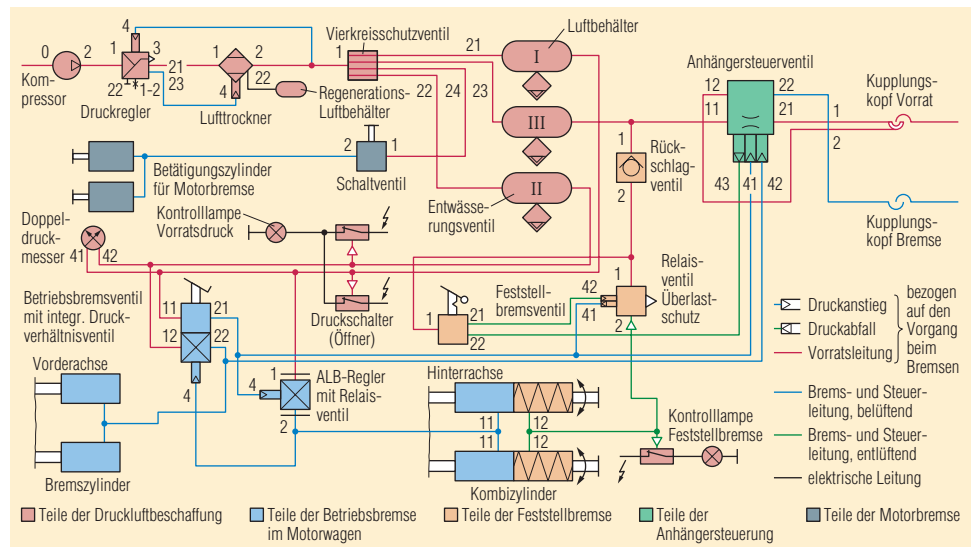
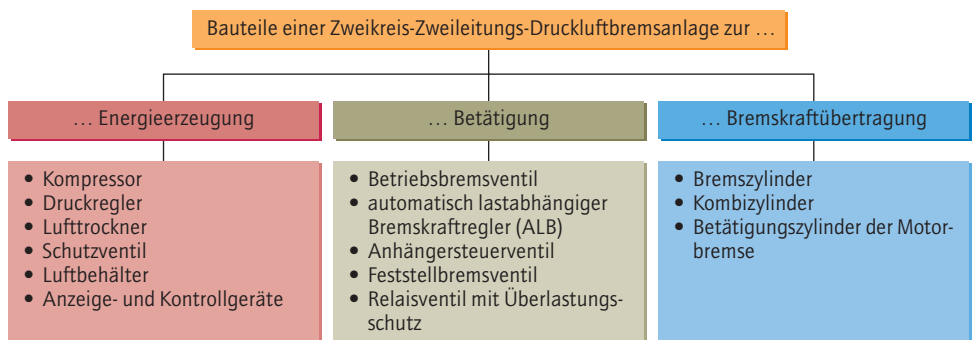


Bild 27.4 Zweikreis-Zweileitungs-Druckluftbremsanlage.

27.4.1 Motorfahrzeug: Übersicht und Funktion der zum Bremssystem gehörenden Bauteile



Der **Kompressor** (Luftverdichter) versorgt die Bremsanlage mit einer stets ausreichenden Menge an Druckluft (Bild 27.5).

Die Kompressoren sind meist als Hubkolbenverdichter mit einem oder zwei Zylindern ausgestattet. Sie werden ständig über Keilriemen,

Zahnriemen oder Zahnrad vom Motor angetrieben. Neuere Ausführungen sind in der Regel mit dem Ölkreislauf des Motors verbunden, ältere Modelle weisen eine eigene Schmierung (Tauchschmierung) auf.

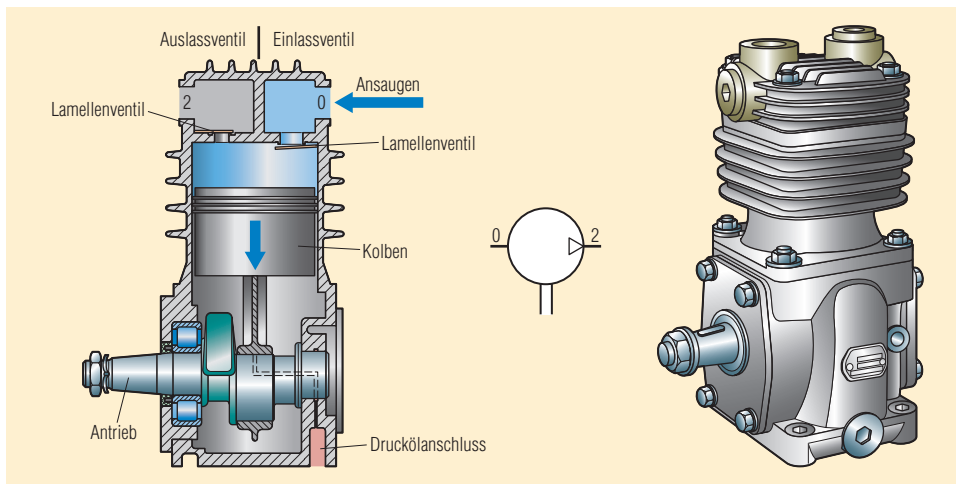


Bild 27.5 Kompressor mit Umlaufschmierung und Lamellenventilen.

Die Kompressoren können luft- oder wassergekühlt sein. Die Verdichter besitzen Lamellenventile (Flatterventile). Diese werden nur durch den vorliegenden Unter- bzw. Überdruck gesteuert. Durch den Betrieb des Kompressors erwärmt sich die verdichtete Luft auf mehr als 200 °C. Bis zum Eintritt in den Druckregler muss sich diese aber wieder auf Temperaturen von durchschnittlich 80 °C bis 150 °C (je nach Gerätetyp) abkühlen haben. Rohrleitungen mit bis zu 2 m Länge zwischen Kompressor und Druckregler sorgen für den notwendigen Temperaturverlust.

Der **Druckregler** hält den Druck in den Luftbehältern innerhalb bestimmter Grenzen konstant (Bild 27.6). Er steuert den Lufttrockner bzw. die Frostschutzpumpe und ermöglicht eine Druckluftentnahme.

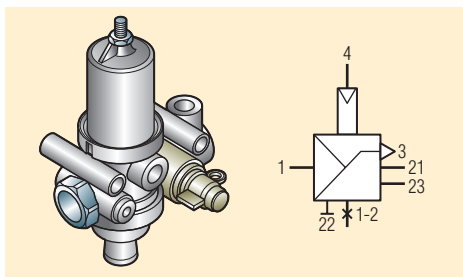


Bild 27.6 Druckregler mit Anschlusskennzeichnung.

Die vom Kompressor kommende Druckluft strömt über den Druckregler und das Vierkreis-Schutzventil bis in die Druckluftbehälter. Solange der Abschalt-Druck von ca. 8,1 bar noch nicht erreicht ist, wird weiterhin Druck aufgebaut. Die Steuerung des Druckreglers geschieht über den Steueranschluss 4. An ihm herrscht derselbe Leitungsdruck wie vor dem Vierkreis-Schutzventil. Ist der Druck in den Druckluftbehältern und somit auch vor dem Vierkreis-Schutzventil bis zum Abschalt-Druck angestiegen, öffnet das Ablassventil des Druckreglers durch den Impuls des Steueranschlusses. Die vom Kompressor geförderte Luft strömt ins Freie. Der Verdichter arbeitet ohne Last, er geht in die Leerlaufstellung.

Wird durch Abbremsung des Fahrzeuges Luft verbraucht oder durch einen Verbraucher Luft entnommen, fällt der Vorratsdruck ab. Ist der Wert auf ca. 7,3 bar abgesunken, ist der Einschalt-Druck erreicht. Der Regler schaltet um und lässt die vom Kompressor kommende Luft nicht mehr ins Freie strömen, sondern leitet sie wieder zum Vierkreis-Schutzventil.

An den Druckregler lässt sich auch ein Reifenfüllschlauch anschließen. Dazu wird der Durchgang der Druckluft zum Anschluss 21 abgesperrt. Der Kompressor fördert jetzt die Druckluft unmittelbar in den Reifenfüllschlauch. Ein Überdruckventil verhindert einen zu starken Druckanstieg, es öffnet bei ca. 12 bar.

Schaltspanne:
Differenz zwischen
Abschalt- und Ein-
schalt-Druck.

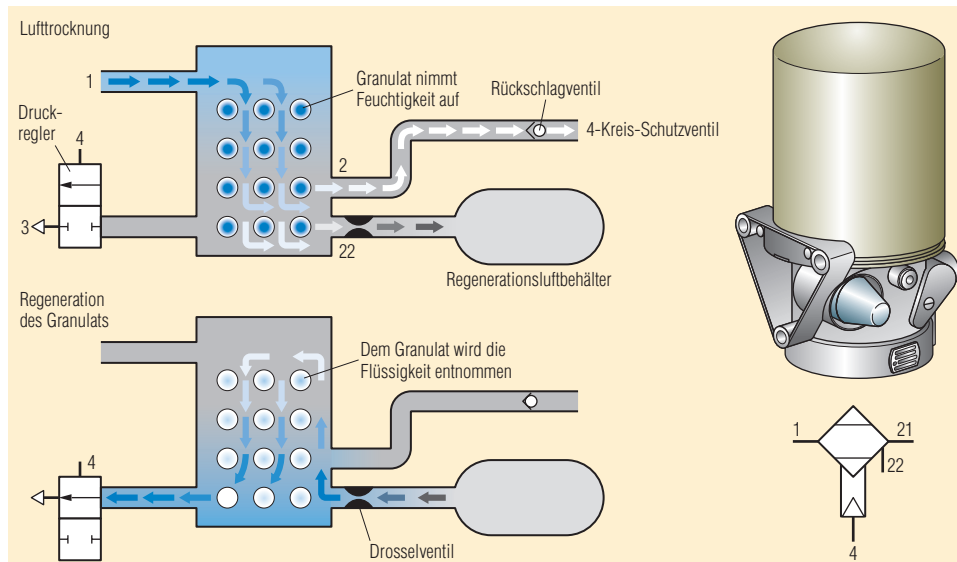


Bild 27.7 Lufttrocknungs- und Regenerationsvorgang beim Lufttrockner.

Der **Lufttrockner** mit Rückschlagventil und Regenerationsluftbehälter trocknet die komprimierte Luft (Bild 27.7).

Die Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre gelangt auch in die Druckluftbremsanlage. Dies könnte zu Korrosionsschäden führen. Zudem könnte das Kondensat im Winter gefrieren und dadurch die Funktion der Bremsanlage infrage stellen. Deshalb muss dem Druckregler ein Lufttrockner nachgeschaltet werden. Er reduziert die anfallende Wasserdampfmenge, indem die vom Kompressor geförderte Druckluft durch ein Granulat geleitet wird. Dieses nimmt die vorhandene Wasserdampfmenge auf und speichert sie.

Nach dem Trocknungsvorgang strömt ein Teil der Luft durch das Drosselventil zum Regenerationsluftbehälter und füllt diesen. Die restliche Luft strömt über das Rückschlagventil zum Vierkreis-Schutzventil. Die Regeneration (Austrocknung) des Granulates erfolgt durch Rückspülung. Sobald dem Druckregler am Steueranschluss das Erreichen des Abschaltdruckes gemeldet worden ist, geht die vom Kompressor erzeugte Druckluft ins Freie. Dieser Betriebszustand wird dem Lufttrockner über den Steueranschluss 4

mitgeteilt. Der Lufttrockner schaltet um. Druckluft aus dem Regenerationsluftbehälter strömt langsam durch die Drossel über das Granulat des Lufttrockners ins Freie. Die trockene Regenerationsluft kann die Oberflächenfeuchtigkeit aus dem Granulat wieder aufnehmen und nach außen transportieren. Gleichzeitig öffnet das Entwässerungsventil. Hierüber läuft das in Tropfen angesammelte Kondensat ebenfalls ins Freie ab. Der Regenerationsvorgang wird beendet, wenn der Regenerationsluftbehälter drucklos ist oder wenn der Druckregler vorzeitig auf Last geschaltet hat.

Es gibt Ein- oder Zweikammerlufttrockner, mit oder ohne Heizung. Zweikammerlufttrockner werden hauptsächlich bei Fahrzeugen mit hohem Luftverbrauch eingesetzt. Beheizte Trockner verbessern den Trocknungsgrad bei niedrigen Temperaturen. Dazu schaltet die Heizpatrone bei Außentemperaturen von weniger als ca. 6 °C ein. An der Stelle eines Lufttrockners findet sich in älteren Bremsanlagen auch eine Frostschutzpumpe (automatisch oder manuell betätigt). Diese setzt der Druckluft Industrialkohol als Frostschutzmittel bei. Der Gefrierpunkt des Kondenswassers wird dadurch gesenkt.

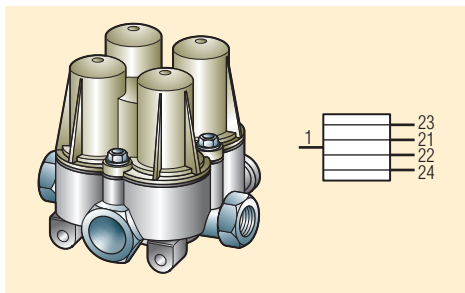


Bild 27.8 Vierkreis-Schutzventil.

Das **Vierkreis-Schutzventil** teilt die Druckluft in vier voneinander unabhängige Kreise auf (Bild 27.8). Geht z.B. durch Leitungsbruch in einem Kreis Druckluft verloren, muss es einen Mindestdruck in den noch intakten Kreisen sicherstellen und halten.

Der prinzipielle Aufbau eines Vierkreis-Schutzventils entspricht dem Zusammenschluss vier einzelner Überströmventile mit begrenzter Rückströmung. Diese sind in einem gemeinsamen Gehäuse zusammengefasst. Bei Erreichen eines Druckes von ca. 7 bar öffnen die vier Ventile der einzelnen Kreise.

Die Druckluftbehälter werden nun bis zu ihrem Abschaltdruck aufgefüllt. Sollte in einem Kreis ein größerer Druckverlust auftreten, so würde dort mehr Luft verloren gehen, als gleichzeitig vom Kompressor nachgefordert werden kann. Daraufhin fällt in allen Kreisen der Druck so lange ab, bis der Schließdruck am Überströmventil des defekten Kreises erreicht ist.

Danach fällt der Druck des defekten Kreises weiter ab. Der Druck in den intakten Kreisen wird nun durch den Kompressor wieder erhöht.

Die Bauart von Vierkreis-Schutzventilen wird durch die Konstruktion und Verbindung der Einzelventile bestimmt. Diese können in Reihen- und Parallelschaltung, mit oder ohne Bypass, in Membran- oder Kolbenausführung vorliegen.

Die **Druckluftbehälter** speichern die vom Kompressor erzeugte Druckluft (Bild 27.9). Über das Entwässerungsventil wird das angesammelte Kondensat manuell oder automatisch abgelassen.

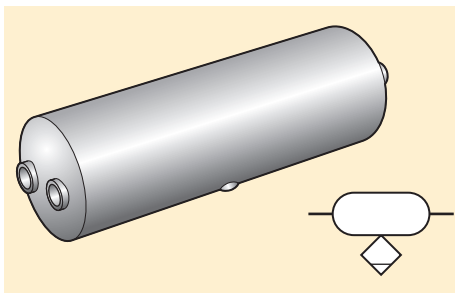


Bild 27.9 Druckluftbehälter mit Entwässerungsventil.

Das **Betriebsbremsventil (BBV)** übernimmt das feinfühliges Be- und Entlüften der Betriebsbremsanlage des Motorwagens. Über das Anhängersteuerventil spricht es auch die Anhängerbetriebsbremse an (Bild 27.10).

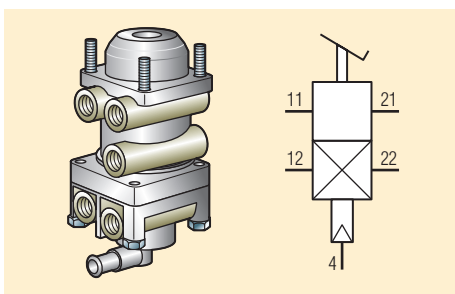


Bild 27.10 Betriebsbremsventil.

Das Betriebsbremsventil wird vom Fahrer über ein Bremspedal oder über eine Trittplatte betätigt. Es steuert den Bremsdruck und bestimmt somit die Bremskräfte am Fahrzeug. Im Gehäuse des Betriebsbremsventils befinden sich zwei Einzelventile, die über einen gemeinsamen Stößel betätigt werden. Dies ist die Voraussetzung für zwei unabhängige Bremskreise. Auch bei Ausfall eines Kreises kann der noch intakte Bremskreis dosiert betätigt werden. Beide Einzelventile bestehen im Wesentlichen aus je einem Ein- und Auslassventil und einem Kolben- und Federsystem, das zu ihrer Steuerung notwendig ist.

Lösestellung. An den Anschlüssen 11 und 12 liegt der Vorratsdruck an. Die beiden Einlassventile sind geschlossen, die Auslassventile geöffnet. Dabei werden die Anschlüsse 21 und 22 über den Anschluss 3 entlüftet. Der Steueranschluss 4 des ALB-Reglers ist drucklos, die Bremse ist frei.

Öffnungsdruck:
der zum Öffnen der Überstromventile notwendige Druck.

Schließdruck:
Druck, der zur automatischen Abschaltung des ausgefallenen Kreises führt (ca. 5,5 bar).

Bremsstellung. Der Fahrer leitet den Bremsvorgang ein. Diese Bewegung des Bremspedales, bzw. der Trittplatte wird auf einen Stößel übertragen. Bei seiner Abwärtsbewegung öffnet dieser das Einlassventil am Anschluss 11. Die Druckluft strömt durch das Ventil zum Anschluss 21, da das Auslassventil geöffnet ist. Die Höhe des eingeleiteten Druckes am Anschluss 21 ist vom Weg des Stößels und somit von der Fußkraft des Fahrers abhängig. Der Bremsdruck des Hinterachskreises wirkt aber auch auf eine Teilfläche des gestuften Vorderachs-Steuerkolbens. Die Restfläche des Kolbens wird mit dem anliegenden Druck am Steueranschluss 4 beaufschlagt. Seine Höhe wiederum hängt von der Stellung des ALB-Reglers ab. Aus dem Zusammenwirken beider Drücke ergibt sich die Höhe der Kolbenkraft auf den Steuerkolben. Sie bestimmt den Bremsdruck des Vorderachskreises. Unter dem Gesamtdruck bewegt sich der Kolben abwärts und öffnet dabei das Einlassventil am Anschluss 12.

Im Falle einer Vollbremsung liegt in beiden Betriebsbremskreisen der volle Vorratsdruck an. Bei Ausfall des HA-Bremskreises wird der Kolben des Vorderachskreises mechanisch betätigt.

Der **automatisch-lastabhängige Bremskraftregler (ALB)** regelt den Bremsdruck des Hinterachsbremskreises in Abhängigkeit vom Beladungszustand des Fahrzeuges (Bild 27.11).

Der ALB-Regler verhindert ein Überbremsen des Fahrzeuges im unbeladenen bzw. teilbeladenen Zustand, da er das Blockieren der Räder ausschließt. An seinem Steueranschluss 4 wirkt der Hinterachs-Bremsdruck des Betriebsbremsventils. Am Anschluss 1 liegt der Vorratsdruck an.

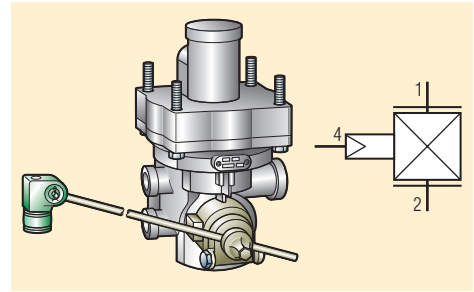


Bild 27.11 Automatisch-lastabhängiger Bremskraftregler.

Bei voll beladenem Fahrzeug bestimmt nur die Höhe des Steuerdruckes den abgehenden Bremsdruck. Befindet sich das Fahrzeug in teilbeladenem, bzw. leerem Zustand, reduziert der ALB-Regler den Bremsdruck entsprechend. Es wirkt nur ein Teil des eingesteuerten Bremsdruckes in den Bremszylindern. In neueren ALB-Reglern ist der Bremskraftregler zusammen mit einem Relaisventil zu einer kompakten Baueinheit vereint. Das Ventil sorgt für ein schnelles Be- und Entlüften der Bremse. Bremskraftregler können nach der Art ihrer Ansteuerung unterschieden werden. Diese ist abhängig von der Ausführung der Fahrzeugfederung (Tabelle 27.3).

Bezüglich des Regelverhaltens kann man statische und dynamische Regler unterscheiden. Statische Regler verändern den Bremsdruck, nachdem dieser ausgesteuert ist, während des Bremsvorganges nicht. Dabei werden wechselnde Einflüsse, z.B. Fahrbahnebenheiten, nicht berücksichtigt. Dynamische Regler dagegen verändern in diesen Situationen den Bremsdruck.

Ansteuerung des Bremskraftreglers		
	Mechanisch	Pneumatisch
Ausführung der Fahrzeugfederung	Stahlfederung	Luftfederung
Erfassung des Beladungszustandes	Abstand zwischen Rahmen und Achse ist das Maß der Druckregelung. Veränderungen werden von einem Gestänge erfasst und auf eine Kurvenscheibe übertragen. Diese ist Bauteil des Reglers.	Unabhängig vom Beladungszustand ändert sich bei einer pneumatischen Federung der Abstand zwischen Rahmen und Achse nicht. Daher dient der Druck in den Faltenbälgen als Information für den Regler.
Tabelle 27.3	Ansteuerung des Bremskraftreglers in Abhängigkeit von der Fahrzeugfederung.	

Die **Membranzylinder** erzeugen in Verbindung mit den mechanischen Bremsen die erforderlichen Bremskräfte (Bild 27.12).

Membranzylinder werden an der Vorderachse eingebaut. Während des Fahrens ist der Membranzylinder drucklos, wodurch die Radbremse gelöst ist. Bei Betätigung der Betriebsbremse wird der Bremszylinder mit Druckluft gefüllt. Die Membrane und der mit ihr verbundene Kolben bewegen sich. Die Kolbenstange fährt aus und betätigt die mechanische Radbremse. Der Ausfahrlauf wird durch die Einstellung der Radbremse begrenzt. Die Bremskraft ist vom eingeleiteten Druck abhängig. Bedingt durch den geringen Membranhub müssen die Radbremsen häufig nachgestellt werden. Es empfiehlt sich die Verwendung von automatischen Gestängestellern. Die Bremszylinder älterer Fahrzeuge sind oftmals noch mit Kolbenzylindern ausgestattet. Ihre Funktion ist mit derjenigen der Membranzylinder vergleichbar. Die innere Reibung bei der Bewegung des Kolbens ist jedoch wesentlich höher. Dies hat eine geringere Verschleißfestigkeit zur Folge. Damit ist ein höherer Wartungsaufwand verbunden.

Die **Kombibremsszylinder** vereinen Betriebsbremse, Feststellbremse und Hilfsbremse in einem Bauteil (Bild 27.13). Sie erzeugen für alle Teilbremssysteme die notwendigen Bremskräfte.

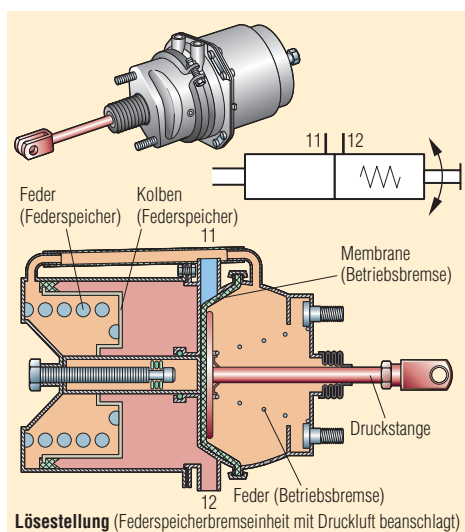


Bild 27.13 Kombibremsszylinder.

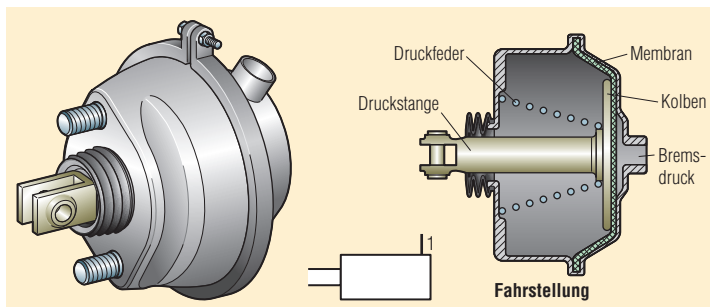


Bild 27.12 Membranzylinder.

Fahrtstellung. Am Anschluss 12 steht der Vorratsdruck an. Dieser wirkt über den Kolben auf die Druckfeder der Feststellbremse. Die Feder wird gespannt. Durch die Verbindung der Kolbenstange mit dem Kolben wird diese zurückgezogen. Der Anschluss 11 des Betriebsbremszylinders ist entlüftet. Die Membrane der Betriebsbremse wird durch die zugehörige Druckfeder zurückgedrückt. Die Bremse ist frei.

Abbremsung durch die Betriebsbremsanlage. Der Anschluss 11 wird belüftet. Der auf die Membrane wirkende Druck verschiebt diese. Hierdurch fährt die Kolbenstange aus. Sie betätigt über den Bremshebel die Radbremse. Die Bauteile der Feststellbremse werden nicht bewegt.

Sichern des Fahrzeugs durch die Feststellbremse. Durch Betätigung des Feststellbremsventils wird der Anschluss 12 entlüftet. Die Federkraft kann jetzt den Kolben der Feststellbremse verschieben. Die Kolbenstange fährt aus und betätigt die Radbremse.

Abbremsung durch die Hilfsbremsanlage. Das Auslösen der Hilfsbremse entspricht dem Vorgang bei der Betätigung der Feststellbremse. Der Fahrer muss den Federspeicher der Feststellbremse feinfühlig entlüften. So lässt sich eine Vollbremsung vermeiden.

Damit bei fehlender Druckluft das Fahrzeug abgeschleppt werden kann, besitzt die Federspeicherbremse des Kombizylinders eine mechanische Lösevorrichtung.

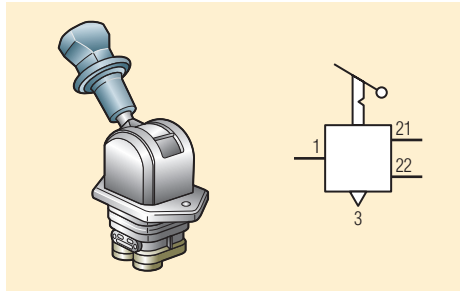


Bild 27.14 Hilfs- und Feststellbremsventil.

Das **Hilfs- und Feststellbremsventil** ermöglicht ein feinfühliges Betätigen der Feststell- und Hilfsbremse (Bild 27.14).

Am Anschluss 1 liegt Druckluft unter Vorratsdruck an. In Fahrtstellung strömt diese zu den Anschlüssen 21 (Relaisventil) und 22 (Anhängersteuerventil). Die Betätigung des Handhebels leitet die Hilfs- und Feststellbremsung ein. Dabei werden die Anschlüsse 21 und 22 abgestuft entlüftet. Zum dauerhaften Einlegen der Feststellbremse wird der Handhebel über einen Druckpunkt hinaus weitergedreht. Er erreicht dann seine Raststellung. Die Feststellbremse des Zugfahrzeugs und die Betriebsbremsanlage des Anhängers sind mit voller Kraft betätigt.

Die EU-Richtlinien fordern, dass die Feststellbremse des Zugfahrzeuges einen ganzen Zug (Zugfahrzeug und Anhänger) sicher halten kann. Im Rahmen einer durchgeführten Überprüfung sind nachfolgende Voraussetzungen zu beachten:

- Der Zug muss bis zu seinem zulässigen Gesamtgewicht beladen sein.
- Die Fahrbahn muss eine Steigung/Gefälle von 12 % aufweisen.
- Die Betriebsbremsanlage des Anhängers muss gelöst sein.

Um die Abbremsung des Anhängers aufzuheben besitzt das Hilfs- und Feststellbremsventil eine Kontrollstellung. Dazu muss der Handbremshebel über die Raststellung hinaus weitergedreht werden. Jetzt strömt die Druckluft nur vom Anschluss 1 zum Anschluss 22.

Das **Relaisventil mit Überlastungsschutz** verkürzt die Ansprechdauer eines Bremsvorganges durch schnelles Be- und Entlüften der Bremszylinder (Bild 27.15). Der Überlastungsschutz verhindert bei gleichzeitiger Betätigung der

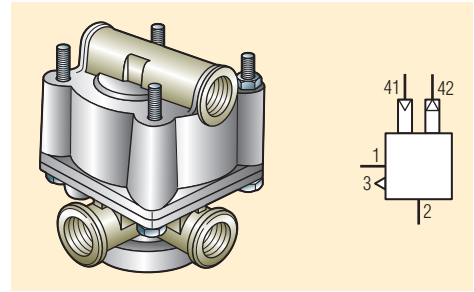


Bild 27.15 Relaisventil mit Überlastungsschutz.

Betriebs- und Feststellbremse eine Addition der Bremskräfte und somit einen möglichen Defekt an den Bauteilen der Hinterachsbremse.

Das **Anhängersteuerventil** steuert die Anhängerbremsanlage. Dies gilt für die Betriebs-, Feststell- und Hilfsbremsanlage. Es tritt nur bei angekuppelter Anhängerbremse in Funktion.

Lösestellung. Die Druckluft aus dem Kreis III strömt durch das Ventil zur Kupplung „Vorrat“ und verteilt sich dort auf zwei Kreise. Der erste Kreis (Vorratskreis des Anhängers) führt über das Filter zum Anschluss 1 des Anhängerbremsventils und sorgt für das kontinuierliche Befüllen des Vorrat-Luftbehälters. Der zweite Kreis führt die Druckluft zurück zum Anschluss 12 des Anhängersteuerventils. Bei unbetätigter Bremse (Anschlüsse 41 und 42 entlüftet, 43 belüftet) bleibt der Anschluss 22 drucklos. Die Bremsleitung zum Anhänger ist entlüftet, am Steueranschluss 4 des Anhängerbremsventils liegt keine Druckluft an, die Anhängerbremse ist frei.

Betätigung der Betriebsbremse. Ein eingeleiteter Bremsvorgang sorgt für dosiertes Belüften der Anschlüsse 41 und 42 des Anhängersteuerventils. Vorratsluft strömt vom Anschluss 12 über den Anschluss 22 in die Bremsleitung des Anhängers. Die Höhe des Druckes wird vom anstehenden Druck an den Anschlüssen 41/42 bestimmt. Am Anschluss 4 des Anhängerbremsventils baut sich der Steuerdruck auf.

Betätigung der Feststellbremse/Hilfsbremse des Zugfahrzeugs. Der Anschluss 43 des Anhängersteuerventils wird entlüftet. Die Druckluft (Anschluss 12) wird durch das Ventil dosiert zum Steueranschluss des Anhängerbremsventils geleitet (Bild 27.16). Dieses leitet die angepasste Abbremsung des Anhängers ein.

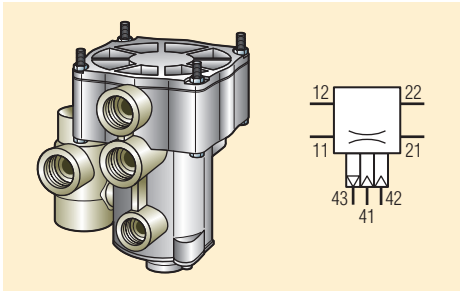


Bild 27.16 Anhängersteuerventil.

Die **Kupplungsköpfe** verbinden die Brems- und Vorratsleitung zwischen Zugfahrzeug und Anhänger sicher.

Die beiden Kupplungsköpfe des Zugfahrzeugs sind mit einem automatischen Schließglied ausgestattet (Bild 27.17). Es verhindert das Ausströmen von Druckluft bei abgekuppeltem Anhänger. Beim Ankuppeln drücken die Dichterringe in den Kupplungsköpfen des Anhängers die Schließglieder auf und halten den Durchgang geöffnet. Zudem dichten sie die Verbindung ab. Um ein Vertauschen der Kupplungsköpfe zu ver-

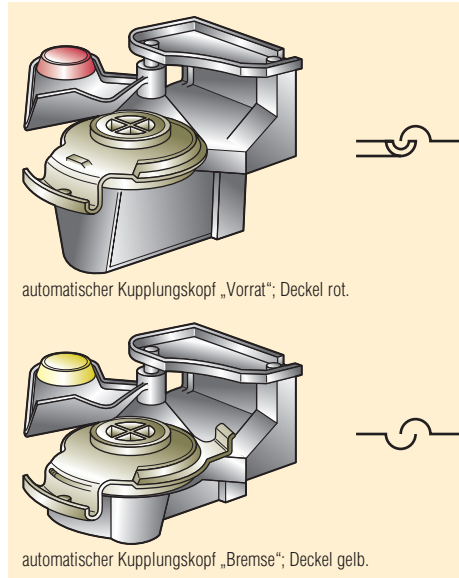


Bild 27.17 Kupplungsköpfe „Vorrat“ und „Bremse“.

hindern, werden sie durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet und außerdem unterschiedlich ausgeführt.

Vorratsluft: rot
Bremsluft: gelb

27.4.2 Anhängerfahrzeug: Übersicht und Funktion der zum Bremssystem gehörenden Bauteile

Die Bremsanlage des Anhängers ist als eine Zweileitungs-Bremsanlage ausgeführt (Bild 27.18). Eine Leitung versorgt den Anhänger mit einem Vorrat an Druckluft, die andere sorgt für die Steuerung der Anhängerbremse.

Das **Anhängerbremseventil mit Löseventil** bremst den Anhänger dosiert. Die Information über die gewünschte Höhe des Bremsdruckes bezieht das Ventil aus dem anliegenden Steuerdruck. In Abhängigkeit davon strömt die benötigte Druckluft aus dem Luftbehälter zu den ALB-Reglern beider Achsen. Diese ermitteln aus der vorliegenden Achslast den Bremsdruck in den Radbremsen. Die Betätigung des Löseventils ermöglicht ein Rangieren des abgekuppelten Anhängers (Bild 27.19, S. 470).

Abriss der Vorratsleitung. Die Vorratsleitung wird entlüftet, der Anschluss 1 des Anhängerbremseventils dadurch langsam drucklos. Bei Unterschreitung eines Mindestdruckes löst das Ventil selbstständig eine Vollbremsung aus. Damit der Anhänger später noch bewegt werden kann, muss das Löseventil am Anhängerbremse-

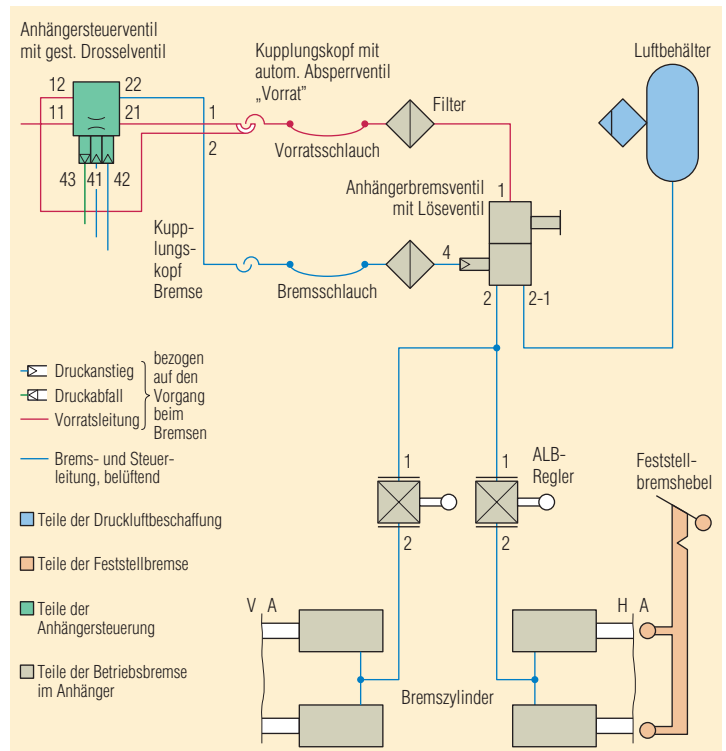


Bild 27.18 Aufbau der Anhängerbremsanlage.

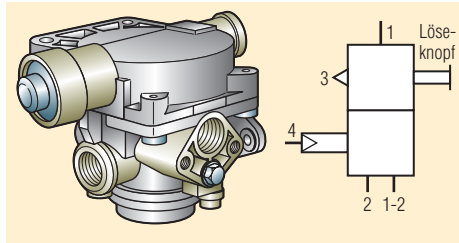


Bild 27.19 Anhängerbremseventil mit Löseventil.

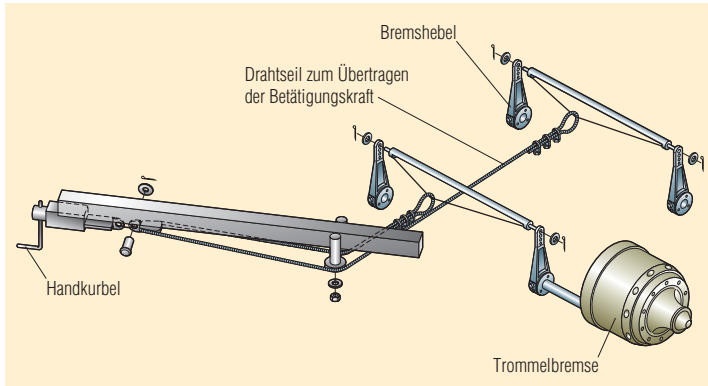


Bild 27.20 Aufbau einer mechanischen Feststellbremse am Anhänger.

ventil betätigt werden. Dabei wird der Weg für die anstehende Druckluft aus dem Vorratsbehälter unterbrochen. Gleichzeitig wird die Bremse entlüftet.

Abriss der Bremsleitung. Erst bei Betätigung der Motorwagenbremse wird eine Vollbremsung des Anhängers ausgelöst. Über die defekte Bremsleitung entweichen schlagartig große Mengen an Druckluft. Dieser Druckabfall wirkt zurück bis zum Kupplungskopf „Vorrat“. Der fehlende Druck am Anschluss 12 des Anhängersteuerventils bedingt eine Verschiebung des schwimmend gelagerten Drosselventils. Der Weg für die Vorratsluft vom Anschluss 11→12 wird abgesperrt (Bild 27.13, S. 467). Die Entleerung der Vorratsleitung wird beschleunigt. Der Druckabfall am Anhängerbremsventil löst die Vollbremsung des Anhängers aus.

Die **Feststellbremse** muss den beladenen Anhänger auf einer Steigung/Gefälle von 18 % sicher festhalten (Bild 27.20).

Die Betätigung der Bremse erfolgt meist noch über eine Handkurbel. Neuere Anhänger dagegen besitzen bereits eine Federspeicherbremse als Feststellbremse. Dies macht den Einbau von Kombibremsszylindern erforderlich. Die Betätigung der Bremse erfolgt in diesen Fällen über einen Absperrhahn, welcher über einen Handhebel betätigt wird. Über eine Drosselbohrung im Absperrhahn entweicht langsam die Druckluft aus dem Federspeicher.

27.5 Ausführung der Radbremsen bei Druckluftbremsanlagen

Die Radbremsen erzeugen die Spannkraft an den Reibbelägen. Dazu setzen sie die anliegenden pneumatischen bzw. mechanischen Kräfte um. Früher setzte man bei Nutzfahrzeugen ausschließlich Trommelbremsen ein. Sie werden heute vielfach, vor allem an den Vorderachsen, durch Scheibenbremsen ersetzt.

Trommelbremsen. Meist werden Simplexbremsen eingebaut, die durch S-Nocken oder einen Spreizkeil betätigt werden (Bild 27.21). Vorteil des S-förmig gestalteten Nockens ist das gleichmäßige Übersetzungsverhältnis bei allen Spreizungen. Die Betätigungskraft wirkt immer senkrecht auf die an den Bremsbacken angebrachten Rollen.

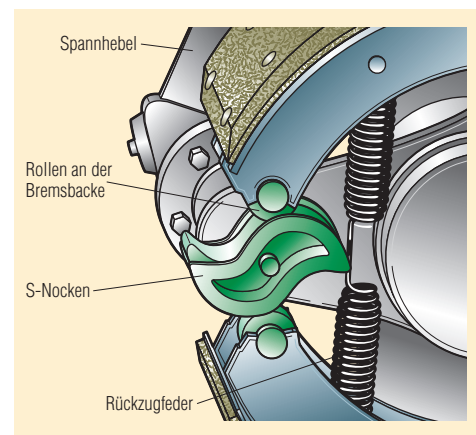


Bild 27.21 Simplexbremse mit S-Nocken.

Bei der Spreizkeilbremse wird die Druckstange pneumatisch verschoben (Bild 27.22). An ihrem Ende befindet sich ein Spreizkeil, der die Kraft auf zwei angeschrägte Kolben im Radzylinder überträgt. In den Kolben des Radzylinders sind die Bremsbacken gelagert. In diese Baueinheit ist eine automatische Nachstelleinrichtung integriert. Sie gleicht den Belagverschleiß aus.

Das Material der Bremstrommel ist Grauguss. Die Bremsbeläge bestehen aus wärmebeständigen Werkstoffen. Meist ist zur besseren Wärmeableitung ein Metallgeflecht eingebunden.

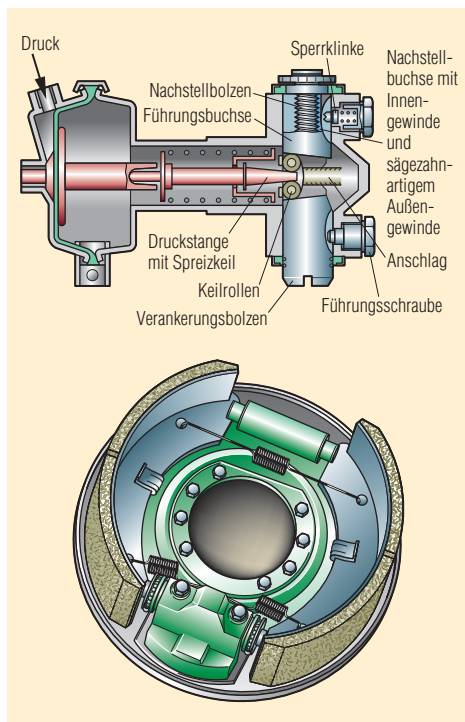


Bild 27.22 Simplexbremse mit Spreizkeil.

Scheibenbremse (Bild 27.23). Sie wird immer häufiger in Nutzfahrzeuge eingebaut, weil sie gegenüber der Trommelbremse viele Vorteile besitzt:

- sehr gute Stufbarkeit,
- geringes Bremsfading,
- geringer Arbeitsaufwand beim Belagwechsel,
- gute Wärmeableitung.

Eine Übersicht über verschiedene Ausführungen von Scheibenbremsen enthält Tabelle 27.4 auf Seite 472.

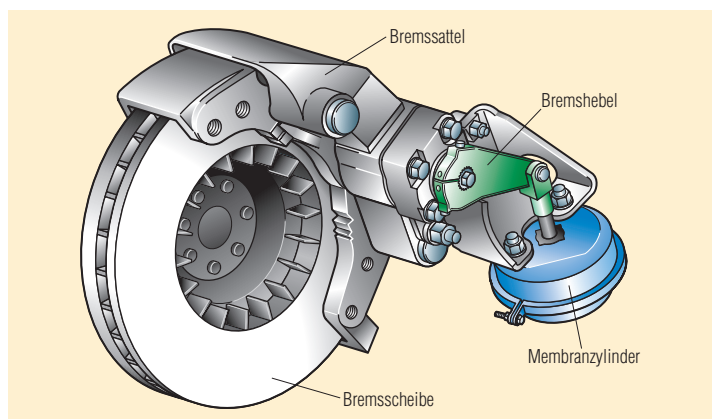
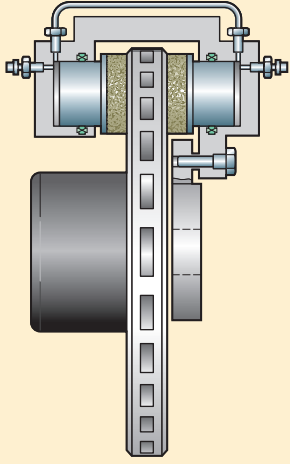
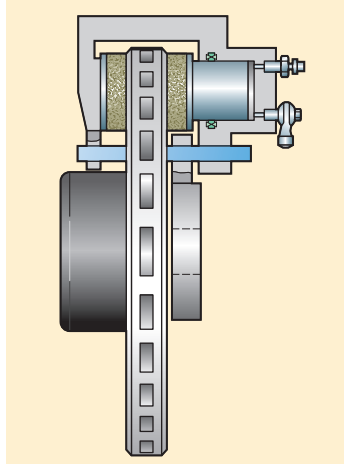
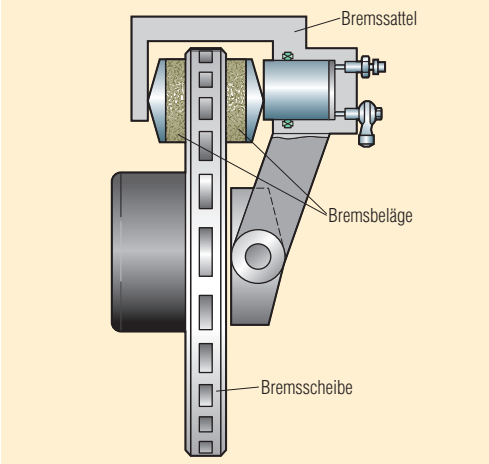


Bild 27.23 Druckluftbetätigte Scheibenbremse.

Arbeitsaufträge

1. Beschreiben Sie die Funktion der Zweikreis-Zweileitungs-Druckluftbremsanlage des Motorfahrzeuges.
2. Am Motorwagen wird die Hinterachse im „Teilbremsbereich“ ständig überbremst. Beschreiben Sie die Ursache für diese Störung.
3. Der Anschluss 11 am Betriebsbremsventil hat sich gelöst. Es treten große Mengen an Druckluft aus. Wie wird dem Fahrer die Störung angezeigt? Beschreiben Sie, wie das Motorfahrzeug trotz des vorliegenden Defektes sicher abgebremst werden kann.
4. Beschreiben Sie die Aufgabe des Rückschlagventils im Kreis III.
5. Beschreiben Sie die Funktion der Anhängerbremsanlage.
6. Der Bremsschlauch zum Anhänger ist abgerissen. Erklären Sie, wie es dennoch zu einer Abbremsung des Anhängers kommt.

Festsattel-	Schwimmsattel-	Pendelsattel-
Scheibenbremse		
<ul style="list-style-type: none"> • Bremsattel nicht beweglich. • Bremszylinder zu beiden Seiten der Scheibe angeordnet. • Geringes Lüftspiel stellt sich automatisch ein. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ein oder zwei einseitig angeordnete hydraulische Zylinder drücken den Belag gegen die Scheibe. Der andere Belag wird durch die Reaktionskraft auf den axial verschiebbaren Sattel gegen die Scheibe gedrückt. • Bremsattel kann radseitig kleiner dimensioniert sein. • Geringes Lüftspiel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Pendelsattel ist um einen Lagerbolzen drehbar gelagert. Der Bremszylinder wird einseitig betätigt. Durch die Art der Lagerung wird dann auch der andere Bremsbelag gegen die Scheibe gedrückt. • Geringer Platzbedarf für die Bremsanlage. • Speziell ausgeformte Bremsbeläge bzw. Bremsbelagträger sind notwendig, um bei der Schwenkbewegung des Sattels ein planes Anliegen der Beläge an der Scheibe zu ermöglichen.
		
Tabelle 27.4	Ausführungen von Scheibenbremsen.	

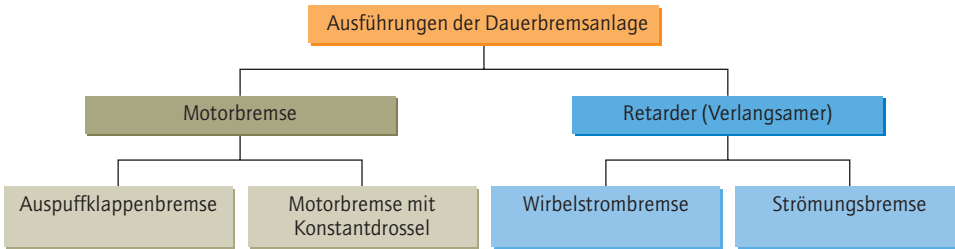
28 Dauerbremsanlage

Die Dauerbremsanlage dient der anhaltenden Verringerung der Fahrgeschwindigkeit, z. B. bei längeren Talfahrten. Sie arbeitet nahezu verschleißfrei und soll unter bestimmten Einsatzbedingungen die Beanspruchung der Betriebsbremse verringern. Hieraus ergeben sich folgende Vorteile für die Betriebsbremse:

- geringerer Verschleiß,
- abnehmende Gefahr der Überhitzung,
- geringeres Risiko einsetzenden Bremsfadings.

Dauerbremsanlagen können das Fahrzeug nicht bis zum Stillstand abbremsen. Sie arbeiten nur, solange das Fahrzeug in Bewegung ist.

„Dauerbremsanlagen müssen mindestens eine Leistung aufweisen, die der Beanspruchung beim Befahren eines Gefälles von 7 % und einer Länge von 6 km durch das voll beladene Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h entspricht“ (§ 41, StVZO).



28.1 Auspuffklappenbremse [Staudruckbremse]

Durch einen im Auspuffsystem erzeugten Staudruck wird der Motor abgebremst (Bild 28.1). Der Fahrer betätigt dazu über einen Fußschalter das Schaltventil, wodurch die anstehende Druckluft zum Betätigungszyylinder strömt und diesen aus-

fahren lässt. Hierdurch wird über ein Gestänge die Auspuffdrosselklappe geschlossen. Im Abgassystem wird ein Staudruck erzeugt, gegen den jeder Kolben im Ausstoßtakt arbeiten muss. Dabei entsteht ein Bremsmoment, das über den

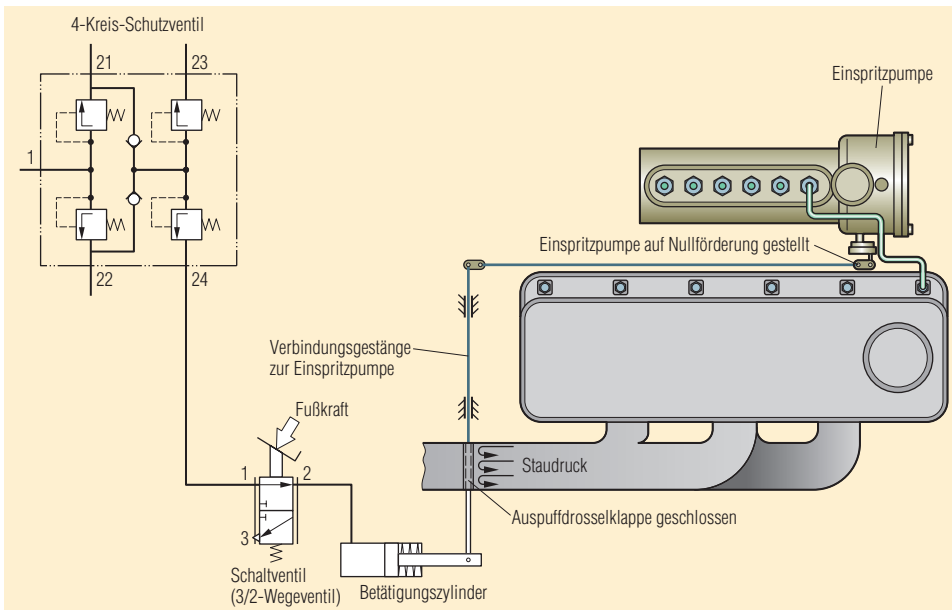


Bild 28.1 Funktionsprinzip der Auspuffklappenbremse.

Antriebsstrang auf die Räder übertragen wird. Die Geschwindigkeit des Fahrzeuges nimmt ab. Gleichzeitig wird über ein weiteres Gestänge die Einspritzpumpe auf Nullförderung gestellt.

Beim Loslassen des Schaltventils wird der Zylinder über den Anschluss 3 entlüftet und die Feder drückt den Betätigungskolben in seine Ausgangsposition zurück.

Vorteile der Auspuffklappenbremse:

- preiswerte, einfache und wartungsarme Ausführung der Dauerbremsanlage.

Nachteile:

- Leistung der Motorbremse ist stark von der Motordrehzahl abhängig,
- längere Betätigung der Bremse kühlt den Motor stark ab, der Motorverschleiß nimmt zu,
- starker Gegendruck im Auspuffsystem kann zu Schäden im Ventiltrieb führen,
- hohe Geräuschentwicklung während des Bremsvorganges.

Wegen der erheblichen Nachteile wird die Auspuffklappenbremse oft nur noch in Verbindung mit Bremsverlangsamern (Retardern) eingesetzt.

28.2 Motorbremse mit Konstantdrossel

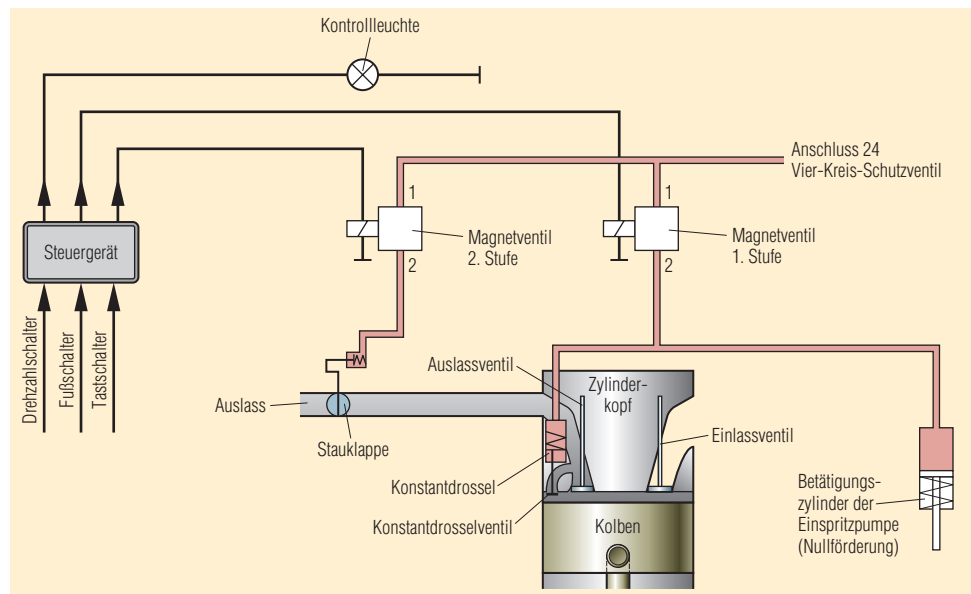


Bild 28.2 Funktionsprinzip der Motorbremse mit Konstantdrossel.

Die Motorbremse mit Konstantdrossel ist eine Weiterentwicklung der Auspuffklappenbremse (Bild 28.2). Im Vergleich zur Auspuffklappenbremse wird bei dieser Ausführung jeder Zylinder

zusätzlich mit einem pneumatisch betätigtem Auslassventil (Konstantdrossel) bestückt. Die erforderliche Bremswirkung wird über eine Zwei-Stufen-Schaltung geregelt (Bild 28.3).

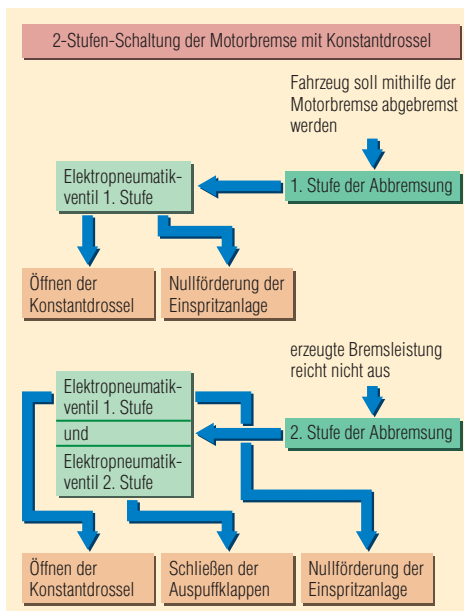


Bild 28.3 Geschaltete Bauteile in beiden Stufen der Motorbremse mit Konstantdrossel.

1. Stufe: Konstantdrosselventil geöffnet. Im Verdichtungstakt ist der Kolben auf seinem Weg vom unteren zum oberen Totpunkt. Trotz der geöffneten Konstantdrossel muss der Kolben noch so viel Kompressionsarbeit leisten, dass hierdurch der Motor wirkungsvoll abgebremst wird. Im oberen Totpunktbereich („Kolbenstillstand“)

jedoch entweicht ein großer Teil der verdichteten Luft durch das Konstantdrosselventil in den Auspuff. Der Druck im Zylinder wird stark abgebaut. Bei der anschließenden Abwärtsbewegung des Kolbens dehnt sich die zuvor verdichtete Luft wieder aus und drückt auf seine Oberfläche. Der geringe Verdichtungsdruck kann die Bewegung jedoch nur unmerklich unterstützen. Wird eine stärkere Bremswirkung der Dauerbremsanlage erforderlich, schaltet sich die 2. Stufe zu.

2. Stufe: Konstantdrosselventil geöffnet und Auspuffklappenbremse geschlossen. Neben der Ausnutzung der Kompressionsarbeit während des Verdichtungstaktes unterstützt zusätzlich die Ausstoßarbeit der Kolben im 4. Takt die Bremsleistung des Motors. Ein unerwünschtes Öffnen der Ventile durch den Gegendruck im Auspuffrohr wird durch die geöffneten Konstantdrosseln verhindert.

Vorteile der Motorbremse mit Konstantdrossel im Vergleich zur Auspuffklappenbremse:

- deutlich geringere Geräuscentwicklung in der 1. Stufe,
- Schäden im Ventiltrieb ausgeschlossen,
- erhöhte Bremsleistung des Motors durch Kombination beider Systeme,
- bessere Anpassung an den Bremsleistungsbedarf möglich.

28.3 Wirbelstrombremse (elektrodynamischer Retarder)

In der Wirbelstrombremse werden elektromagnetische Felder erzeugt, mit deren Hilfe das Fahrzeug abgebremst werden kann (Bild 28.4). Die Bremsanlage kann entweder direkt am Getriebegehäuse oder im Gelenkwellenstrang eingebaut werden. Aus Stabilitätsgründen muss der Retarder im zweiten Fall zusätzlich am Fahrzeugrahmen befestigt werden.

Die Wirbelstrombremse besteht aus einem Stator (Spulenträger) und einem zweiteiligen Rotor mit außen liegenden Turbinenschaufeln. Der Stator steht fest, er ist mit dem Getriebegehäuse bzw. dem Fahrzeugrahmen verbunden. Er besteht aus bis zu acht Induktionsspulen (Elektromagneten), die kreisförmig angeordnet sind. Jeweils zwei gegenüberliegende Spulen sind elektrisch miteinander gekoppelt. Der Rotor ist mit dem

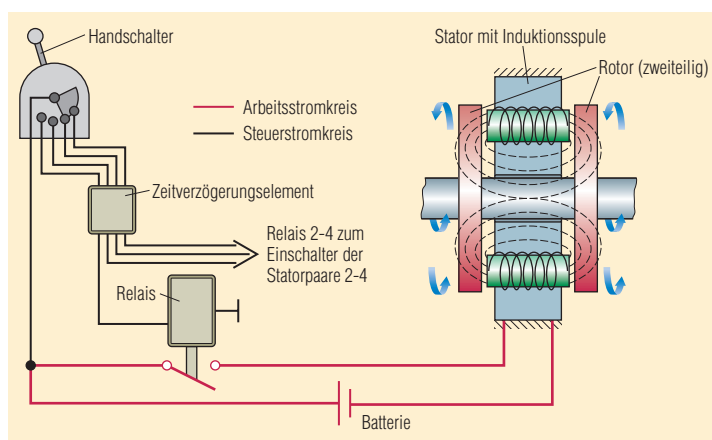


Bild 28.4 Wirkungsprinzip des elektrodynamischen Retarders.

Antriebsstrang verbunden, wobei eine Rotor-scheibe getriebeseitig und die andere Scheibe achsseitig in kleinem Abstand vor dem Stator vorbeidrehen.

Beim Einschalten des Retarders fließt ein elektrischer Strom durch die mit dem Stromkreis verbundenen Spulen. Diese erzeugen ein Magnetfeld, das von den drehenden Rotorscheiben geschnitten wird. Im Rotor werden Wirbelströme induziert, die der Rotordrehrichtung entgegenwirken. Dadurch wird das Fahrzeug abgebremst und die Bewegungsenergie wird in Wärme umgewandelt.

Die Rotorscheiben sind mit Turbinenschaufeln bestückt, die die entstehende Wärme an die Umgebungsluft abführen. Im Bedarfsfall kann

der Fahrer bis zu vier Statorpaare einschalten und somit die Bremswirkung stufenweise verändern. Ein Zeitverzögerungselement verhindert schlagartiges Abbremsen.

Vorteile der Wirbelstrombremse:

- verschleiß- und wartungsfrei,
- Wirkung von der Drehzahl des Motors unabhängig,
- fein abstufbar (1 bis 4 Stufen),
- große Bremsleistung auch bei geringer Fahrgeschwindigkeit,
- geringe Geräuscentwicklung.

Nachteile:

- hohes Gewicht,
- hoher Stromverbrauch bis zu 100 A,
- hohe Leistungsaufnahme bis zu 2500 W.

28.4 Strömungsbremse (hydrodynamischer Retarder)

Die Strömungsenergie des Öles wird zum Abbremsen des Fahrzeuges benutzt (Bild 28.5).

Wesentliche Bauteile sind das Turbinenrad (Stator) und das Pumpenrad (Rotor). Beide Räder sind mit Schaufeln besetzt, die sich in einem gemeinsamen Strömungsraum drehen. Der Rotor ist mit der Antriebswelle verbunden, der Stator über das Retardergehäuse am Getriebe bzw. Rahmen befestigt. Bei Betätigung der Bremse wird über

Druckluft das Hydrauliköl in den Schaufelraum geleitet. Der Rotor nimmt das Öl mit und drückt es gegen die Statorschaufeln. Der dabei entstehende Strömungswiderstand wirkt der Drehbewegung des Rotors entgegen. Das Öl erwärmt sich, Bewegungsenergie wird in Wärmeenergie überführt. Deshalb muss jeweils ein Teil des Öles durch einen Wärmetauscher gepumpt werden. Dort erfolgt die Abkühlung durch das Kühlsystem des Motors.

Der Retarder wird in der Regel über einen Handhebel betätigt. Die Stellung des Hebels wirkt auf ein Steuerventil, das den Druck des einströmenden Öles reguliert. Somit kann das zu erzeugende Bremsmoment den Erfordernissen angepasst werden. Bis zu 6 Abstufungen sind möglich.

Vorteile:

- geringes Gewicht,
- Anpassung des Bremsmomentes,
- weiches Ansprechen der Bremse,
- verschleißfrei,
- geringe Geräuscentwicklung.

Nachteil:

- zusätzlicher Aufwand für die Kühlung notwendig.

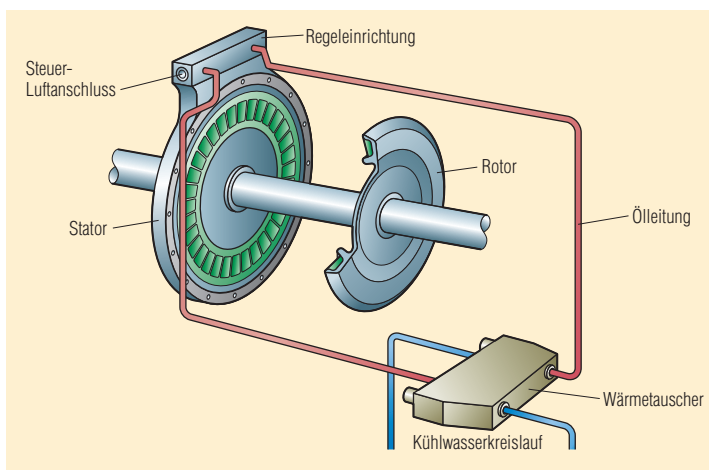


Bild 28.5 Funktionsprinzip des hydrodynamischen Retarders.

28.5 Werkstattpraxis

- Prüfen der Auspuffklappenbremse auf Funktion und Dichtheit. Der Arbeitszylinder ist bei Entlüftung auf störungsfreies Einfahren zu untersuchen.
- Prüfen beider Stufen der Motorbremse mit Konstantdrossel auf Funktion und Dichtheit.
- Regelmäßige Sicht- und Funktionsprüfung der Wirbelstrom- und Strömungsbremse.

Arbeitsaufträge

1. Informieren Sie sich über die gültigen gesetzlichen Bestimmungen zur Dauerbremsanlage (Tabellenbuch, Internet, ...).
2. Erklären Sie die gesetzliche Leistungsanforderung an die Dauerbremsanlage.
3. Erklären Sie, warum die Leistung der Auspuffklappenbremse sehr stark von der Motordrehzahl abhängig ist.
4. In welcher Form kann bei der Auspuffklappenbremse der Ventiltrieb bei zu starkem Gegen-
druck im Auspuffsystem Schaden nehmen?
5. Die Motorbremse mit Konstantdrossel wird auch als Dekompressionsmotorbremse bezeichnet. Erklären Sie diesen Sachverhalt.
6. Der Rotor der Wirbelstrombremse besteht aus einer weichmagnetischen Eisenscheibe. Begründen Sie die Materialauswahl.
7. Die Spulen erzeugen Magnetfelder, die im Rotor Wirbelströme induzieren. Erklären Sie den Sachverhalt der Induktion und die Entstehung elektromagnetischer Felder.
8. Erklären Sie die Wirkungsweise der Strömungsbremse.
9. Verdeutlichen Sie, warum durch die Erhöhung des Öldruckes bei der Strömungsbremse auch eine Erhöhung der Bremswirkung erzielt wird.

**Lösungshinweis
zu 7.:** s. Kap. 3.3.1
und 3.4.1

29 Gesetzliche Bestimmungen

29.1 Geltungsbereiche

Für Bremsanlagen von Kraftfahrzeugen, die in der Bundesrepublik Deutschland zugelassen werden, gelten strenge Bau-, Prüf- und Wartungsvorschriften. Dabei handelt es sich sowohl um nationale als auch um europäische Vorschriften. Die wichtigsten Regelungen beschreiben:

- die Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO, § 29, § 41, § 42),
- die Richtlinien des Rates der Europäischen Union (RREG 71 / 320 EWG),
- die Regelungen der europäischen Wirtschaftskommission (ECE-R 13),
- DIN-Normen (z. B. DIN 74 234, Ausführungen von Bremsrohren),
- die Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrzeugunternehmen im Personenverkehr (BOKraft).

29.2 Klasseneinteilung der Kraftfahrzeuge

Alle am Straßenverkehr teilnehmenden Kraftfahrzeuge sind in Fahrzeugklassen aufgeteilt (Tabelle 29.1).

Klasse L: Krafträder, Dreiräder	Unterteilung in die Klassen: L1 bis L4	
Klasse M: Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als 1 t zulässigem Gesamtgewicht	M1	bis 8 Fahrgastplätze (+ 1 Fahrerplatz)
	M2	mehr als 8 Fahrgastplätze (+ 1 Fahrerplatz), bis 5 t zulässigem Gesamtgewicht
	M3	mehr als 8 Fahrgastplätze (+ 1 Fahrerplatz), über 5 t zulässigem Gesamtgewicht
Klasse N: Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit mehr als 1 t zulässigem Gesamtgewicht	N1	bis 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht
	N2	über 3,5 t bis 12 t zulässigem Gesamtgewicht
	N3	über 12 t zulässigem Gesamtgewicht
Klasse O: Anhänger/Sattelanhänger	Unterteilung in die Klassen: O1 bis O4	
Tabelle 29.1	Klasseneinteilung der Kraftfahrzeuge (Auszug).	

29.3 Vorschriften für die Auslegung der Bremsen

Die Straßenverkehrszulassungsordnung schreibt für die einzelnen Fahrzeugklassen Mindestwerte für die Abbremsung vor (Tabelle 29.2). Abhängig vom Jahr der Erstzulassung des Fahrzeuges gelten zum Teil abweichende Werte. Dabei darf eine maximale Betätigungskraft an der Brems-einrichtung nicht überschritten werden. Eine regelmäßige Überprüfung der Werte erfolgt auf einem Bremsprüfstand (Bild 29.1, S. 481).

Die Mindestabbremsung z ist das prozentuale Verhältnis der „Gesamtbremskraft zur statischen Fahrzeuggewichtskraft“:

$$z = \frac{F_B \cdot 100}{F_G}$$

F_B = Summe der Bremskräfte an allen Rädern
in N

F_G = Gesamtgewichtskraft in N

Fahrzeugklasse	Mindestabbremsung z in %		max. Betätigungskraft in N	
	Betriebsbremsanlage	Feststellbremsanlage	Betriebsbremsanlage (Fußkraft)	Feststellbremsanlage (Handkraft)
M1	50	16	500	400
M2, M3	50	16	700	600
N1	50	16	700	600
N2, N3	45	16	700	600
Tabelle 29.2	Mindestabbremsung und maximale Bestätigungskraft der Bremse für die einzelnen Kraftfahrzeugklassen (Auszug).			

29.4 Vorschriften für die Untersuchung der Kraftfahrzeuge und Anhänger

Die regelmäßige Untersuchung der Verkehrssi-cherheit ist für Kraftfahrzeuge und Anhänger durch den Paragraphen § 29 StVZO vorgeschrie-ben. Die Abgasuntersuchung muss nach Para-graf § 47a durchgeführt werden.

Der Fahrzeughalter ist für die Einhaltung der Ter-mine verantwortlich und trägt die Kosten für die Untersuchung. Man unterscheidet zwischen der Hauptuntersuchung (HU) und der Sicherheits-prüfung (SP). Bei der Sicherheitsprüfung werden die Bauteile des Fahrgestells und Fahrwerks einer umfassenden Sicht-, Wirkungs- und Funkti-onsprüfung unterzogen, z. B. Bremse, Reifen und Lenkung. Die zeitlichen Abstände der Untersu-chungen sind für die jeweiligen Fahrzeugklassen geregelt (Tabelle 29.3, S. 480).

Die Regelung für die Durchführung der Sicher-heitsprüfung ist seit 1. Dezember 1999 in Kraft. Dadurch entfallen die bisherigen Regelungen für die Durchführung der Bremsensonderuntersu-chungen (BSU) und der Zwischenuntersuchung (ZU). Eine bestandene Sicherheitsprüfung wird durch eine Prüfmarke nachgewiesen. Sie wird auf dem Sicherheitsprüfschild angebracht, welches sich am Fahrzeugheck hinten links befindet. Die Prüfmarke der bestandenen Hauptuntersuchung wird auf das hintere Kennzeichen geklebt.

AU → S. 300

Fahrzeugklasse	Zeitabstand für die HU in Monaten	Zeitabstand für die SP in Monaten
L	24	—
M ₁ M ₁ (Personenbeförderung, z. B. Taxi, Mietwagen)	24 (36)* 12	—
M ₂ , M ₃ im 1. Jahr im 2. und 3. Jahr im 4. Jahr	12 12 12	— 6 3
N ₁ N ₂ , N ₃	24 12	— 6
O bis 750 kg O mehr als 750 kg bis 3,5 t O mehr als 3,5t bis 10 t O mehr als 10 t	24 (36)* 24 12 12	— — — 6

* Werte in () gelten für die erste Untersuchung nach Erstzulassung des Fahrzeugs

Tabelle 29.3

Zeitabstand von HU und SP für verschiedene Fahrzeugklassen (Auszug).

29.5 Überprüfung der Mindestabbremung (Bremsprüfstand)

Für die Überprüfung werden meist Rollenbremsprüfstände eingesetzt (Bild 29.1). Sie bestehen aus zwei gleichen Rollensätzen, die eine achsweise Bremsprüfung ermöglichen. In einem Rollensatz werden zwei durch eine Kette verbundene Rollen über einen Elektromotor angetrieben. Die Antriebsrollen drehen das zu prüfende Rad. Bei

Betätigung der Bremse wirkt die Bremskraft (Umfangskraft) der Drehbewegung der Antriebsrollen entgegen. Die auf die Antriebsrollen wirkende Bremskraft wird erfasst, angezeigt oder protokolliert. Eine dritte Rolle (Tastrolle) im Rollensatz schaltet den Prüfstand und die Blockiereinrichtung automatisch ein.

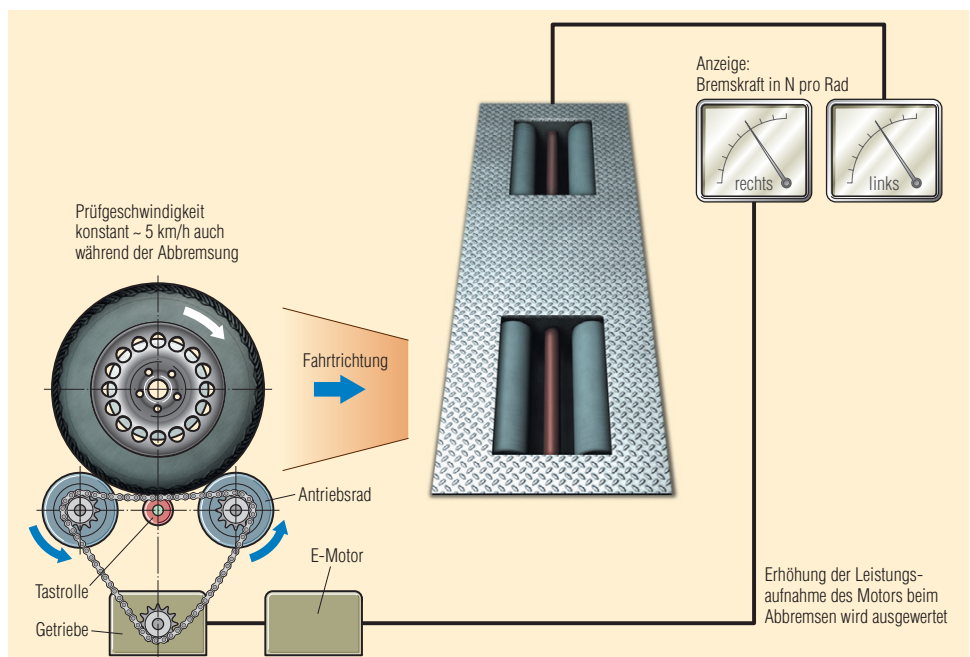


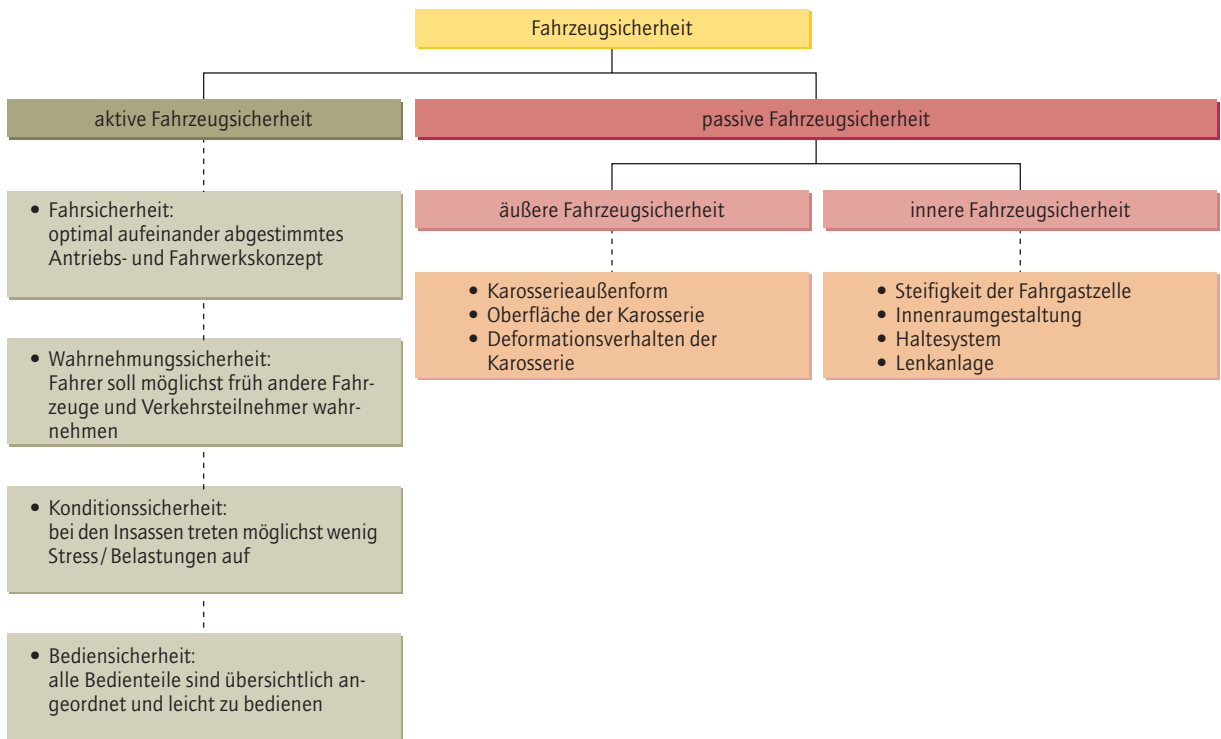
Bild 29.1 Rollenbremsprüfstand.

Arbeitsaufträge

1. Informieren Sie sich in Ihrem Tabellenbuch oder mithilfe des Internets über den Inhalt der wichtigsten Vorschriften zur Bremsanlage.
2. Berechnen Sie die Mindestabbremung der Betriebsbremsanlage eines Fahrzeuges der Klasse M1 und vergleichen Sie das Ergebnis mit den gesetzlichen Vorgaben. Fahrzeugmasse 1350 kg, Bremskraft an der Vorderachse 3810 N und an der Hinterachse 2540 N.
3. Welche Aufgabe hat die Blockiereinrichtung an einem Rollenbremsprüfstand?
4. Begründen Sie, warum es nicht möglich ist, die Abbremsung eines Fahrzeuges mit permanentem Allradantrieb auf dem zuvor beschriebenen Prüfstand zu ermitteln.

30 Rahmen – Aufbau – Karosserie

Fahrzeugsicherheit umfasst alle technischen Maßnahmen die dazu beitragen, den Fahrbetrieb zu erleichtern und die Beteiligten am Straßenverkehr bestmöglich zu schützen. Man unterscheidet aktive Fahrzeugsicherheit (zur Vermeidung von Unfällen) und passive Fahrzeugsicherheit (um Unfallfolgen so gering wie möglich zu halten).



30.1 Systematisierung der Straßenfahrzeuge

Die Benennung und Definition von Straßenfahrzeugen und deren optischen und technischen Merkmalen erfolgt nach DIN 70 010.

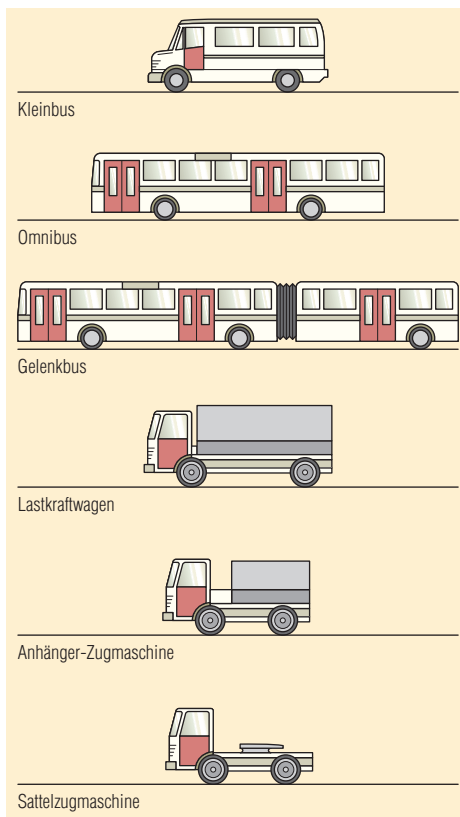
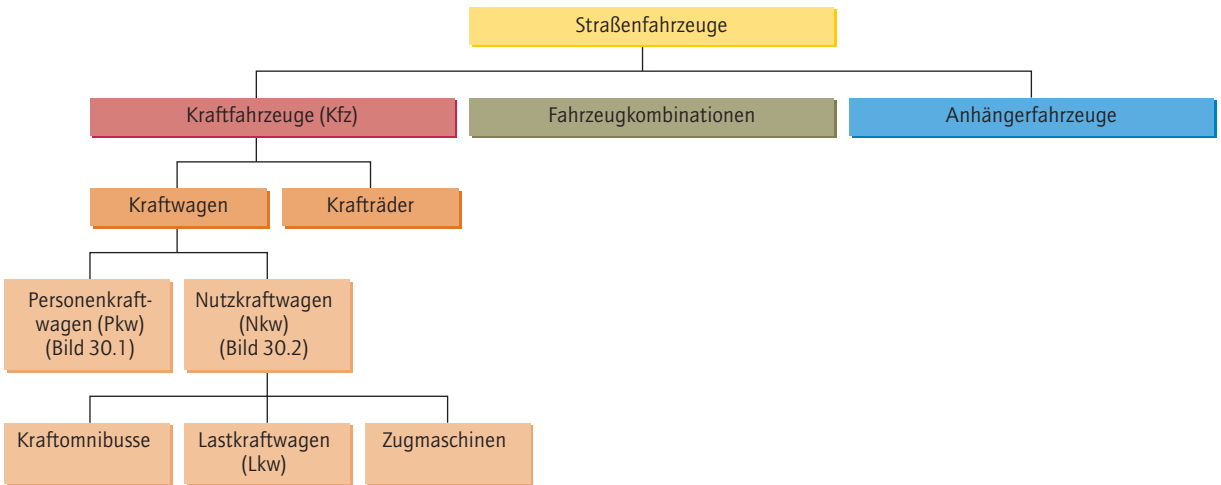


Bild 30.2 Übersicht über Nutzkraftwagen.

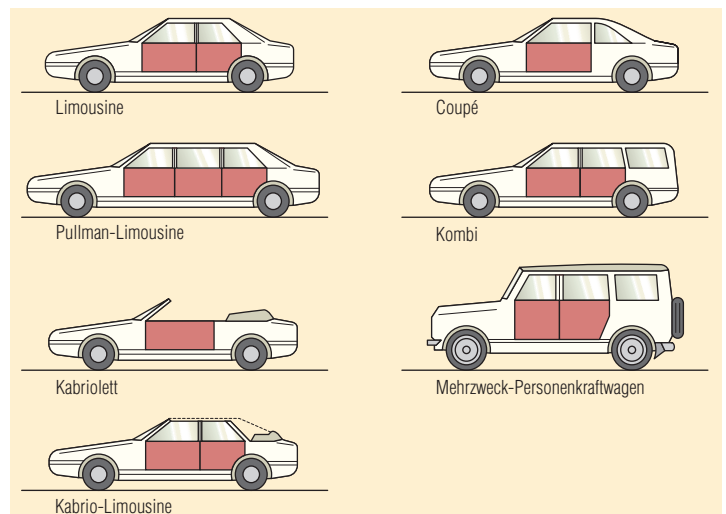


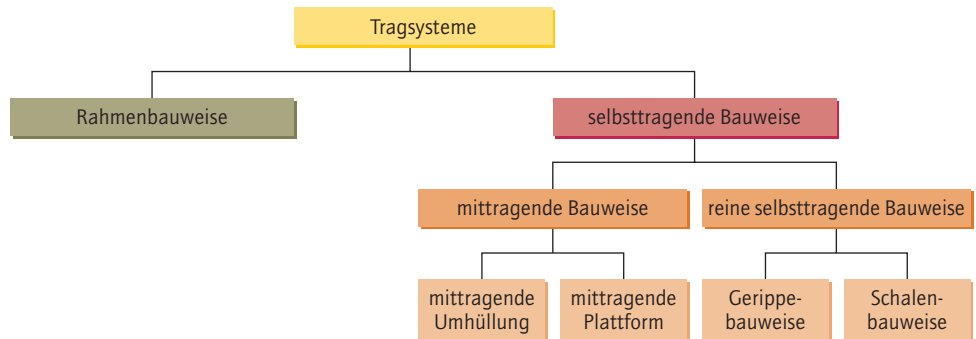
Bild 30.1 Übersicht über Personenkraftwagen.

Europäische Vorschriften teilen die Straßenfahrzeuge nach der Bremsenausstattung ein. Die gesetzlichen Vorschriften sind in § 41 der StVZO geregelt. Eine weitere Klassenspezifizierung berücksichtigt die Anzahl der Sitzplätze, den Hubraum und die Höchstgeschwindigkeit.

Klasseneinteilung
→ S. 478

Tragsysteme. Die Aufbauten der ersten Automobile bestanden – wie ihre Vorbilder, die Pferdekutschen – überwiegend aus Holz. Mit der Einführung von Stahl endete die Holzgerippe-Bauweise. Die Karosserie wurde immer mehr zum

Tragsystem für Motor und Antrieb. So entstanden selbsttragende und mittragende Bauweisen. Viele Begriffe aus dem Karosseriebau sind historisch bedingt und z. B. an alte Baumerkmale angelehnt.



30.2 Fahrzeugabmessungen

Ergonomie: Lehre der Leistungsmöglichkeiten und -grenzen arbeitender Menschen sowie der optimalen wechselseitigen Anpassung zwischen arbeitenden Menschen (Fahrer) und Arbeitsbedingungen.

Die Form- und Raumkonzeption eines Fahrzeugs hängt von folgenden Bedingungen ab:

- Aufbauform (Karosserie),
- gewählte Antriebsart und Anordnung des Triebwerks,
- gewünschte Innenraumgröße,
- Kofferraumvolumen,
- Sitzkonzeption (Anzahl der Sitze und deren Positionen).

Daraus ergeben sich die Hauptabmessungen des Fahrzeugs (Bild 30.3).

Die Gestaltung des Fahrzeuginnenraumes hat direkten Einfluss auf die passive Sicherheit. Die Sitzposition und das Rückhaltesystem sind für die innere Fahrzeugsicherheit entscheidend. Die Sitzpositionen werden nach ergonomischen Erkenntnissen festgelegt. Maßgeblich für die Platzgestaltung sind der R-Punkt, die Augenellipse und der Fersenpunkt. Sie bestimmen die Positionierung der Bedienelemente (Bild 30.4).

R-Punkt: Sitzbezugspunkt; gibt bei verstellbaren Sitzen die Lage des H-Punktes (Hüftpunkt) in der hintersten normalen Sitzposition des Fahrers wieder.

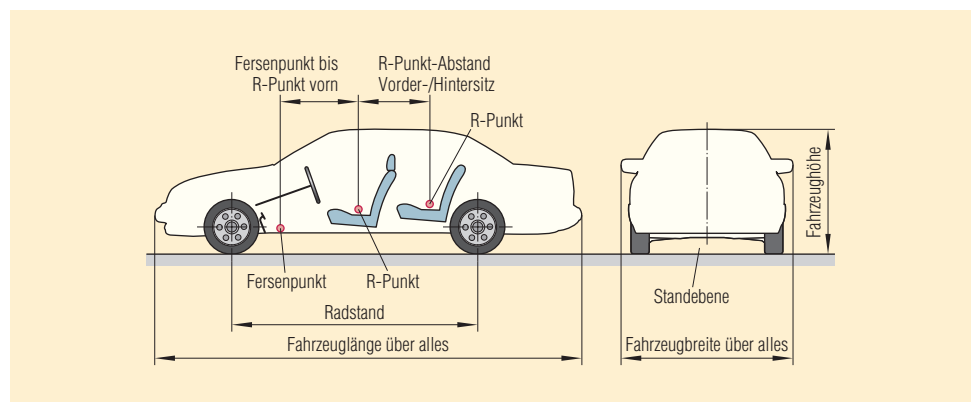


Bild 30.3 Hauptabmessungen (typische Innenraum- und Außenmaße).

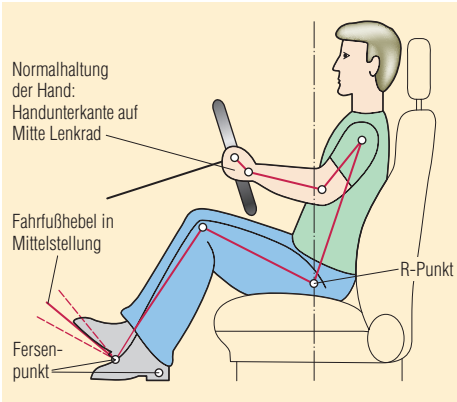


Bild 30.4 Standardmaße für die PKW-Fahrerplatzgestaltung.

30.3 Fahrzeugkarosserie

Eine Fahrzeugkarosserie besteht aus

- der Rohkarosserie (Tabelle 30.1, S. 486),
- den Anbaugruppen und
- den Verbindungsteilen, z.B. Schließern und Scharnieren.

In der Konstruktion sowie in der Instandsetzung trennt man die Karosserie an der Gürtellinie. Zur Karosserieunterseite gehören alle Teile von der Unterkante der Karosserie bis zur Unterkante der Front-, Heck- und Türscheiben. Die Dachkonstruktion und die Säulen sind das Karosserieoberteil.

Karosseriefertigung. Die Fertigung umfasst das Fertigstellen von Bodengruppe, Seitenteilen und Dach mit anschließender Positionierung zu einer Rohkarosserie sowie das Fügen. Punktschweißen, Kleben und Druckfügetechniken sind die angewendeten industriellen Fügetechniken.

Das Widerstandspunktschweißen hat in der Karosseriefertigung große Bedeutung, weil es die Festigkeits- und die Sicherheitsanforderungen erfüllt.

Technologische Vorteile:

- Industrieroboter mit großer Beweglichkeit, Schnelligkeit und Genauigkeit garantieren einen hohen Automatisierungsgrad,
- ONLINE-Programmierung (Direktprogrammierung, Bild 30.5),
- minimale Wärmeeinbringung und festgelegte Reihenfolge der Schweißpositionen verziehen die Karosserie nicht,
- beschichtete bzw. grundierte Metalle können geschweißt werden.

Wirtschaftliche Vorteile:

- kurze Schweißzeiten,
- keine Nachbearbeitung,
- unterschiedliche Blechdicken und Werkstoffe sind möglich,
- unterschiedliche Karosserieformen in der Fertigungslinie sind kein Problem (Losgröße 1).

Losgröße: Anzahl der in einer Serie / Auflage hergestellten gleichen Produkteinheiten.

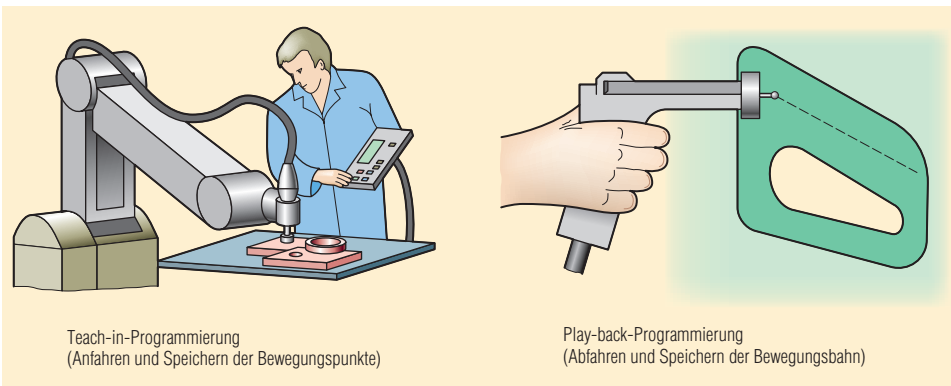


Bild 30.5 Direktprogrammierung.

30.3.1 Rohkarosserie

Teile	Beschreibung/Funktion
Bodengruppe	Bodenblech mit Schwellern, Längsträgerrahmen und weiteren Verstärkungen (z. B. Ausformungen für Sitze, Kraftstofftank und Abgassystem)
Stirnwand	Aufnahme der Scheibe, Wind- und Wasserablauf, Wind- und Wasserabdichtung zur Motor- und Bodenseite, Aufnahme von Türscharnieren
Heck	stabiler Boden mit Ausnahme der Ersatzräder und der Radkästen (Abtrennung zum Innenraum übernehmen die Sitzrückseiten)
Dach	Dachrahmen mit Dach (außen- oder innenverstärkt)
Säulen	stabile Verbindungen zwischen Boden und Dach, Aufnahme von Schließelementen
Tabelle 30.1	Teile einer Rohkarosserie.

Selbsttragende Bauweise. Die Standardbauweise für die Rohkarosserie ist die selbsttragende Karosserie. Dabei sind die vorgeformten Flachzeuge so fest miteinander verbunden, dass ein stabiles Rohbautragwerk entsteht (Bild 30.6). Die Karosserie wird beim Anfahren, Fahren und Bremsen auf Durchbiegung, Zug, Druck und Verdrehung belastet. Diese Belastungen dürfen nur kleinere elastische Verformungen bewirken. Ent-

scheidend für die Steifigkeit und das elastische Verhalten sind die Säulen (Höhenverbindungen), der Schwellerbereich (Außenlängsverbindungen) und die Querprofile (Verbindungen der Schweller und Säulen).

Eine selbsttragende Karosserie muss folgende allgemeine Anforderungen erfüllen:

Unfallbeanspruchung (passive Sicherheit). Bei Zusammenstößen muss die Rohkarosserie möglichst viel Bewegungsenergie in Formänderungsenergie umwandeln. Auch bei höheren Geschwindigkeiten darf sich die Fahrgastzelle nur unwesentlich verformen (Bild 30.7).

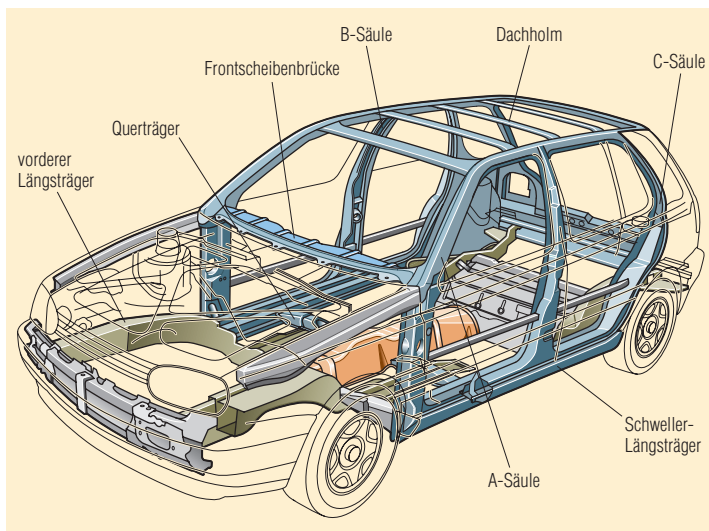


Bild 30.6 Selbsttragende Karosserie.

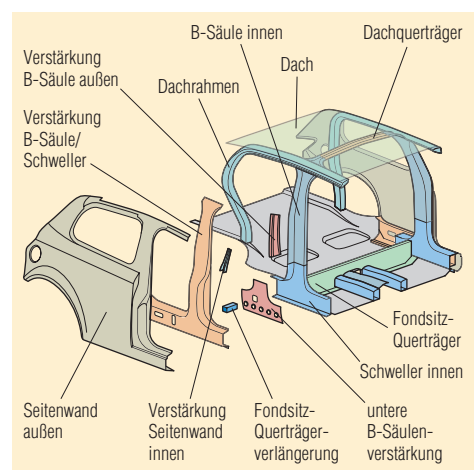


Bild 30.7 B-Säulenbereich einer Sicherheitsfahrgastzelle.

Steifigkeit. Eine komplette Karosserie sollte sich gut verwinden und leicht durchbiegen lassen, trotzdem müssen Türen und Klappen einwandfrei funktionieren. Vom Motor oder Getriebe in Schwingungen versetzte Karosserieteile dürfen den Fahrkomfort nicht beeinträchtigen.

Betriebsfestigkeit. Auch nach jahrelanger Nutzung darf es nicht zu Rissen an der Karosserie kommen. Unterschiedliche Schwingungsanregungen dürfen den Fügebereich nicht zerstören. Jede Karosserie muss so dimensioniert sein, dass Erregerfrequenz und Eigenfrequenz weit auseinanderliegen, damit keine Resonanz auftritt.

30.3.2 Anbaugruppen

Zu den Anbaugruppen einer Rohkarosserie gehören:

- Kotflügel,
- Türen,
- Motorhaube und Heckklappe.

Für die Verbindung zwischen Rohkarosserie und Anbaugruppen sind bewegliche Teile (Scharniere und Schlösser) notwendig (Bild 30.8).

30.3.3 Rahmenbauweise

Bei Nutzkraftwagen-Kombi und teilweise bei Geländewagen und Kabrioletts ist aus Stabilitätsgründen die Rahmenbauweise erforderlich.

Der Rahmen mit dem Fahrwerk und die Karosserie bilden zwei getrennte Einheiten, die im Automobilwerk bei der sogenannten „Hochzeit“ zu einer Einheit zusammengefügt werden. Das Fahrwerk nimmt nahezu alle Kräfte auf und die Karosserie dient eher als Verkleidung.

Die Unterschiede der einzelnen Tragsysteme zeigt Tabelle 30.2.

Resonanz:
Erregerfrequenz und Eigenfrequenz stimmen überein, sodass es zu Überlagerungen von Schwingungen kommen kann.

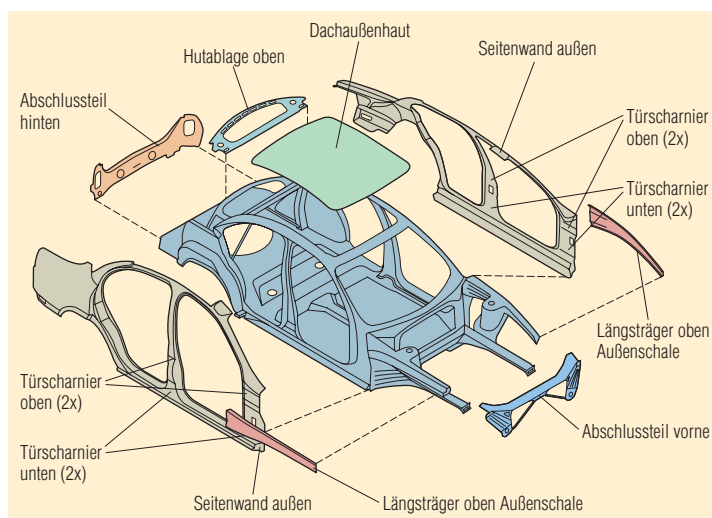


Bild 30.8 Karosseriezusammenbau.

Tragsystem	Vorteile	Nachteile
Rahmenbauweise	<ul style="list-style-type: none"> • verwindungsfeste Karosserie wegen des Leiterrahmens • schneller Wechsel des Karosserieaufbaus 	<ul style="list-style-type: none"> • große Masse des Fahrzeuges • ungünstiges Crash-Verhalten
Selbsttragende Bauweise	<ul style="list-style-type: none"> • geringer Werkstoffeinsatz • optimale Raumausnutzung • Knautschzonen • stabile Fahrgastzelle 	<ul style="list-style-type: none"> • höherer Fertigungsaufwand • höherer Instandsetzungsaufwand
Tabelle 30.2	Karosseriebauweisen.	

30.3.4 Sicherheitskarosserie

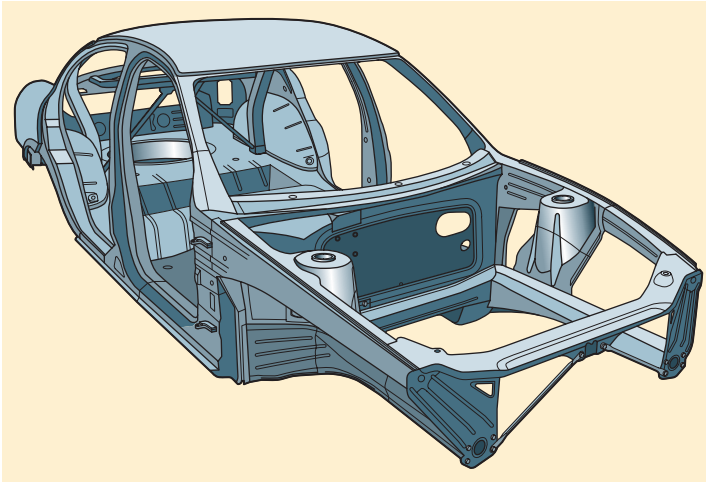


Bild 30.9 Ultraleichte Sicherheitskarosserie.

Eine Sicherheitskarosserie besteht aus einer formstabilen Fahrgastzelle und absorbierenden Knautschzonen (Bild 30.9). Auch bei extremen Belastungen, z.B. Überschlag, sind die Insassen optimal geschützt. Damit die Insassen bei einem

Aufprall keinen starken Verzögerungen ausgesetzt sind, ist der Frontbereich so gestaltet, dass die Bewegungsenergie nahezu vollständig in Verformungsenergie umgewandelt wird. Zusätzlich ist ein Rückhaltesystem notwendig (innere passive Sicherheit).

Um die äußere passive Sicherheit weiter zu erhöhen, wird auch an Detaillösungen (z.B. versenk- bare Scheibenwischer oder nachgiebige Seitenspiegel) gearbeitet.

Merkmale einer Sicherheitskarosserie:

- Optimales Deformationsverhalten: nachgiebige Stoßfänger, energieabsorbierender Vorbau, stabile Fahrgastzelle, ausreichende Deformationslänge für bewegliche Aggregate, Sicherheitslenkanlage (Bild 30.10).
- Glatte und abgerundete Karosserieaußenform: Unfallbeteiligte Fußgänger und Zweiradfahrer dürfen durch an der Karosserie befestigte Teile oder besondere Formgebungen nicht verletzt werden.

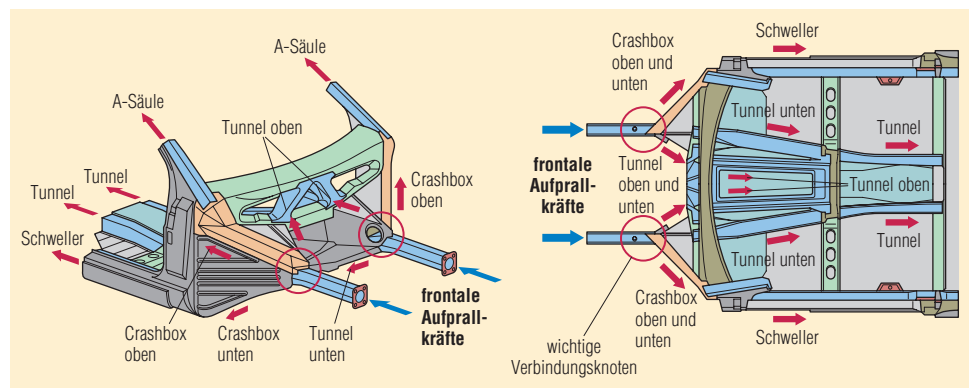


Bild 30.10 Lastwege für Frontalkräfte.

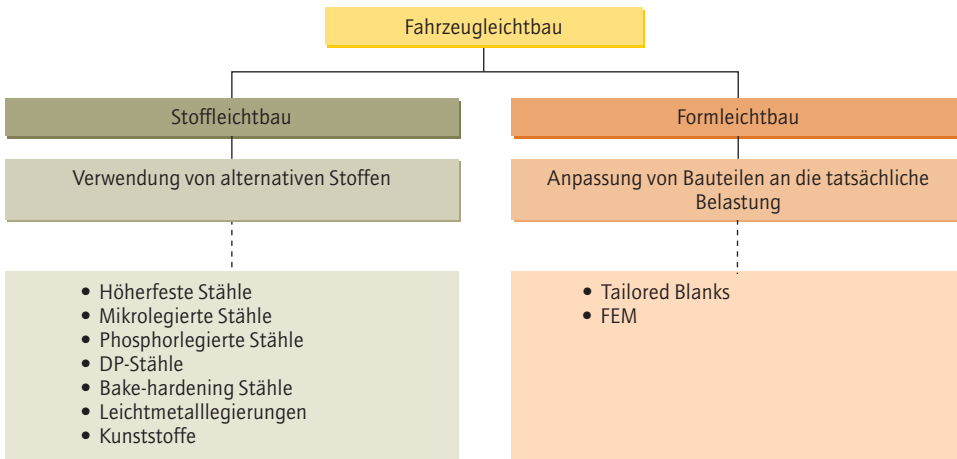
30.4 Werkstoffe im Karosseriebau

Stahl ist der am häufigsten eingesetzte Werkstoff im Karosserie- und Fahrzeugbau, weil er gute Gebrauchseigenschaften hat, kostengünstig ist und umweltgerecht entsorgt werden kann. Stahl wird als Flachzeug, entweder in Paletten oder zu Rollen (Coils) aufgewickelt, geliefert. Die Oberflächen sind glatt und haben durch das Walzen eine gleichmäßige Textur. Flachzeuge bis ca. 1,5 mm Dicke sind kaltgewalzte Produkte. Eine

mögliche Kaltverfestigung kann durch Rekristallisationsglühen unter Schutzgas beseitigt werden, ohne dass sich die Oberfläche verschlechtert.

Für die Herstellung von Karosserieteilen durch Tiefziehen oder Streckziehen eignen sich besonders dehnungsfähige Stahlsorten.

30.4.1 Fahrzeugleichtbau



DP-Stahl:

Dualphasenstahl/
Zweiphasenstahl

FEM = Finite

Element Method
(engl.): Verfahren
zur Berechnung
komplexer Struk-
turen

Der Fahrzeugleichtbau förderte die Entwicklung von höherfesten Stahlwerkstoffen und den Einsatz von Leichtmetall und Kunststoffen. Heute liegt der Schwerpunkt in der Karosserieneuentwicklung bei höherfesten Stahlsorten, die wie bisher kaltgewalzt hergestellt werden.

Die Reduzierung der Fahrzeugmasse bringt

- einen geringeren Kraftstoffverbrauch,
- höhere Beschleunigungswerte,
- kürzere Bremswege und
- weniger Umweltbelastung mit sich.

30.4.2 Stahl als Karosseriewerkstoff

Moderne Stahlherstellung kann Stahl mit bestimmten mechanisch-technologischen Eigenschaften erzeugen. Dabei sind zwei Ziele maßgebend:

- bessere Umformbarkeit und damit höhere Wirtschaftlichkeit in der Fertigung,
- Gewichtseinsparung bei höherer passiver Sicherheit.

Bake-hardening-Bleche bestehen aus Stahl, der gezielt mit Phosphor legiert worden ist und dadurch ein Mischkristallgefüge erhält. Dieser kristalline Aufbau erniedrigt die Streckgrenze und erhöht die Bruchdehnung. Wird bei der Lackierung der Karosserie der Lack eingebrannt, erwärmt sich die gesamte Karosserie. Der Stahlwerkstoff erfährt durch diese Wärmebehandlung eine Festigkeitssteigerung. Die Streckgrenze erhöht sich um 30 N/mm^2 bis 50 N/mm^2 .

Der Vorteil dieser Stahlart liegt in seiner guten Verformbarkeit bei Anlieferung und der höheren Festigkeit nach der Fertigstellung der Karosserie. Großflächige Teile mit leichten Vertiefungen wie Motorhaube, Kofferraumdeckel und das Dach werden sehr formstabil. Außerdem erhöht sich die Beulfestigkeit und nicht jede Druckbelastung hinterlässt eine Delle.

Bake-hardening

(engl.): Härten
durch Backen

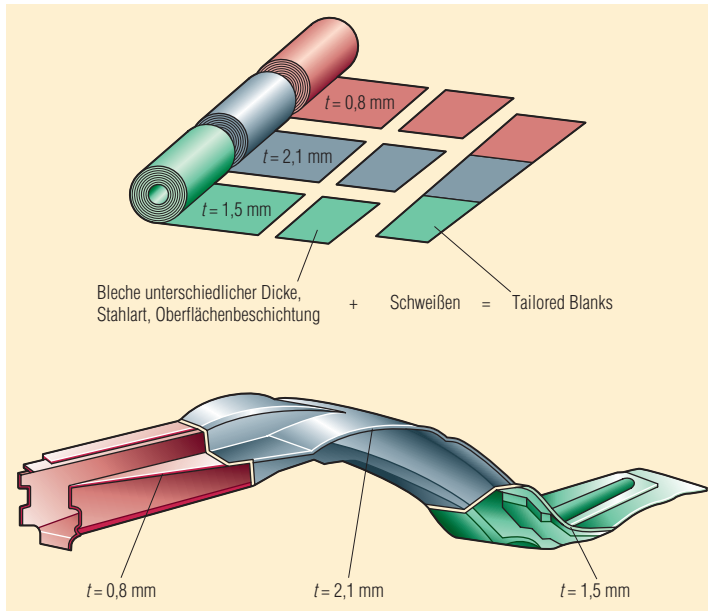


Bild 30.11 Maßgeschneiderte Blechteile.

Tailored Blanks (engl.: maßgeschneidertes Halbzeug). Der Formleichtbau arbeitet mit optimaler Anpassung von Form, Gestalt und Blechdicke. Das Ergebnis sind maßgeschneiderte Blechplatten (Tailored Blanks, Bild 30.11). Bauteile, z. B. Längsträger, werden nur dort durch weitere in der Blechdicke angepasste Formteile verstärkt, wo es die Belastung verlangt.

Vorteile von Tailored Blanks:

- Gewichtsreduzierung,
- Verringerung der Teilezahl,
- höhere Maßgenauigkeit,
- weniger Fertigungsschritte und Produktionsmittel.

30.4.3 Aluminium als Karosseriewerkstoff

Insbesondere unter den Aspekten Leichtbau und Korrosionsbeständigkeit ist Aluminium ein interessanter Werkstoff im Automobilbau (Bild 30.12).

Reines Aluminium wird wegen seiner geringen Festigkeit nicht als Konstruktionswerkstoff eingesetzt. Deshalb legiert man es mit Kupfer, Silicium, Magnesium und Zink. Können die Festigkeitseigenschaften durch eine Wärmebehandlung weiter gesteigert werden, spricht man von aushärtbaren Aluminium-Legierungen.

Nichtaushärtbare Legierungen sind auch bei tieferen Temperaturen hart und fest. Aushärtbare Legierungen sind nach der Wärmebehandlung weniger umformbar und haben eine erhöhte Streckgrenze.

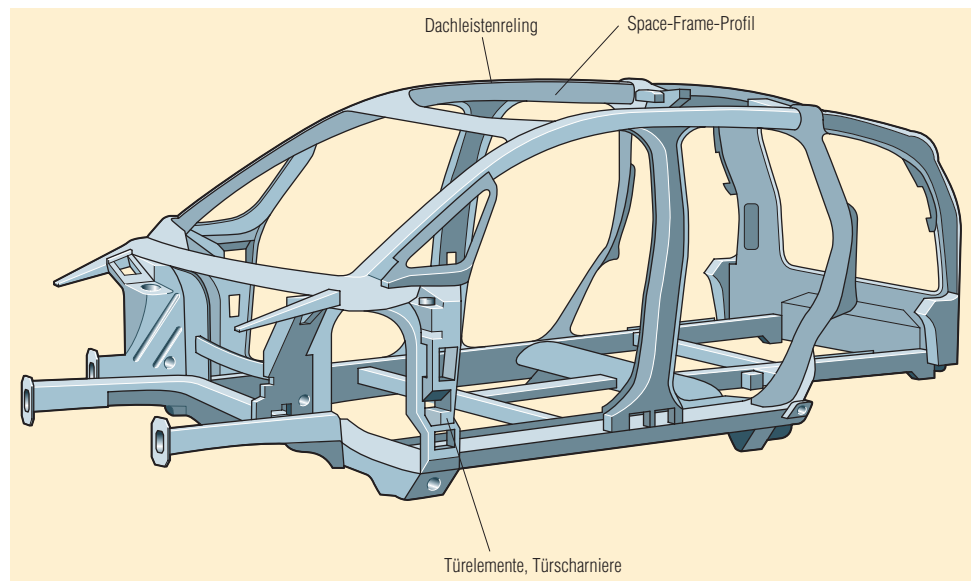


Bild 30.12 Rohkarosserie aus Aluminium-Profilen.

Aluminium-Karosserien dürfen nur von geschulten Karosseriefachleuten an einem besonderen Arbeitsplatz repariert werden.

Aluminium als Karosseriewerkstoff hat neben seinen bekannten Vorteilen auch Nachteile:

- höhere Werkstoffkosten,
- keine ausgeprägte Streckgrenze (Umformbereich ist schwieriger abzuschätzen),
- großer Wärmeausdehnungskoeffizient (Spaltmaße sind schwierig einzuhalten),
- Probleme beim Widerstandspunktschweißen (hohe Wärmeleitfähigkeit erfordert große elektrische Ströme).

30.4.4 Kunststoffe im Fahrzeugbau

Kunststoffe können im Karosserie- und Fahrzeugbau vielfältig eingesetzt werden. Sie reduzieren das Fahrzeuggewicht, korrodieren nicht und erhöhen dadurch die Lebensdauer von Fahrzeugen. Ihre kostengünstige Herstellung macht sich auch bei den Instandsetzungskosten bemerkbar. Bild 30.15 am Ende des Kapitels auf S. 494 gibt einen Überblick, wo Kunststoffe in Pkws eingesetzt werden.

Faserverstärkte Kunststoffe sind eine Kombination von Harzen und Faserverstärkungen aus Glas- oder Kohlefaser, die sich als Karosserieverkleidungsteile eignen. Sind mehrere Lagen übereinander erforderlich, so spricht man von Laminaten.

30.5 Fahrzeuglackierung und Korrosionsschutz

Um die Fahrzeuge gegen vorzeitige Korrosion zu schützen und sie optisch aufzuwerten, werden sie lackiert (Bild 30.13). Alle Lacke sollten eine

hohe Haftung und elastisches Verhalten aufweisen und beständig gegen äußere Einflüsse sein.

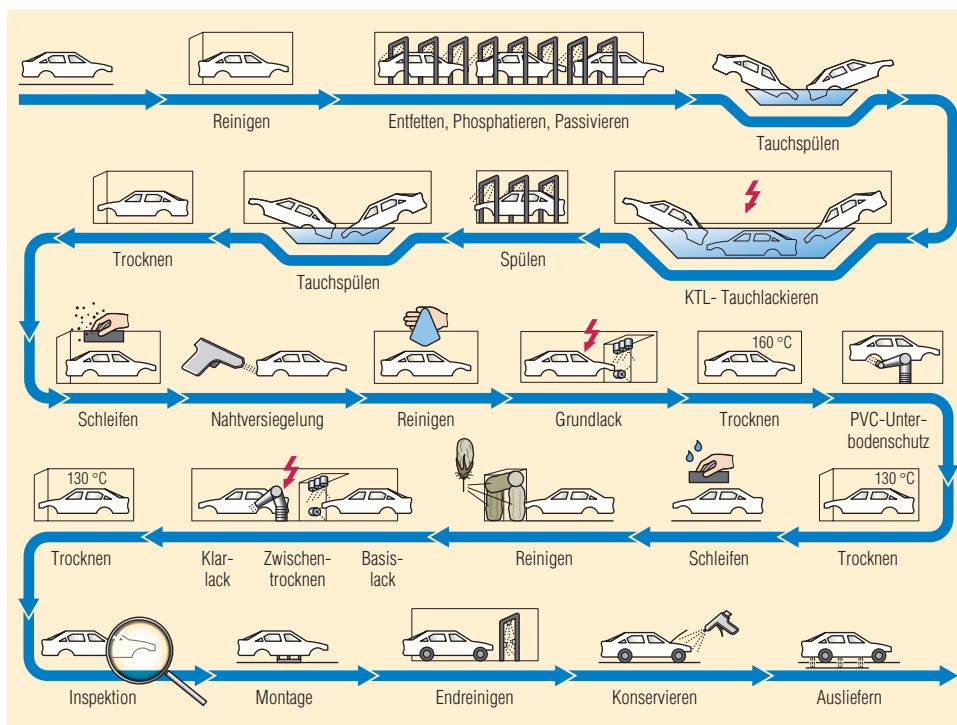


Bild 30.13 Fahrzeuglackierung (Ablaufschema).

Alkalisch: wie eine Lauge reagierend (pH-Wert > 7)

1 nm (Nanometer)
= 10^{-9} m

Vorbehandlung. Die Karosserie wird mit Hochdruck abgespritzt und danach zur Entfettung alkalisch behandelt. Diese Reinigung muss sorgfältig erfolgen, damit die erste Grundierung gut haftet. In der Aktivierung erfolgt ein weiterer Reinigungsprozess mit einer Niedrig-Zink-Phosphatlösung. Sie erzeugt eine feinkristalline Zink-Phosphatschicht und ist ein guter Haftvermittler für spätere Beschichtungen. Oft wird mit einer Chrom-Lösung nachverdichtet (Passivieren zum Verschließen der Poren) und anschließend die überschüssigen Partikel durch einen weiteren Spülgang entfernt. Dieser Phosphatierungsprozess kann wiederholt werden.

Lackieren. Nach der Vorbehandlung erfolgt der erste Lackierungsprozess, die kathodische Tauchlackierung (KTL). Sie ist die Standardlackierung im Automobilbau. Die Karosserie ist negativ gepolt (Kathode). Die positiv geladenen Lackpartikel können sich gleichmäßig ablageren. Danach wird die Karosserie nachgespült und der Lack eingebrannt. Dieses Verfahren garantiert eine gleichmäßige Schichtdicke an allen Karosserieteilen.

Nachlackierung und Korrosionsschutz. Weitere Lackschichten wie der Füller, Decklack und Klarlack folgen (Bild 30.14). Durch das Einbringen kleinster Teilchen (Keramikpartikel im Nanobereich) kann die Decklackschicht eine sehr glatte und dauerhaft versiegelte Oberfläche ergeben, an der Fremdstoffe (Schmutz, ...) nicht haften bleiben.

Außerdem werden die Nähte versiegelt (Abdichtung der Nähte mit PVC) und der Unterbodenschutz aufgebracht. Die erste Unterbodenbeschichtung muss besonders sorgfältig aufgebracht werden um die Rostbildung zu unterbinden. Ein Nebeneffekt des Unterbodenschutzes ist, dass er geräuschkindernd beim Aufschlagen kleinerer Partikel (Splitt) wirkt.

Tabelle 30.3 zeigt alle Arbeitsschritte im Überblick.

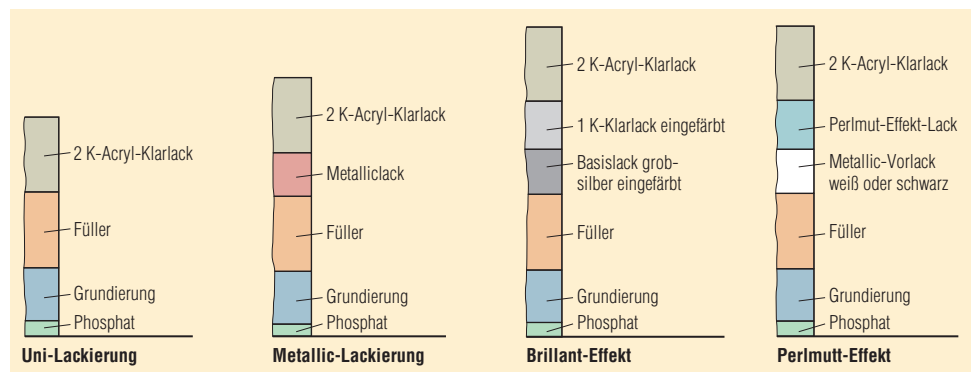


Bild 30.14 Lackaufbau.

Arbeitsschritt	Vorgang	Verfahren
Reinigen /Entfetten	Entfernen von Ziehfetten, Schmutz und Korrosionsschutzölen	Spritzen, Tauchen
Phosphatieren	Bildung von Eisen- oder Zinkphosphat-schichten	Spritzen, Tauchen mit verdünnter Phosphor-säure
Grundieren	20 µm bis 25 µm pigmentierte Lackschicht; Aushärten bei ca. 190 °C	Elektrotauchverfahren
Hohlraumversiegeln	Einspritzen von Wachswerkstoffen in Hohl-räume zur Vermeidung von Kondenswasser-bildung und Korrosion	Spritzen
Unterbodenschutz	Beschichten von Unterboden und Kotflügeln	Spritzen von Bitumen, PVC u. ä.
Zwischenbeschichtung	50 µm Grundlack (gutes Formfüllungsver-mögen); Aushärten bei 175 °C	Elektrostatisches Spritzen von Alkyd-Melamin-Harzen
Schleifen	Glattschleifen und Reinigen	Schleifen
Decklackierung	50 µm Decklackauftrag; Aushärten bei 120 °C	Elektrostatisches Spritzen
Tabelle 30.3	Prinzip der Fahrzeuglackierung.	

Arbeitsaufträge

1. Welche konstruktiven Maßnahmen an einer Karosserie tragen dazu bei, mögliche Unfall-folgen gering zu halten?
2. Beschreiben Sie einen bedienungssicheren Fahrerarbeitsplatz.
3. Wie werden an einer selbsttragenden Karosserie der Motor und der Antrieb befestigt?
4. Welche Sicherheitseinrichtungen werden bei einem Frontalaufprall aktiviert um die Insassen zu schützen? Legen Sie eine Liste an und lesen Sie in diesem Fachbuch unter dem jeweiligen Stichwort nach.
5. Welche Karosserieteile können konstruktiv durch Tailored Blanks an die tatsächliche Belastung angepasst werden?
6. Warum gelten bei der Instandsetzung von Aluminiumkarosserien besonders strenge Vorschriften?
7. Beschreiben Sie die Abläufe einer Reparatur-lackierung eines stark verkratzten Kotflügels.
8. Welche Vorteile hat eine Lackierung mit Nano-Lack?

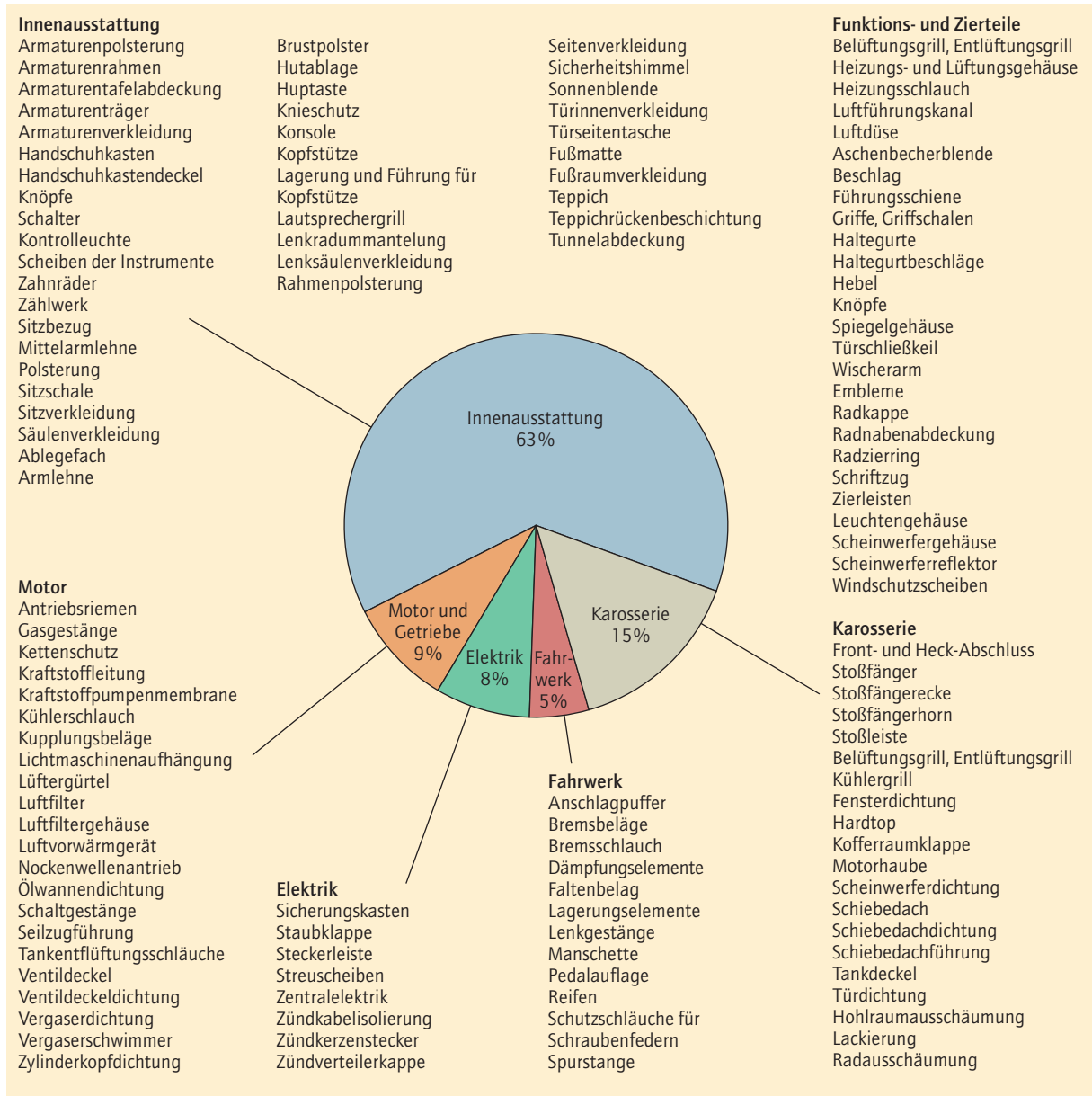
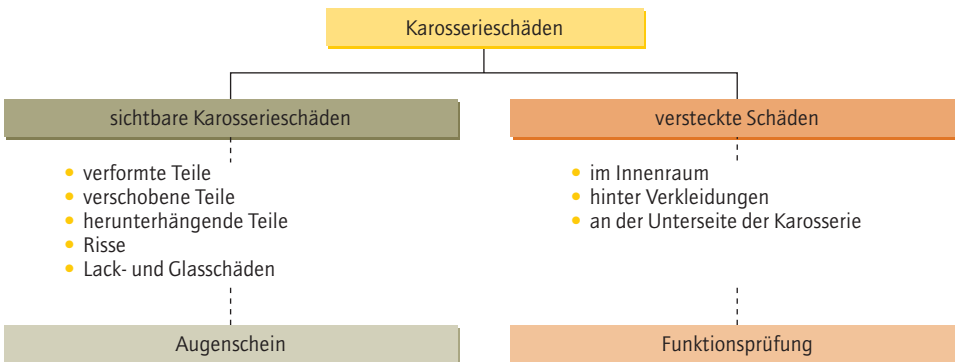


Bild 30.15 Kunststoffe im Pkw.

31 Karosserieschäden

31.1 Ermittlung von Schäden an der Karosserie



Vor jeder Instandsetzung muss der Schadensumfang genau ermittelt werden. Verformte Teile oder Teile, die ihre Einbaulage verändert haben, sind eindeutig zu erkennen. Versteckte Schäden müssen dagegen sorgfältig ermittelt werden.

Zur Funktionsprüfung zählt das Öffnen und Schließen aller Anbauteile. Unbekannte Geräusche können weitere Hinweise auf Schäden geben. Manchmal werden versteckte Schäden erst durch das Entfernen von Verkleidungsteilen oder einem Sitz erkannt.

Im Schadensbereich müssen immer die Sollbruchstellen auf ihre Lage und eventuelle Risse

überprüft werden. Mit Lehren können sowohl Maße als auch Formen kontrolliert werden. Um die Lage von Karosserieteilen zu überprüfen, ist räumliches Messen notwendig.

Jede Schadensermittlung muss schriftlich dokumentiert werden. Die Dokumentation dient zugleich als Kostenvoranschlag und als Beweismittel.

Karosserieteile werden ausgewechselt, wenn eine handwerkliche Reparatur zu teuer ist. Kleinere Blechschäden werden ausgebeult und bei Bedarf verspachtelt oder **verschwemmt**.

Verschwemmen
→ S. 502

31.2 Karosseriereparatur

Bei größeren Karosserieschäden sind alle wichtigen Längsmaße vor, während und am Ende der Reparatur zu kontrollieren. Verstellbare Messlineale sind ein einfaches, aber unverzichtbares Messmittel. Mit Lehren können Soll-Ist-Positionen und Maße ermittelt werden.

31.2.1 Prüftechnik

Fixpunkte an der Karosserie liegen häufig mehr als 1000 mm auseinander, sodass die üblichen Prüfmittel nicht eingesetzt werden können.

Abstandsmessungen an der Karosserie bis zu 2500 mm werden mit dem Stangenzirkel oder Teleskop-Messstab durchgeführt. Spaltmaße, z. B. an den Türen, werden mit Spaltlehren oder Fühlerlehren geprüft (Bild 31.1, S. 496). Außenformen der Karosserie können nur mit genau passenden Formenlehren verglichen werden.

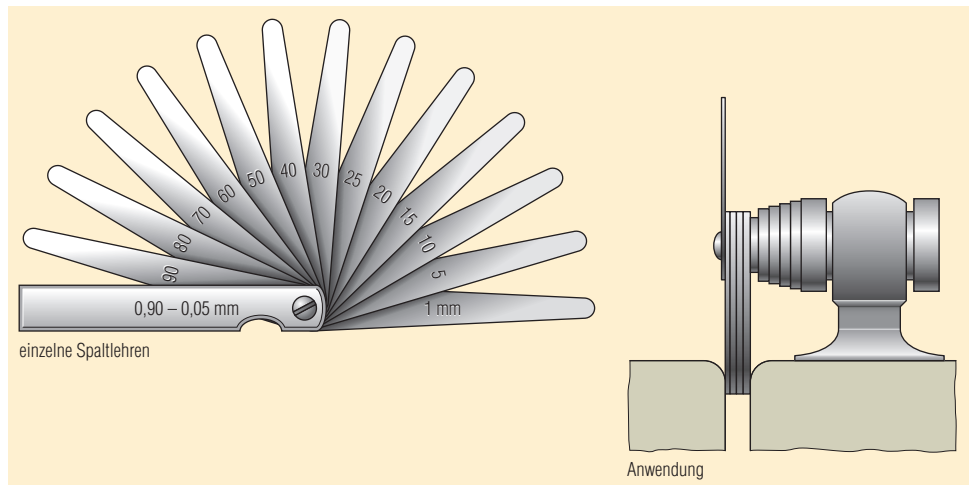


Bild 31.1 Spaltlehren.

Reichen einfache Prüfmittel zur Vermessung nicht aus, z. B. bei einer verzogenen Karosserie-seite, muss eine dreidimensionale Vermessung durchgeführt werden. Die Y-Nullebene (Fahrzeugbreite) führt durch die Fahrzeugmitte, die Höhe (Z-Achse) und die Länge (X-Achse) durch den Mittelpunkt der Vorderachse (Bild 31.2). Die wichtigsten Bezugspunkte eines Fahrzeugs sind im Reparaturleitfaden, auf Disketten oder CD enthalten. Vor jedem Vermessen muss die Karosserie fest verankert werden.

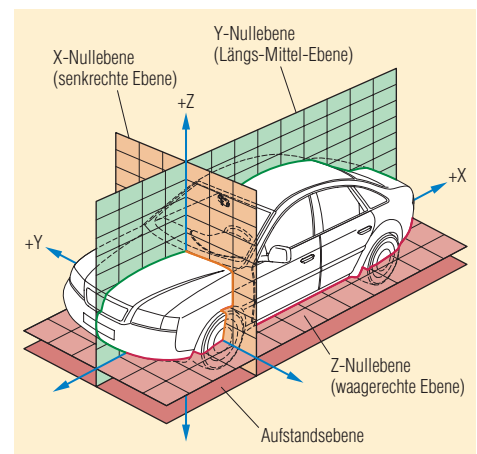


Bild 31.2 Karosserievermessung; Lage der Nullebenen.

31.2.2 Karosserie-Richtsysteme

Zum Richten verformter Karosseriebereiche sind Zug- und/oder Druckeinrichtungen notwendig. Die feste Verbindung zwischen dem beschädigten Karosseriebereich und der Zug- oder Druckeinrichtung wird durch die Zugkette hergestellt. Aus Sicherheitsgründen muss jede Kette mit einem Fangseil abgesichert sein.

Einfache Zuggeräte. Das einfachste Zuggerät (auch Dozer genannt) besteht aus einem fahrbaren Untersatz, einem vertikalen Ziehbalken, einer hydraulischen Druckeinrichtung und Zubehör (Bild 31.3). Das Zuggerät wird unter das beschädigte Fahrzeug geschoben und an den vorgesehenen Verankerungen (Schweißbahnen oder Steckvorrichtungen) mit der Karosserieunterseite fest verankert. Die Zugkette wird eingehängt und der diagonale Druckzylinder drückt

den Ziehbalken nach hinten; die Rückverformung beginnt. Bei diesen Arbeiten ist ständiges Messen erforderlich, um die Maß- und Formgenauigkeit wieder herzustellen.

Bodenrahmen-Richtanlage. Ein in den Werkstattboden eingelassenes Profil, Zugketten und ein Druckgerät bilden ein einfaches und zugleich wirkungsvolles Zugsystem (Rahmenrichtsystem). Die Schienen sind rechteckig (z. B. 3 m auf 5 m) im Werkstattboden eingelassen, sodass bei Bedarf zugleich an zwei oder mehr Stellen gezogen werden kann (Bild 31.4). Stützen nehmen das Fahrzeuggewicht auf. Das Fahrzeug muss entgegen der Zugrichtung mit Ketten in den Schienen verankert werden.

Dozer: amerikanische Firmenbezeichnung für einen Ziehbalken.

Richtbank-Grundrahmen. Eine Richtbank besteht aus zwei stabilen verwindungssteifen Längsträgern, die quer miteinander verbunden sind. Wenn die Oberseite der Längsträger mit breiten Flachzeugen versehen ist, spricht man von einem Richttisch. Richtbänke oder Richttische haben angeschweißte Standfüße; sie müssen zur Lageveränderung mit einer Hebeeinrichtung angehoben werden. Es gibt auch Richtbänke mit Rädern, die beliebig hin und her geschoben werden können (Bild 31.5).

Der Grundrahmen besteht aus I-Profilen mit sehr glatter Oberseite sowie Bohrungen und Aussparungen für die variablen Aufnahmeeinrichtungen. In die Bohrungen können je nach Karosserieform passende quer verlaufende Verbindungsstücke (Traversen) fest oder beweglich verankert werden.

Noch fahrbereite Fahrzeuge können über Rampen auf die Richtbank gefahren werden. Nicht fahrbereite Fahrzeuge (z.B. bei Fahrwerksschäden) werden mit einem Wagenheber angehoben, danach wird die Richteinrichtung darunter geschoben.

Manche Richtbänke verfügen über eine Winde und eine Rampe um die Fahrzeuge auf den Richtrahmen zu ziehen.

31.2.3 Kombinierte Richt- und Prüfsysteme

Zwischen der Richtbank und der Karosserieunterseite ist genügend Platz für verschiedene Messsysteme oder Lehren. Dadurch entstehen kombinierte Richt- und Prüfsysteme.

An der Karosserie müssen drei unbeschädigte Messpunkte vorhanden sein, die sich während der Richtarbeiten nicht verändern dürfen. In den Reparaturrichtlinien ist nachzulesen, ob Fahrzeugteile ausgebaut werden müssen.

Geräte zum Messen eignen sich nicht zur Aufnahme von Kräften und Momenten. Nur einige Lehren können das Fahrzeuggewicht aufnehmen.

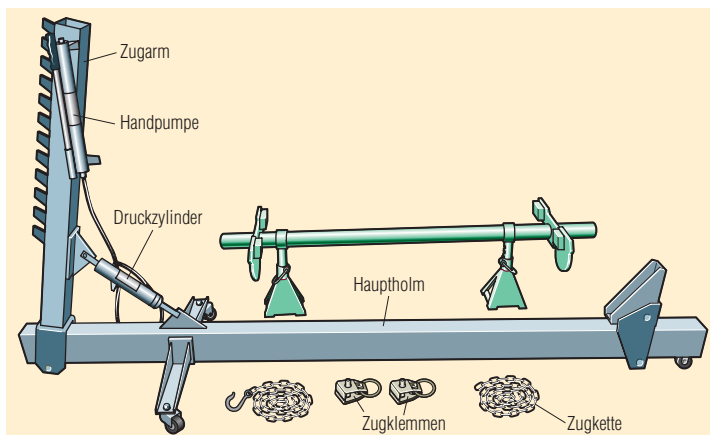


Bild 31.3 Einfaches Zuggerät (Richtwinkelgerät).

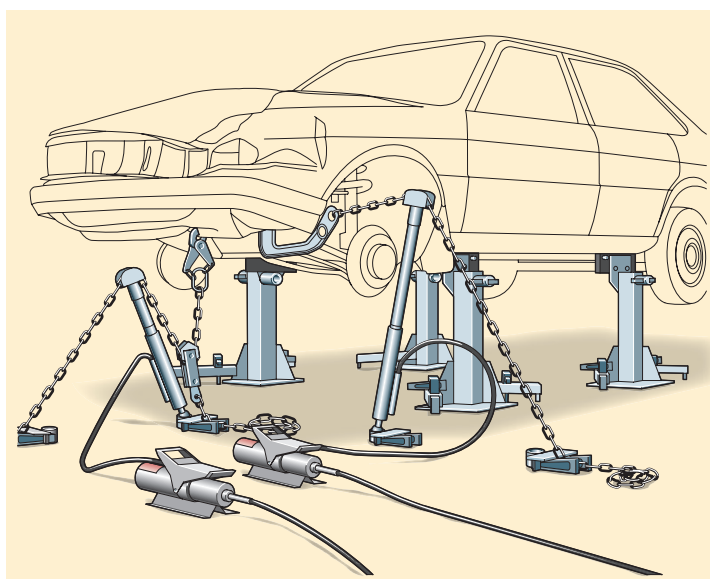


Bild 31.4 Bodenrahmen-Richtanlage.

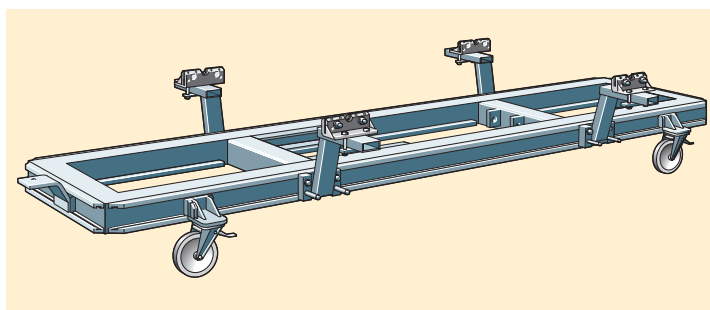


Bild 31.5 Grundrahmen zum Richten.

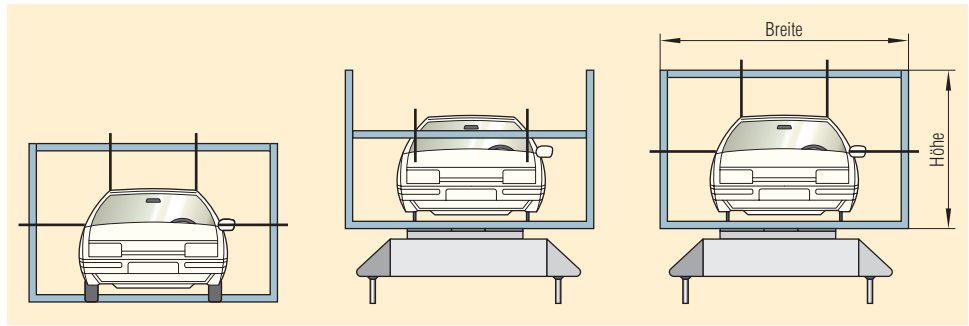


Bild 31.6 Richtbank mit mechanischem Messsystem.

Richtbank mit mechanischem Messsystem. Das Richten einer deformierten Karosserie geht Hand in Hand mit dem Vermessen. Zum Messen kann das Stechmaß – vergleichbar mit einem

übergroßen Messschieber – herangezogen werden. Durch einfache Diagonalmessung können Form- und Lageänderungen festgestellt werden (Bild 31.6). Schweißblehren und Richtwinkel zeigen, an welchen Stellen die Karosserie von den Sollmaßen abweicht. Richtwinkelsätze sind fahrzeugspezifische Lehren.

Richtbank mit optischem Messsystem. Ein Lichtstrahl durchleuchtet transparente Messlineale, die am Fahrzeug an bestimmten Punkten befestigt wurden. Für jeden Fahrzeugtyp müssen die entsprechenden Messlineale verwendet werden. Optische Systeme eignen sich zur räumlichen Vermessung, weil der Lichtstrahl umgelenkt werden kann.

Richtbank mit elektronischem Messsystem. Die Karosserie wird mit einem Taster abgetastet. Berührt der Taster die Karosserie, sendet er seine Position an den Rechner (Bild 31.7). Der Computer stellt einen Soll-Ist-Vergleich an. Die Ergebnisse werden kontinuierlich erfasst und zum Schluss ausgedruckt. Die so erfassten Messergebnisse können als Grundlage für die Schadenskalkulation herangezogen werden.

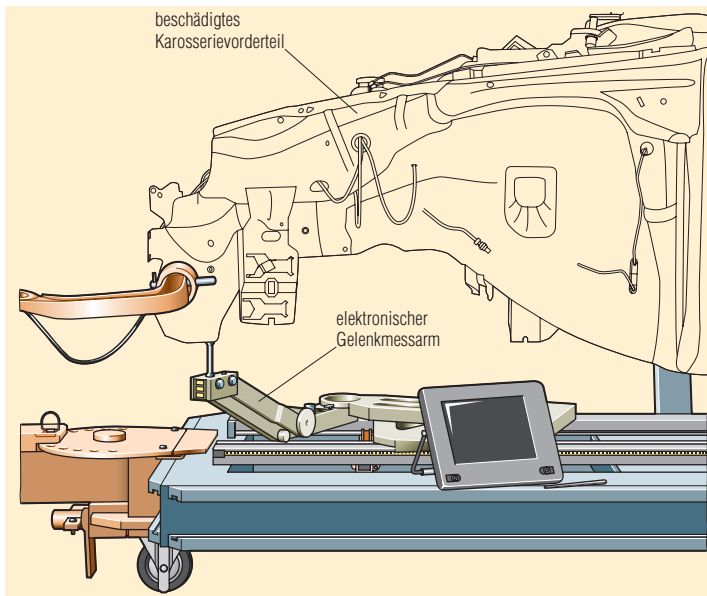


Bild 31.7 Mechanisch-elektronische Karosserievermessung.

31.3 Rückverformen beschädigter Karosserieteile

Beim Rückverformen werden beschädigte Karosserieteile gerichtet und nicht durch ein gleichwertiges Teil ersetzt. Zwei Grundsätze müssen beachtet werden:

- Zugrichtung ist gleich der Stoßrichtung (Bild 31.8),
- deformierte Teile vor dem Richten nicht demonstrieren.

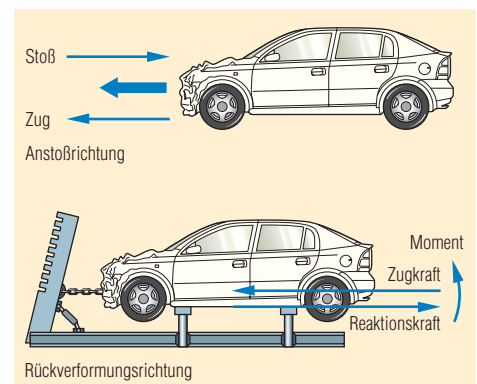


Bild 31.8 Wirkungslinie beim Rückverformen.

Frontschäden. Die Karosserie muss vor dem Ziehen über Winkelsätze fest mit der Richtbank verankert werden. Die an der Karosserie und dem Richtbalken fest verankerte Kette überträgt die Zugkraft. Mit Umlenkrollen kann die Rückverformungsrichtung eingestellt werden. Bei größeren Deformationen ist es oft notwendig, an mehreren Stellen gleichzeitig zu ziehen.

Seitenschäden. Seitliche Beschädigungen sind schwieriger zu beheben, weil die Verankerung der Kette an der Karosserie problematisch ist. Bei einem eingedrückten Schweller müssen erst Verankerungs- und Haltemöglichkeiten geschaffen werden. Beschädigungen an den Säulen sind leichter zurückzuverformen, solange diese nicht geknickt sind und die Kette um die Säule gelegt werden kann. Während des Ziehens müssen an passender Stelle Entlastungsschläge an der Karosserie durchgeführt werden.

31.4 Handwerkliche Instandsetzung

Vor jeder Instandsetzung sollte eine Kalkulation zur Schadensbehebung erstellt werden. Damit erfasst man nicht nur die Kosten, sondern auch die Reparaturmethode.

Ist nur ein Verkleidungsteil beschädigt, z. B. der Kotflügel oder die Motorhaube, ist der Einsatz eines Richt- und Prüfsystems nicht erforderlich. Dann genügen handwerkliche Reparaturarbeiten mit einfachen Mitteln, hier z. B. der Reparaturverlauf beim Ersetzen eines vorderen Kotflügels:

- Anbauteile entfernen (Stoßfänger, Beleuchtungseinrichtungen).
- Kotflügel wenn möglich abschrauben. Angeschweißte Kotflügel mit Punktschweißfräser ausbohren.
- Verbindungsteile (Karosserieteile, die der Kotflügel berührt) bei Bedarf wieder in Form und Lage bringen.
- Neue Kotflügel einpassen. Maße und Form überprüfen, danach fügen.
- Anbauteile montieren.
- Spaltmaße überprüfen.

31.4.1 Ausbeulwerkzeuge und -techniken

Beim Ausbeulen versucht man jede Unebenheit zu beseitigen. Dazu werden verschiedene Werkzeuge benötigt.

Ausbeulhammer. Eine Delle wird mit dem Ausbeulhammer mit gezielten Schlägen gerichtet. Um das Blech nicht unnötig zu beschädigen, sind die Schlagflächen leicht gerundet und glatt. Der Ausbeulhammer hat zwei unterschiedlich geformte Schlagflächen (Bild 31.9). Die quadratische wird benutzt, um Ränder oder abgekantete Flächen zurückzuverformen. Wird das Blech

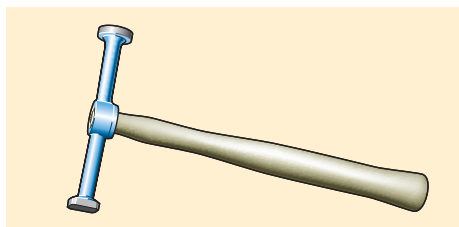


Bild 31.9 Ausbeulhammer.

zu dünn geklopft, kann es durch die zusätzliche Kaltverfestigung zu Rissbildungen kommen.

Feilhammer. Größere weiche Beulen müssen über die ganze Fläche eingezogen, d.h. verkürzt, werden. Dazu hat die Schlagfläche des Feilhammers eine geriffelte Oberfläche. Setzt man einen Schlag, so drücken die Spitzen der Schlagfläche das Blech in die Vertiefung. Auf diese Art verkürzt sich das verformte Blech.

Spannhammer. Mit dem Spannhammer werden kleine Strecken verlängert (Bild 31.10). Hebt sich ein verformtes Blech wegen einer leichten Wölbung, so wird es diagonal an der kurzen Strecke durch gezielte Hammerschläge verlängert und dabei die Blechdicke verringert. Meist hat der Hammer eine leicht ballige Schlagfläche. Die andere Schlagfläche ist quadratisch und fast eben.

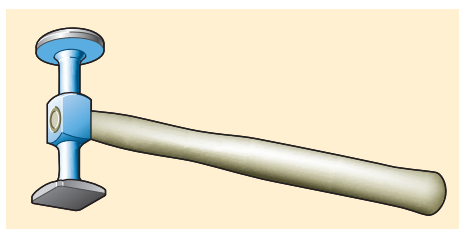


Bild 31.10 Spannhammer.

Schlichthammer. Für weitere Nacharbeiten, z. B. Verzinnen oder Spachteln, sollte die bearbeitete Fläche so eben wie möglich sein. Dies erreicht man mit dem Schlichthammer. Mit leichten Schlägen erzielt man fast ebene oder glatte Oberflächen.

Gegenhalter. Bleche können nur gezielt rückverformt werden, wenn den Hammerschlägen eine Gegenkraft entgegenwirkt. Dazu dient der Gegenhalter, den man in der anderen Faust hält (Bild 31.11). Die Schlagrichtung des Hammers und die Achsrichtung des Gegenhalters dürfen nicht übereinstimmen, da dies zu einer weiteren Streckung des Bleches führen würde.



Bild 31.11 Gegenhalter.

Einen Gegenhalter, der eine ungleiche Form aufweist und dazu als Schlagwerkzeug benutzt werden kann, bezeichnet man als Universalfaust.

Stark geformte Karosserieteile, z. B. Kotflügel oder Schweller, haben wenig Platz für Gegenhalter. Eine schienenförmige Handfaust lässt sich an der Innenseite der Karosserie als Gegenkraft einsetzen.

Müssen stark gerundete Karosserieteile rückverformt werden, setzt man eine diaboloförmige Faust ein. Ein solcher Gegenhalter formt das Blech beim Ausbeulen mit.

Besteht die Gefahr, dass das Blech vom Gegenhalter gleitet, benutzt man Kastenfeilen. Dies sind Gegenhalter mit einer geriffelten Oberfläche.

Kleinere Dellen und Hagelschäden lassen sich nach Erwärmen des betreffenden Karosserieabschnitts mit geeigneten Werkzeugen herausdrücken ohne die Lackierung zu beschädigen.

31.4.2 Abschnittsreparatur

Karosserien haben vorgesehene Trennlinien. Wird an diesen Solltrennlinien ein Karosserieabschnitt herausgetrennt und ersetzt, ist die Sicherheit des Fahrzeuges nicht herabgesetzt. Abschnittsreparaturen sind eindeutig und leicht zu kalkulieren.

Schnittlinienverlauf. Der Verlauf von Trennlinien und die passenden Werkzeuge sind in den Versuchswerkstätten der Automobilhersteller ermittelt worden. An tragenden Bauteilen entspricht der Trennlinien- und Fügeverlauf einer Zickzack-Kurve. Damit erreicht man eine hohe Torsionsfestigkeit im Vergleich zu Stumpfnahverbindungen (Bild 31.12).

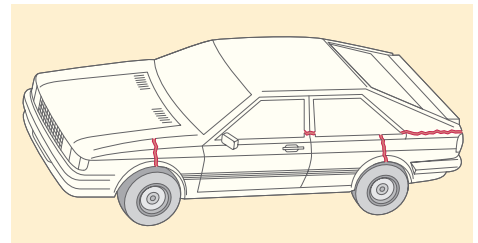


Bild 31.12 Schnittlinienverlauf.

Austrennen. Es müssen Werkzeuge und Arbeitstechniken angewendet werden, die einen verzugfreien Trennschnitt sicherstellen. Bei Hand- und Maschinenscheren ist die Trennrichtung zu beachten, weil sich eine Seite des Bleches stark verformt. Mit Sägen sind beliebige Schnittformen und Trenntiefen möglich. Nur in Ausnahmefällen wird thermisch getrennt. Schneidbrenner erhitzen alle um- und tieferliegenden Karosserieteile und es besteht Brandgefahr.



31.4.3 Scheibenreparatur

Sicherheitsglas wird bei der Herstellung erhitzt und schnell abgekühlt. Dadurch entstehen an der Oberfläche Druckspannungen und im Inneren Zugspannungen. Das Sicherheitsglas ist kratzfest und hat eine 5- bis 10-fach höhere Festigkeit als vor der Wärmebehandlung. Bei einer Zerstörung der Frontscheibe entstehen kleine Glaskrümel, die die Verletzungsgefahr stark reduzieren (Bild 31.13). Allerdings hat der Fahrer durch die Krümelstruktur keine Sicht mehr.

Front- und Heckscheiben tragen wesentlich zur Karosseriefestigkeit bei. Deshalb dürfen mit beschädigten Scheiben keine Fahrten mehr unternommen werden.

Verbundsicherheitsglas. Bei Verbundsicherheitsglas (VSG) werden zwei Einzelscheiben mit einer durchsichtigen Folie verklebt (Bild 31.14). Solche Scheiben behindern die Sicht des Fahrers nicht, wenn sie beschädigt werden.

Scheibenaustausch. Bei den meisten Pkws sind Front- und Heckscheiben geklebt. Die Reparaturrichtlinien schreiben die Reihenfolge der Demontage defekter Scheiben mit Spezialwerkzeug vor. Es gibt folgende Möglichkeiten Scheiben zu entfernen:

- Der Fahrzeughersteller hat bei der Erstmontage einen Draht eingelegt, der als „Stromleitung“ benutzt wird. Die Leitung (Draht) wird erwärmt und löst die Klebeverbindung auf.
- Mit einem speziellen Draht kann unter Sägebewegungen das Verbindungs- und Dichtungsmaterial aufgetrennt werden.
- Mit einem besonders geformten Schnittmesser lässt sich die Fahrzeugscheibe austrennen.

Vor dem Einbau der neuen Scheibe muss die alte Klebeschicht entfernt und die neue vorbereitet werden. Nach dem Auftragen der Klebe- und Dichtungsmassen an der Karosserie oder Scheibe wird die Scheibe zu zweit vorsichtig aufgesetzt, korrigiert, gleichmäßig angedrückt und fixiert. Nach dem Einbau muss der Kleber aushärten.

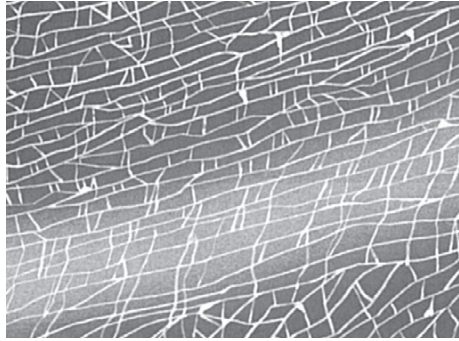


Bild 31.13 Krümelstruktur einer beschädigten Frontscheibe.

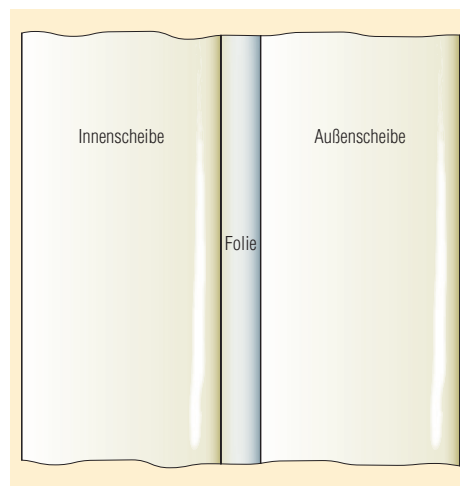


Bild 31.14 Verbundsicherheitsglas (VSG).

Scheibenreparatur. Sofern die Beschädigung der Scheibe nicht im Sichtbereich des Fahrers liegt und der Schaden eine bestimmte Größe nicht übersteigt, kann diese repariert werden.

Nach dem Reinigen der beschädigten Stelle wird die Luft an der Schadstelle abgesaugt und Füllharz aufgebracht sowie Spezialharz zum Aushärten aufgetragen. Die Harze reagieren unter UV-Licht. Anschließend werden Überstände entfernt und die Reparaturstelle wird poliert.

31.4.4 Oberflächentechniken

Nach dem Ausbeulen wird mit dem Schlichthammer die Form exakt hergestellt und die Oberfläche geglättet. Restliche Unebenheiten werden verspachtelt oder verschwemmt und neu lackiert.

Verspachteln. Kleinere Unebenheiten an nichttragenden Karosserieteilen können damit schnell und einfach eingeebnet werden. Gute Spachtelmassen sind elastisch und haften gut. Sollte die Spachtelmasse abplatzen, hat das folgende Ursachen: Ungenügendes Mischen, zu dickes Auftragen und das Nichtbeachten von Aushärtezeiten. Jeder Karosseriewerkstoff kann verspachtelt werden.

Verschwemmen. Der Werkstoff zum Verschwemmen, eine Blei-Zinn-Legierung, wird mithilfe des Schweißbrenners erwärmt. Dabei hält man in einer Hand den Brenner und in der anderen, wie einen Hammerstiel, den stabförmigen Schwemmwerkstoff. Mit weicher Flamme wird der Schwemmstab an der Spitze so lange erwärmt, bis man ihn an der Reparaturstelle platzieren kann. Danach werden die Reparaturstelle und das aufgesetzte Schwemmozinn erwärmt, sodass es mit einem Holzspachtel gleichmäßig verteilt werden kann. Das Verteilen des teigigen Schwemmlotes und das Entfernen des überschüssigen Materials ist eine handwerkliche Kunst.

Schleifen. Durch Spachteln oder Verschwemmen behandelte Reparaturstellen müssen vor dem Lackieren geschliffen werden. Für das grobe Schleifen setzt man Handschleifer mit Absaugeinrichtung ein. Achtung: Augen- und Mundschutz tragen. Mit grobem Schleifpapier (Körnung 120 bis 300) können Formen korrigiert werden. Schleifpapiere mit feinerer Körnung werden nur zum Glätten verwendet.

Zur Reduzierung der beim Schleifen entstehenden Wärme und zum Wegspülen des Schleifstaubes wird meist Wasser benutzt.

Schleifpapier gleicher Körnung erzeugt beim Nassschliff eine feinere Oberfläche als beim Trockenschliff.

Lackieren. Die Reparaturlackierung besteht aus Grundierung, Füller und Decklack. Eine Grundierung ist immer dann notwendig, wenn der Altlack bis auf das blanke Blech abgeschliffen wurde. Zuerst wird die Schadensstelle mit dem Grundfüller lackiert, nach einer bestimmten Ablüftungszeit erfolgen eine oder mehrere Lackierungen, die auch die angrenzenden unbeschädigten Bereiche mit einschließen.

In der Reparaturlackierung gibt es Füller mit Phosphatanteil. Das Phosphat schließt metallische Poren und ist ein guter Haftvermittler zwischen blanken metallischen Werkstoffen und Lackschichten.

Decklackierung. Mit dem Decklack und seinen Farbpigmenten erhält das Fahrzeug sein endgültiges Aussehen. Acrylharzlacke sind witterungs- und alterungsbeständig und bilden deshalb die oberste Schicht. Spritzt man zuvor noch einen Metalllack oder Lack mit Perlmutt-Pigmenten, erhält man Lackierungen mit besonderen optischen Effekten.

31.4.5 Reparatur von Kunststoffteilen

Stoßfänger oder großflächige Karosserieteile aus Kunststoff müssen nach genauer Herstellervorschrift repariert werden. Risse werden an ihrem Anfang und Ende ausgebohrt. Danach wird der Riss je nach Form und Tiefe spanend bearbeitet, damit der gleiche Kunststoff in teigiger Form aufgebracht werden kann. Um die Festigkeit der Reparaturstelle zu verbessern, kann das Einbringen eines Glasgittergewebes notwendig werden. Zuviel aufgetragener Reparatur-Kunststoff wird spanend abgetragen.



Arbeitsaufträge

1. Wie gehen Sie beim Ermitteln von versteckten Schäden vor? Legen Sie einen übersichtlichen Ablaufplan an.
2. Eine beschädigte Tür wurde ersetzt. Welche Prüfmittel sind für die Überprüfung der Maßgenauigkeit erforderlich?
3. Ordnen Sie Breite, Länge und Höhe eines Kraftfahrzeugs zeichnerisch der X-, Y- und Z-Achse zu.
4. Beschreiben Sie die Arbeitsschritte beim Rückverformen eines beschädigten Karosserieteils mit einem einfachen Zuggerät.
5. Wie können mit einfachen Prüfmitteln Lageveränderungen von Karosserie- und Bauteilen ermittelt werden?
6. Was sollte die Kalkulation für eine handwerkliche Schadensbehebung alles enthalten?
7. Beschreiben Sie den Reparaturverlauf an einer beschädigten und zu ersetzenden Heckklappe. Welche Teile könnten noch in Mitleidenschaft gezogen worden sein?
8. Ermitteln und skizzieren Sie mithilfe von Reparaturleitfäden verschiedene Schnittlinienverläufe.
9. Warum sollte man zum Durchtrennen von Karosserieteilen keinen Schneidbrenner einsetzen?

32 Energieversorgung

Die Energieversorgung eines Kraftfahrzeuges wird durch das Zusammenwirken von Batterie und Generator unter allen Betriebsbedingungen sichergestellt. Voraussetzung dafür ist eine genaue Abstimmung zwischen der Generatorleistung, der Batteriekapazität und dem Leistungsbedarf aller elektrischen Verbraucher (Energiewandler) einschließlich des Starters. Bei Motorstillstand muss die Batterie ausreichend

elektrische Energie gespeichert haben um den Motor des Fahrzeuges zu starten und andere elektrische Verbraucher für eine gewisse Zeit mit Energie zu versorgen. Nach dem Start übernimmt der Generator die Energieversorgung der Verbraucher und lädt gleichzeitig die Batterie auf. Bild 32.1 verdeutlicht das Zusammenwirken der Bauteile.

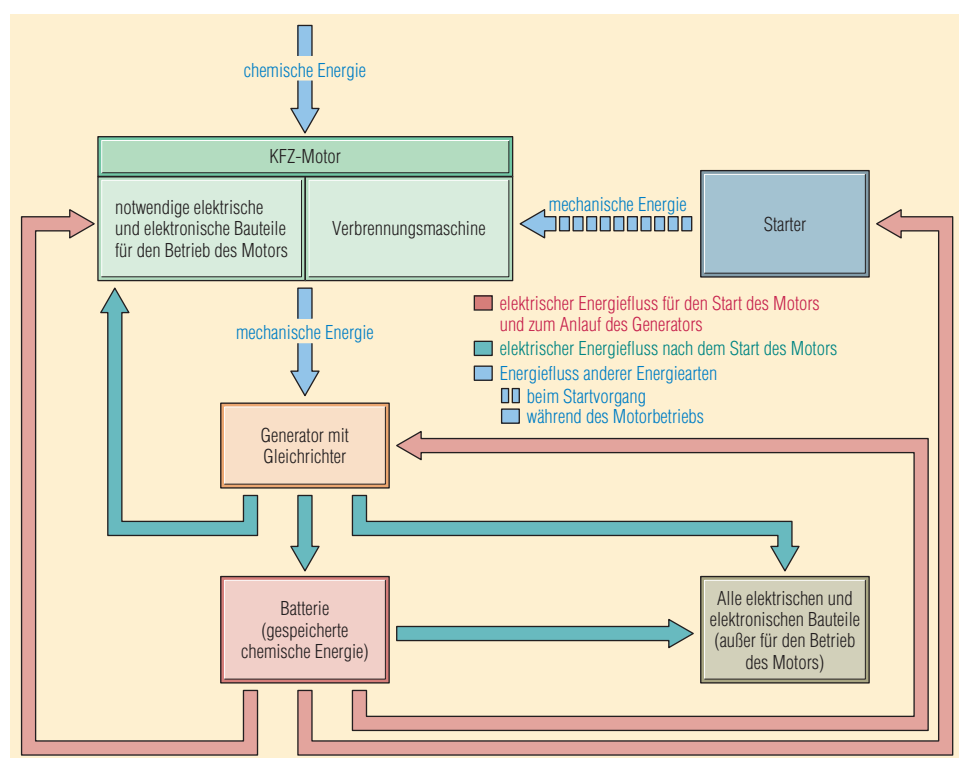


Bild 32.1 Zusammenwirken von Generator, Batterie, Starter und anderen elektrischen Verbrauchern beim Start und bei laufendem Motor.

32.1 Drehstromgenerator

32.1.1 Anforderungen und Eigenschaften

Immer mehr elektrische und elektronische Bauelemente in Kraftfahrzeugen führen zu einem steigenden Bedarf an elektrischer Energie. Tabelle 32.1 gibt beispielhaft den Leistungsbedarf einzelner elektrischer Verbraucher während des Betriebs an.

Gemischaubereitung	Beleuchtung	Sicherheits- / Komfortelektronik
Zündung ca. 20 W	Abblendlicht ca. 110 W	Fensterheber ca. 150 W
Kraftstoffpumpe ca. 60 W	Fernlicht ca. 120 W	Kühlergebläse ca. 200 W
Benzineinspritzung ca. 60 W	Nebelscheinwerfer ca. 100 W	Heckscheibenheizung ca. 120 W
Motormanagement ca. 200 W	Blinkleuchte jeweils ca. 21 W	Radio ca. 15 W
Starter ca. 800 bis 3000 W	Parkleuchte jeweils ca. 5 W	Scheibenwischer ca. 80 W
Glühkerze pro Stück ca. 100 W	Bremsleuchten ca. 60 W	Wagenheizer ca. 60 W
Tabelle 32.1	Ungefährender Leistungsbedarf ausgewählter elektrischer Verbraucher.	

Ungünstig für die Energieerzeugung sind Fahrten mit niedriger Motordrehzahl und hohem Anteil an Leerlaufzeiten des Motors. Gerade dies sind aber Folgen des immer dichter werdenden Autoverkehrs. Auch unter diesen Betriebsbedingungen sollte die Leistungsabgabe des Generators so groß sein, dass er die Batterie des Fahrzeuges aufladen kann.

Ein Generator muss folgende Eigenschaften erfüllen:

- hohe Drehzahl des Generators schon bei niedriger Motordrehzahl, da die Energieerzeugung mit der Drehzahl ansteigt. Das optimale Übersetzungsverhältnis zwischen der Kurbelwelle des Motors und dem Generator liegt zwischen 1:2 und 1:3,
- gute Kühlung der Generatorbauteile (Luft- oder Wasserkühlung), dadurch besserer Wirkungsgrad und längere Lebensdauer,
- Schutz der elektronischen Bauteile vor äußeren Einflüssen (Wasser, Schmutz, Streusalz ...),
- geringes Gewicht und kleine Abmessungen,
- geringe Geräuscentwicklung während des Betriebes,
- Leistungsabgabe bereits im Leerlauf,
- wartungsarm.

32.1.2 Aufbau

Die wesentlichen Bauteile des Generators zeigt Bild 32.2:

Über die Riemenscheibe (1) wird der Generator durch den Motor angetrieben. Mit ihr ist die Läuferwelle (2) verbunden, auf der die beiden Polradhälften (3a; 3b) befestigt sind. Dazwischen liegt die ringförmige Erregerwicklung (4), deren elektrischer Kontakt über zwei Kohlebürsten (5) hergestellt wird, die auf die beiden Schleifringe (6)

(6) drücken. Das Magnetfeld der Polräder schneidet die Ständerwicklungen des am Gehäuse (7) befestigten Ständers (8). Für eine ausreichende Kühlung der Bauteile sorgen zwei innen liegende Lüfter (9). Der Gleichrichter (10) besteht aus sechs Leistungsdioden zur Gleichrichtung des erzeugten Drehstromes. Zur Kühlung der Dioden sind diese in Kühlbleche eingepresst. Ein im Gehäuse integrierter elektronischer Regler (11) hält die Generatorspannung bei allen Drehzahlen und Belastungsfällen konstant. Meist ist er auf einem Bürstenhalter montiert. Damit entfällt die Verkabelung mit dem Generator.

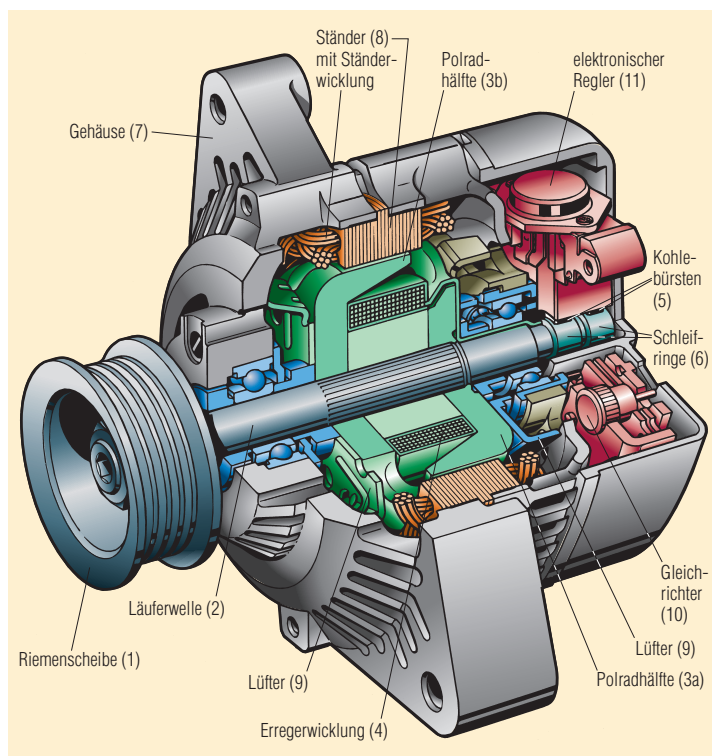


Bild 32.2 Aufbau eines Generators (Compact-Ausführung).

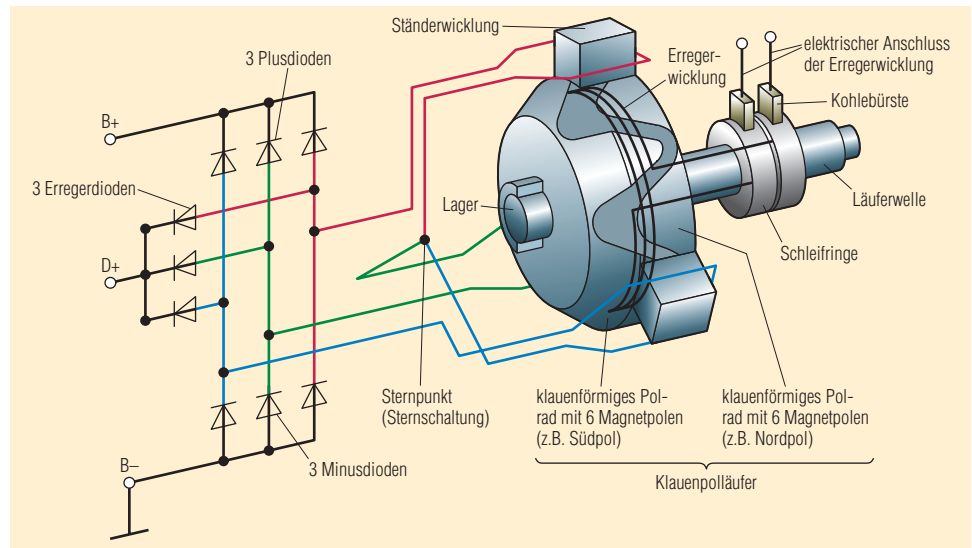
32.1.3 Prinzip des Drehstromgenerators

Induktion → S. 102

Ein drehendes magnetisches Feld schneidet umlaufend eine elektrische Leiterschleife (Spule). Dort **induziert** es durch die sich ständig ändernde Magnetfeldstärke eine Wechselspannung.

Im Drehstromgenerator wird das drehende elektromagnetische Feld durch den Klauenpolläufer erzeugt. Er besitzt jeweils sechs Nord- und sechs Südpole, die auf seinem Umfang verteilt sind.

Bei jeder Umdrehung des Läufers schneidet sein Magnetfeld die drei Wicklungen (Spulen) des Ständers und induziert somit (3 mal 6) vollständige Sinuswellen. Der erzeugte Drehstrom wird in einer elektrischen Sternschaltung zusammengeführt und mithilfe von sechs Dioden gleichgerichtet (Bild 32.3).



Gleichrichterdiode
→ S. 115

Bild 32.3 Läuferwelle, Ständerwicklung und elektrische Gleichrichtung des Drehstromes (Prinzipbild).

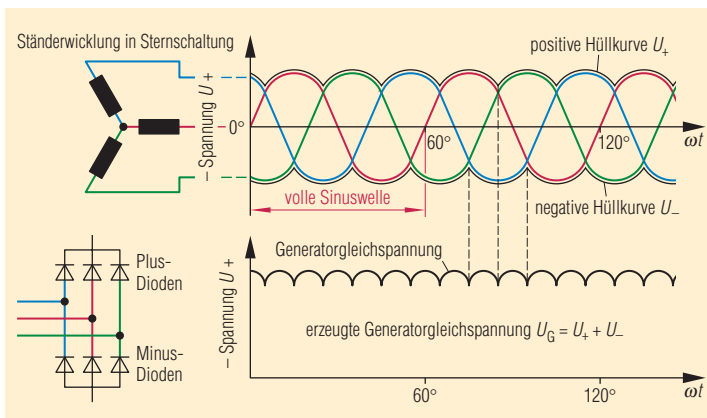


Bild 32.4 Induzierte Drehstromspannungen in den Ständerwicklungen und anschließende Gleichrichtung.

Die in den drei Wicklungssträngen erzeugten negativen Halbwellen werden von den „Minusdioden“ durchgelassen, die positiven Halbwellen von den „Plusdioden“. Somit werden für die Erzeugung des Gleichstromes sowohl die negativen als auch die positiven Halbwellen berücksichtigt. Als Folge entsteht eine Gleichspannung geringer Welligkeit (Bild 32.4).

Die vorliegende Anordnung der **Gleichrichterdiode**n verhindern zusätzlich, dass bei stehendem Motor oder geringer Motordrehzahl ein Strom von der Batterie zu den Phasenwicklungen im Ständer fließen kann (Rückstromschutz).

32.1.4 Stromkreise des Generators

Drehstromgeneratoren besitzen drei Stromkreise. Ihr Zusammenwirken verdeutlicht Bild

32.5, während die genauen Aufgaben durch die Tabelle 32.2 erklärt werden.

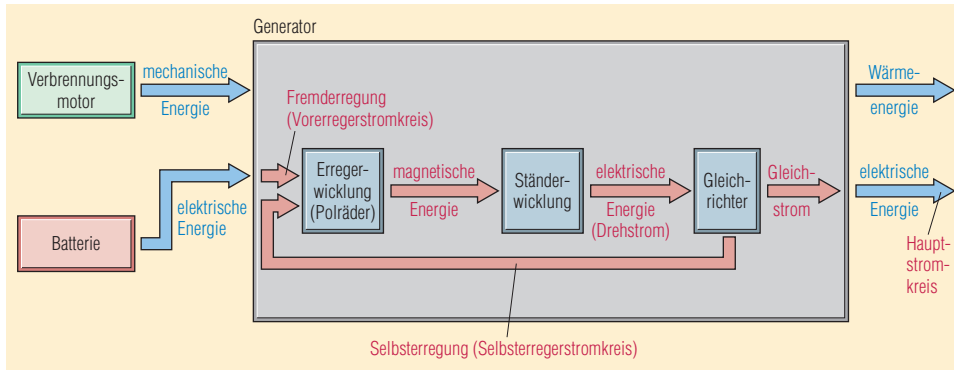


Bild 32.5 Energiefluss in den elektrischen Baugruppen des Drehstromgenerators.

Bezeichnung des Stromkreises	Vorerregerstromkreis	Erregerstromkreis	Generatorstromkreis (Hauptstromkreis)
Schaltplan 1 Generator 1a Erregerdioden 1b Dioden in Plusplatte 1c Dioden in Minusplatte 1d Erregerwicklung 2 Regler 3 Generatorkontrolllampe 4 Zündschalter 5 Batterie			
Aufgabe des Stromkreises	<p>Nach Betätigung des Zündschalters baut der Batterie-strom im Läufer ein Magnet-feld auf. Dieses induziert beim Starten des Motors in den Ständerwicklungen eine Spannung. Dabei muss diese so hoch sein, dass sie den Spannungsabfall an beiden Dioden ($2 \cdot 0,7\text{ V}$) im Erregerstromkreis über-steigt. Die Höhe des Vor-erregerstromes wird durch die Leistung der Genera-torkontrolllampe (= elektr. Widerstand) bestimmt. Sie erlischt, sobald die erzeugte Spannung des Generators höher ist als die Batterie-spannung.</p>	<p>Während der Generator angetrieben wird, baut der Erregerstrom in der Erre-gerwicklung des Läufers ein Magnetfeld auf. Dieses induziert in den Wicklungen des Ständers die Generatorspan-nung. Die dabei erzeugte Strommenge ist um ein Viel-faches größer als die Menge, die in der Erregerwicklung zum Aufbau des Magnet-feldes benötigt wird. Somit kann der Erregerstrom kon-tinuierlich aus der eigenen Stromerzeugung abgezweigt werden (Selbsterregung). Es wird keine andere Strom-quelle hierzu benötigt.</p>	<p>Die in den drei Phasen des Drehstromgenerators induzierte Drehspannung muss gleichgerichtet an die Batterie und die Verbrau-cher weitergeleitet werden. Damit der Strom in die beschriebene Richtung flie-ßen kann, muss die erzeugte Spannung des Generators geringfügig höher sein als die Batteriespannung.</p>

Tabelle 32.2

Übersicht der Stromkreise eines Drehstromgenerators.

32.1.5 Spannungsregler

Integrierte Schaltungen → S. 124

Der Spannungsregler hat die Aufgabe die Generatorspannung (zwischen den Klemmen B⁺ und B⁻) zu begrenzen und über den gesamten Drehzahlbereich des Motors und unter allen Belastungszuständen konstant zu halten. Die Batterie und die angeschlossenen Verbraucher werden so vor einer möglichen Zerstörung geschützt. Bei einer Bordnetzspannung von 12 V arbeitet der

Regler in einem Toleranzfeldbereich von 14 V. Bild 32.6 stellt den Ablauf des Regelkreises zur Spannungsstabilisierung dar.

Die Regelzyklen liegen im Bereich von Millisekunden. Eingesetzt werden elektronische Spannungsregler in Hybrid- oder Monolithtechnik.

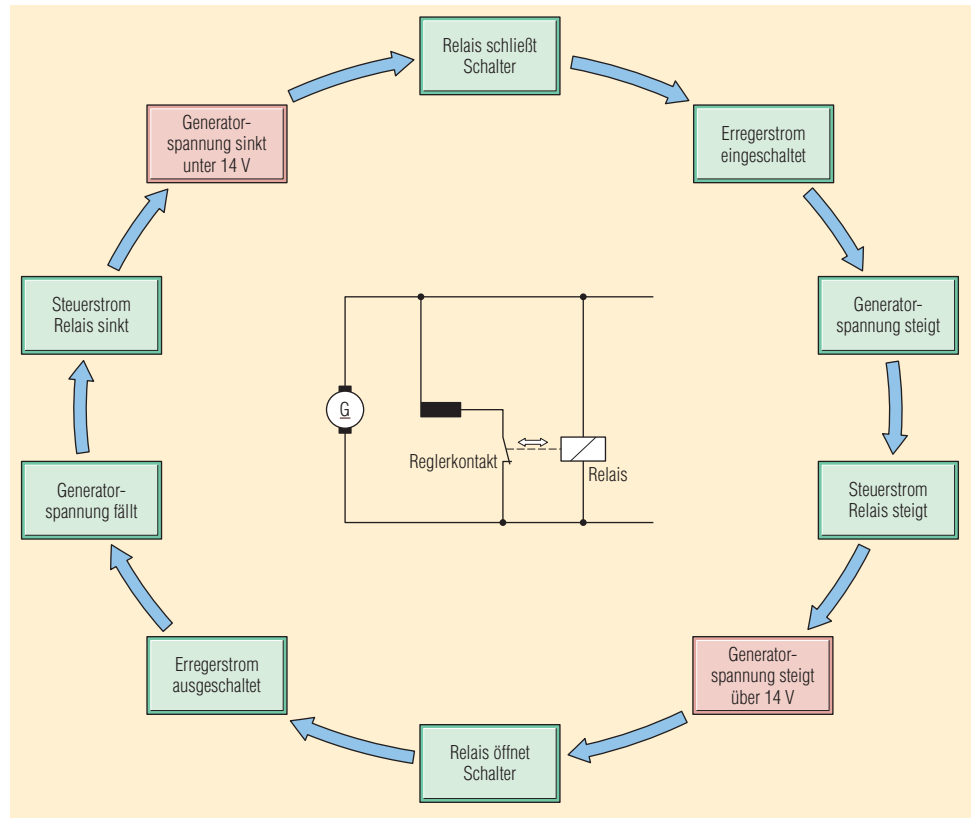


Bild 32.6 Regelung der Generatorspannung.

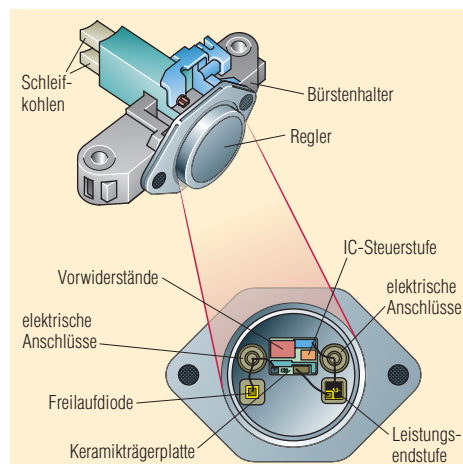


Bild 32.7 Regler mit Innenansicht.

Regler in Hybridtechnik. Der Hybridregler wird direkt am Generator montiert. Der elektrische Kontakt wird über zwei Schleifkohlen hergestellt, eine Verkabelung entfällt. Der Regler enthält in einem gekapselten Gehäuse eine Keramikplatte mit Widerständen in Dickschichttechnik und einen aufgeklebten Schaltkreis (IC), der alle Steuer- und Regelungsfunktionen übernimmt. Um eine gute Wärmeableitung zu sichern, sind die Leistungsbauelemente (Transistoren und Freilaufdiode) direkt auf dem Metallsockel aufgelötet (Bild 32.7).

Der Regler zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- kompakte Bauweise,
- geringes Gewicht,
- hohe Zuverlässigkeit, da nur wenige Bauteile und Verbindungsstellen,
- unempfindlich gegen Stoß, Vibrationen und klimatische Einflüsse.

Eine vereinfachte elektrische Schaltung des Reglers zeigt Bild 32.8.

Funktion: Der Spannungsteiler, der aus den Widerständen R_1 und R_2 besteht, erfasst den Istwert der Generatorspannung zwischen den Klemmen D^+ und D^- . Parallel zu R_2 ist die Zener-Diode geschaltet. Sie arbeitet als Sollwertgeber des Reglers, da an ihr stets eine zur Generatorspannung proportionale Teilspannung anliegt. Die beiden PNP-Transistoren T_1 und T_2 schalten zwischen den beiden Zuständen „Erregerstrom EIN“ und „Erregerstrom AUS“ um. Die Transistoren sind geschaltet, wenn Basis und Kollektor negativ gegenüber dem Emitter gepolt sind.

Regelzustand EIN: Liegt der Istwert der Generatorspannung unter dem Sollwert, ist die Durchbruchspannung der Zenerdiode noch nicht erreicht. Es fließt kein Strom über die Basis des Transistors T_2 , dieser ist gesperrt. Dies bedingt, dass die Basis von T_1 über den Widerstand R_3 an D^- anliegt, der Transistor ist geschaltet. Der Strom fließt über die Emitter-Kollektorstrecke des geschalteten Transistors T_1 an die Klemme DF, die Generatorspannung steigt an. Gleichzeitig steigt auch die Spannung am Sollwertgeber (Z-Diode).

Regelzustand AUS: Mit dem Erreichen der Durchbruchspannung wird die Z-Diode leitend. Über den Widerstand R_2 wird die Basis des Transistors T_2 negativ, der Transistor schaltet durch. Dadurch erhält die Basis von T_1 eine positive Spannung. Der Transistor leitet nicht mehr und sperrt hierdurch den Erregerstrom. Die Erregung klingt ab und die Generatorspannung sinkt. Nach Unterschreiten des Sollwertes sperrt die Z-Diode wieder und der Regelzustand EIN beginnt erneut.

Bei Unterbrechung des Erregerstromes entsteht durch die gespeicherte magnetische Energie in der Erregerwicklung eine Spannungsspitze, wodurch die Transistoren möglicherweise zerstört werden könnten. Dies verhindert die Freilaufdiode, die parallel zur Erregerwicklung geschaltet ist. Sie nimmt den Erregerstrom im

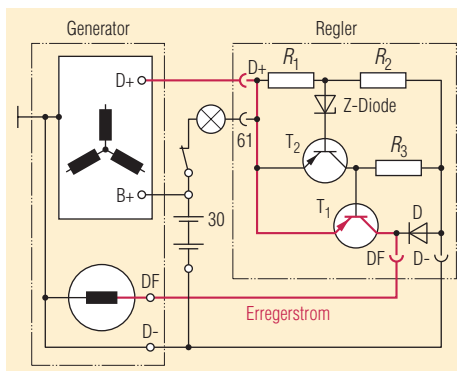


Bild 32.8 Reglerschaltung vereinfacht.

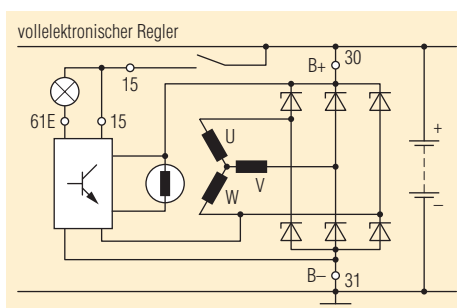


Bild 32.9 Multifunktionsregler.

Moment der Unterbrechung auf und verhindert das Entstehen von Spannungsspitzen.

Regler in Monolithtechnik. Der Regler ist eine Weiterentwicklung des Hybridreglers. In einem Chip sind die Leistungsstufe, die Funktion des IC und die Freilaufdiode integriert. Aufgrund der kompakten Bauweise (wenige Verbindungen und Bauelemente) arbeitet der Regler noch zuverlässiger. Eine spezielle Ausführung stellt der Multifunktionsregler (vollelektronisch gesteuerter Regler) dar (Bild 32.9).

Die Vorerregung ist unabhängig von der Ladekontrollleuchte, daher kann der Regler mit einer LED-Anzeige betrieben werden. Die oftmals störende Verlustleistung der Generatorkontrolllampe kann reduziert werden. Zusätzlich kann die Leuchte Systemfehler anzeigen. Der Regler bestimmt in allen Betriebszuständen den Erregerstrom vollelektronisch. Der Anschluss W liefert ein der Drehzahl proportionales Signal, der Istwert der Spannung wird über die Klemme B+ ermittelt. Das Signal „Generator lädt“ steht an Klemme 61E (E = elektronisch) zur Verfügung. Der Erregerstromkreis bildet sich aus einem Teilstrom der Ständerwicklung U, V, W. Dieser wird

über die Erregerwicklung, die Reglerendstufe und die Minusdioden zurück zur Ständerwicklung geführt. Multifunktionsregler bieten folgende Vorteile:

- Integrierte Fehlererkennung, die über die Ladekontrollleuchte angezeigt wird, z. B. Generator lädt nicht, Ausfall des Riementriebs, Erregungsunterbrechung, Überspannung des Reglers, Unterbrechung der Ladeleitung.
- Startregelung LRS (Load-Responses-Start-Funktion). Sie verhindert, dass der Generator bereits beim Motorstart Strom abgibt. Für den Starter ergibt sich hieraus ein geringerer mechanischer Widerstand. Speziell bei tiefen Temperaturen verbessert sich das Startverhalten.
- Geregelter Lastaufschaltung LRD (Load-Responses-Drive-Funktion). Im Motorleerlauf und bei niedrigen Drehzahlen führt das Zuschalten großer Verbraucher zu Drehzahlschwankungen, weil es zu einem plötzlichen Anstieg des Erregerstromes kommt. Die LRD-Funktion sorgt für eine weiche Lastaufschaltung bei Änderung der Generatorbelastung. Bei mittleren und hohen Drehzahlen greift diese Funktion nicht ein.

Funktion: Auf dem feststehenden Innenpol sitzt die Erregerwicklung. Diese wird von dem Leitstückläufer umlaufen, der aus wechselweise angeordneten Polfingern besteht. Ein Klauenpol ist mit der rotierenden Welle verbunden, der zweite Pol ist an diesem über einen nichtmagnetischen Zwischenring befestigt. Der Erregerstrom wird über feststehende Anschlüsse zugeführt und baut das Erregerfeld auf. Es magnetisiert die Polfinger, ein rotierendes Magnetfeld baut sich auf, das Feld induziert in der außenliegenden Ständerwicklung eine dreiphasige Wechselspannung. Bürsten und Schleifringe können entfallen. Dafür muss der magnetische Fluss zwei zusätzliche Luftspalte zwischen dem umlaufenden Polrad und dem feststehenden Innenpol überwinden. Generatoren mit Leitstückläufer gibt es in luft- und flüssigkeitsgekühlter Ausführung. Letztere Variante bietet folgende Vorteile:

- deutliche Geräuschreduzierung vor allem bei hoher Stromabgabe,
- bessere Kühlung durch gleichmäßige Wärmeableitung über die Kühlflüssigkeit des Motors.

Dadurch werden die elektrischen bzw. elektronischen Bauteile geringer beansprucht.

32.1.6 Generator mit Leitstückläufer

Diodenprüfung des Drehstromgenerators → S. 134

Dieser Typ ist eine Sonderbauform des Drehstromgenerators (Bild 32.10). Er besitzt wenige Verschleißteile und arbeitet nahezu wartungsfrei. Er wird eingesetzt, wo man eine lange Lebensdauer unter schweren Einsatzbedingungen erwartet, z. B. in Baumaschinen und Sonderfahrzeugen.

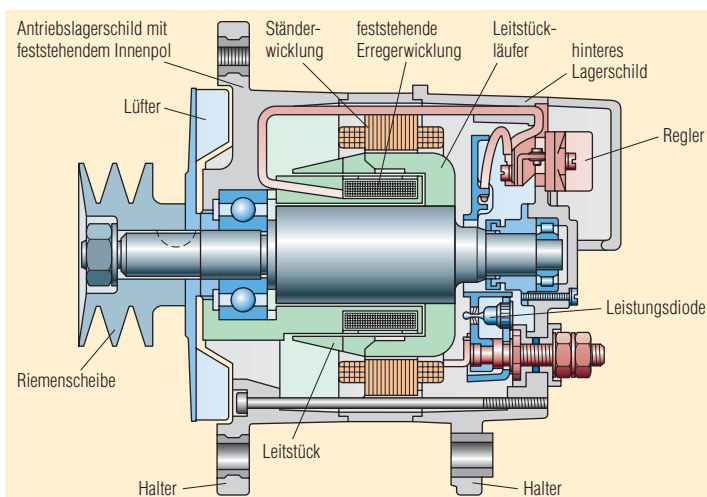


Bild 32.10 Generator mit Leitstückläufer.

32.2 Werkstattpraxis

Treten elektrische Störungen am Generator auf, können diese meist schnell gefunden werden. Für eine Überprüfung werden ein Oszilloskop, ein Spannungstester und ein Widerstandsmessgerät benötigt.

Oszilloskop. Charakteristische Fehleroszillogramme entstehen bei Unterbrechung einer Plusdiode, Erregerdiode, Minusdiode und bei Kurzschluss einer Minus- bzw. Plusdiode.

Spannungstester. (Anschluss an D+ und Masse) Überprüfung des Reglers: Die abgegebene Spannung muss bei allen Drehzahlen im Toleranzfeldbereich liegen.

Überprüfung der Plusdioden: Bei stehendem Motor darf kein Strom von der Batterie zum Generator fließen.

Widerstandsmessgerät. Die Sperrwirkung aller Dioden lässt sich im ausgebauten Zustand durch zwei Messungen überprüfen, bei denen die Anschlüsse vertauscht werden.

Überprüfung der Erreger- und Ständerwicklung auf Windungsschluss durch Vergleich der Widerstandsmesswerte mit den Herstellerangaben.

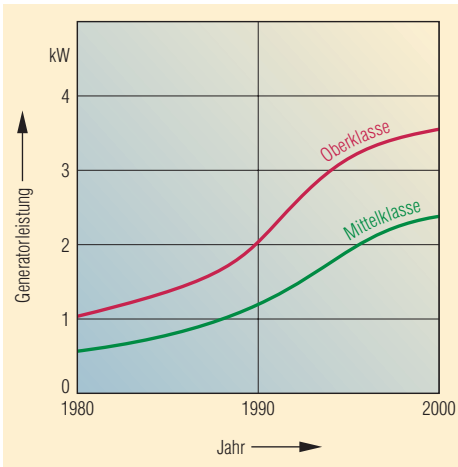


Bild 32.11 Entwicklung der Generatorleistung.

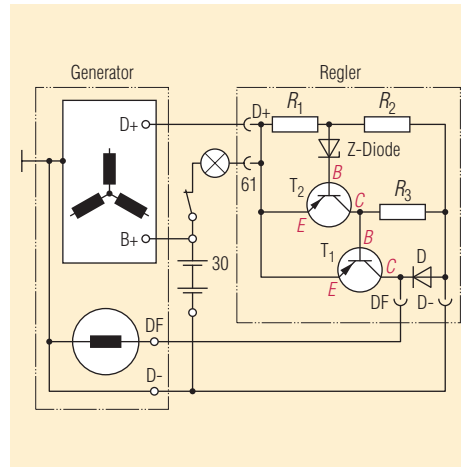


Bild 32.12 Reglerschaltung vereinfacht.

Arbeitsaufträge

- Bild 32.11 stellt die Entwicklung der Generatorleistung für Pkw von 1980 bis 2000 dar. Beschreiben und erklären Sie diese Entwicklung.
- Der abgegebene Gleichstrom eines Generators weist nur eine geringe Welligkeit auf. Führen Sie dies auf die bauartbedingte Art der Drehstromerzeugung zurück.
- Beschreiben Sie einem „Nicht-Fachmann“ die Aufgabe des Erregerstromkreises.
- Zeichnen Sie für den Regelzustand AUS den Stromverlauf in Bild 32.12 ein.
- Die Generatorlampe ist defekt. Welche Auswirkung hat dies auf die Funktion eines Generators, der mit einem Hybridregler ausgestattet ist?
- Die Freilaufdiode im Regler wird auch als Löschdiode bezeichnet. Erklären Sie die Benennung anhand ihrer Funktion.
- Bei ordnungsgemäß angeschlossener Batterie und normalen Fahrbedingungen ist kein weiterer Überspannungsschutz für die elektronischen Bauelemente im Bordnetz notwendig.
 - Welches Bauteil dämpft in der Regel alle auftretenden Spannungsspitzen?
 - Nennen Sie drei nicht reguläre Situationen, in denen es dennoch zu Überspannungen im Bordnetz kommen kann.
- Der Fahrer eines Pkws mit einem Generator mit Multifunktionsregler kommt zu Ihnen in die Werkstatt. Er beobachtet folgendes Phänomen: Wenn er im Leerlauf die Klimaanlage, Sitzheizung oder heizbare Heckscheibe einschaltet, verändert sich die Helligkeit seines Abblendlichtes. Worauf führen Sie diese Beobachtung zurück?
- Diskutieren Sie die Grenzen der 12-V-Bordspannung.

32.3 Batterie

32.3.1 Aufbau

Kfz-Batterien bestehen aus mehreren gleichen Zellen, die durch Zellverbinder zu einer Reihenschaltung verknüpft sind. Die Zelle selbst besteht aus einem Satz gitterförmiger Bleiplatten (Plus- und Minusplatten), die über Plattenverbinder elektrisch gekoppelt sind (Bild 32.13). Die Plus-

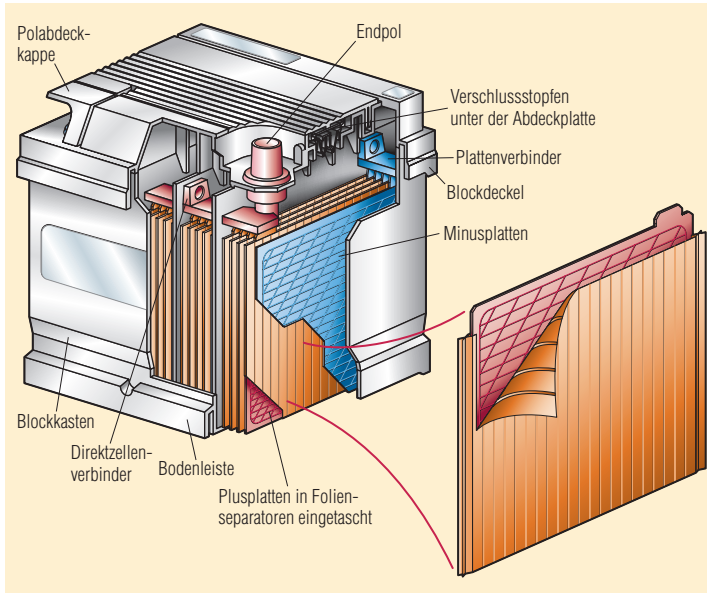


Bild 32.13 Aufbau einer Kfz-Batterie.

platten sind mit Isoliermaterial (Separatoren) verkleidet um Kurzschlüsse zu vermeiden. Verdünnte Schwefelsäure als Elektrolyt füllt den Raum zwischen den Platten und Separatoren aus. Die Spannung einer einzelnen geladenen Zelle beträgt ca. 2 V. Damit es zwischen den einzelnen Zellen nicht zu einem Kurzschluss kommen kann, sind diese in einen durch Trennwände unterteilten Blockkasten aus Kunststoff eingelassen. Die Bodenleiste am unteren Rand ermöglicht eine sichere Befestigung der Batterie im Fahrzeug. Der Blockdeckel verschließt den Blockkasten unlösbar. Der Anschluss der Batterie an das Bordnetz erfolgt über zwei Pole, die gegen Vertauschen gesichert sind.

32.3.2 Funktion der Batterie

Während des Ladevorganges führt der Generator der Batterie fortlaufend elektrische Energie zu, die eine chemische Reaktion in der Bleizelle hervorruft. Das Endprodukt dieser Umwandlungsvorgänge besitzt ein höheres Energieniveau als der Ausgangsstoff. Somit ist hier Energie chemisch gespeichert. Die Entnahme elektrischer Energie aus der Batterie kehrt die zuvor genannten chemischen Reaktionen um (Tabelle 32.3).

32.3.3 Wichtige Kenngrößen von Kfz-Batterien

Zellenspannung. Ladungsdifferenz zwischen positiven und negativen Platten im Elektrolyt. Sie ist abhängig vom Ladezustand und der Temperatur.

Nennspannung einer Zelle. Sie wird für eine geladene Zelle auf 2 V festgelegt.

Klemmenspannung. Sie ist die tatsächlich vorliegende Spannung zwischen beiden Polen der Batterie.

Nennspannung der Batterie. Sie errechnet sich aus der Anzahl der Zellen multipliziert mit der Nennspannung der Zellen ($6 \text{ Zellen} \cdot 2 \text{ V} = 12 \text{ V}$).

Verfügbare Kapazität K. Sie ist das Produkt aus Stromstärke und Zeit und entspricht der Strommenge, die einer Batterie zugeführt oder entnommen wird. Die Einheit der Kapazität wird in Amperestunden (Ah) angegeben. Sie ist abhängig von:

- Höhe des Entladestromes,
- Temperatur und Dichte des Elektrolyten,
- Ladezustand der Batterie,
- Alter der Batterie.

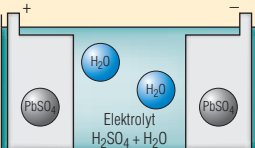
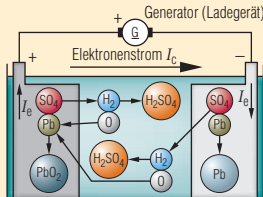
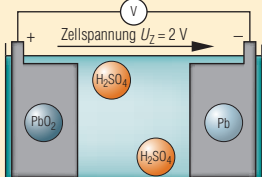
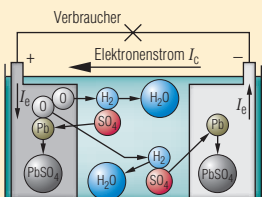
völlig entladene Batteriezelle	Laden der Batteriezelle	vollständig aufgeladene Batteriezelle	Entladen der Batteriezelle
<p>Beide Platten bestehen aus weißem Bleisulfat (PbSO_4) und sind von dem Elektrolyten umgeben. Dieser besteht aus mit Wasser (H_2O) verdünnter Schwefelsäure (H_2SO_4). Seine Dichte beträgt $\rho = 1,12 \text{ g/cm}^3$.</p>	<p>Generatorspannung zieht Elektronen aus dem Bleisulfat der Plusseite ab und drückt diese auf die Minusseite. Durch den Potenzialunterschied entsteht die Batteriespannung. Mit der Elektronenverschiebung zerfällt an beiden Platten das Bleisulfat in Blei (Pb) und den Säurerest (SO_4), welcher in den Elektrolyten geht und dort ein Wassermolekül in seine Bestandteile zerlegt. Säurerest und Wasserstoff verbinden sich zur Schwefelsäure (H_2SO_4). Der Sauerstoff verbindet sich an der Plusplatte mit dem Blei zu Bleidioxid (PbO_2).</p>	<p>Die Plusplatte besteht aus dunkelbraunem Bleidioxid, die Minusplatte aus reinem grauen Blei; sie geht keine neue Verbindung ein. Die Zellspannung beträgt ca. 2 V. Der Elektrolyt besteht aus verdünnter Schwefelsäure (H_2SO_4) mit einer Dichte von $\rho = 1,28 \text{ g/cm}^3$.</p>	<p>Zwischen beiden Polen ist der Stromkreis geschlossen, Elektronen fließen vom Minuspol über den Verbraucher zum Pluspol. Das Bleidioxid der Plusplatte zerfällt in Blei und Sauerstoff. Sauerstoff geht in den Elektrolyten über und verbindet sich mit Wasserstoff aus der Schwefelsäure zu Wasser. Der Säurerest geht mit dem Blei beider Platten eine Verbindung ein, Bleisulfat entsteht.</p>
 <p>a) entladene Batteriezelle</p>	 <p>b) Laden der Batteriezelle</p>	 <p>c) geladene Batteriezelle</p>	 <p>d) Entladen der Batteriezelle</p>
$\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{PbSO}_4 \rightarrow \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Pb}$		$\text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Pb} \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{PbSO}_4$	

Tabelle 32.3

Chemische Vorgänge in einer Batterie beim Laden und Entladen.

Nennkapazität K_{20} . Sie beschreibt die speicherbare Energie einer Batterie im Neuzustand. Zur Prüfung wird die Batterie mit einer festgelegten Stromstärke über einen Zeitraum von 20 Stunden entladen. Sie muss dann noch eine festgelegte Mindestspannung (Entladeschlussspannung) von 10,5 V aufweisen. Die Höhe des Entladestromes errechnet sich aus der Nennkapazität geteilt durch 20 Stunden. Z. B. kann eine neue 50-Ah-Batterie mindestens 20 Stunden mit einem Strom von 2,5 A entladen werden, bis die Entladeschlussspannung von 10,5 V erreicht ist.

Kälteprüfstrom. Seine Höhe ist abhängig vom Batterietyp und dient der Beurteilung des Startverhaltens bei tiefen Temperaturen. Zur Prüfung wird die Batterie bei einer Temperatur von -18°C durch den Kälteprüfstrom entladen. Dabei darf ihre Zellenspannung nach 30 Sekunden Entladezeit nicht unter 1,4 V und nach 180 Sekunden nicht unter 1,0 V fallen.

Selbstentladung. Auch ohne einen geschlossenen äußeren Stromkreis entlädt sich eine Batterie durch Kriechströme, Verunreinigungen und Wärme. Um die Funktion der Batterie auch weiterhin zu sichern, soll bei Nichtbenutzung eine kontinuierliche Erhaltungsladung durchgeführt werden. Die zu wählende Stromstärke soll ungefähr 0,1 % der Nennkapazität betragen. Ist eine solche Ladung nicht möglich, sollte in Abständen von ca. 2 Monaten eine Normalladung durchgeführt werden.

Kennzeichnung der Batterietypen. Ausführungen und Bezeichnungen der verschiedenen Starterbatterien sind in Normen festgelegt. Dies vereinfacht es, Batterien verschiedener Hersteller miteinander zu vergleichen und gegeneinander auszutauschen. Informationen zum Batterietyp können durch folgende Angaben erfolgen:

- Kenngrößen nach EN 60 095-1
- europäische Typnummer ETN.

Die in der Norm EN 60 095-1 festgelegten Kenngrößen beschreiben die wichtigsten Eigenschaften einer Starterbatterie (Bild 32.14). Dazu zählen die Nennspannung, die Nennkapazität und der Kälteprüfstrom.

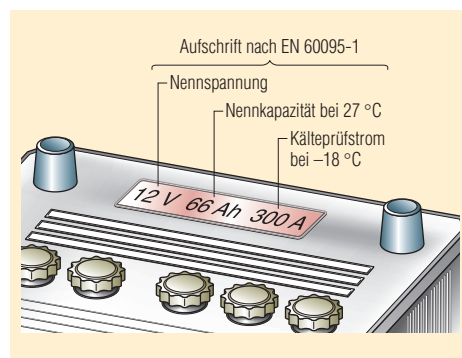


Bild 32.14 Beispiel für die Kennzeichnung einer Batterie.

Seit 1998 ersetzt die europäische Typnummer die bis dahin in Deutschland geltende DIN-Nummer. Sie besteht aus Angaben zur Batteriespannung und Kapazität, zum Kälteprüfstrom und beinhaltet eine Zählnummer (Bild 32.15).

Gasungsspannung: Oberhalb dieser Zellenspannung bildet sich Sauerstoff an der Plus- und Wasserstoff an der Minusplatte; Gefahr der Knallgasbildung.



5	45	077	030
Spannung	Kapazität	Zählnummer	Kälteprüfstrom

Bild 32.15 Aufbau einer ETN-Nummer.

1. Stelle = Batteriespannung. Dabei stehen die Ziffern 1...4 für 6-Volt-Batterien, die Ziffern 5...7 für 12-Volt-Batterien und die Ziffern 8 und 9 für Sonderbatterien.

2. und 3. Stelle = Kapazität in Ah. Bei mehr als 100 Ah erhöht sich die Ziffer der ersten Stelle um den Wert 1 je 100 Ah.

4., 5. und 6. Stelle = Zählnummer. Hieraus lassen sich Informationen über das Abmaß, die Form der Endpole, die Befestigung usw. gewinnen.

7., 8. und 9. Stelle = Kälteprüfstrom. Die Zahl gibt 1 / 10 des Kälteprüfstromes in Ampere an.

Batterieausführungen. Je nach Einsatzbedingung und Wartungsintensität gibt es verschiedene Ausführungen:

- wartungsfreie Batterie, sehr geringer Wasserverlust lässt lange Wartungsintervalle zu,
- absolut wartungsfreie Batterie, erfordert keine Säurestandskontrolle, Selbstentladung dieses Batterietyps ist sehr gering,
- rüttelfeste Batterie, hauptsächlich Einsatz bei Baustellen- und Geländefahrzeugen,
- zyklenfeste Batterie, häufiges tiefes Entladen verbunden mit einem geringen Nachladen führt nicht zu einer verkürzten Lebensdauer (Busse und Taxen),
- Heavy Duty Batterie, wird in extrem beanspruchten Nutzfahrzeugen eingesetzt, ist zykl- und rüttelfest und garantiert eine sichere Stromversorgung auch bei hoher Dauerbeanspruchung vieler Verbraucher.

32.3.4 Wartung

Prüfen des Ladezustandes. Dazu muss die Säuredichte der verdünnten Schwefelsäure mit einem Säureprüfer ermittelt werden (Bild 32.16).

Die abgelesenen Werte liegen zwischen $\rho = 1,28 \text{ g/cm}^3$ (vollständig geladen) und $\rho = 1,12 \text{ g/cm}^3$ (entladen).

Laden der Batterie. Dies erfolgt mithilfe eines Ladegerätes. Bei einer Normalladung beträgt der Ladestrom ca. 10 % der angegebenen Batteriekapazität. Im Fall der Schnellladung liegt der Ladestrom ca. 5- bis 8fach über dem der Normalladung. Dabei darf die Gasungsspannung von 2,3 V je Zelle nicht überschritten werden, sonst besteht Explosionsgefahr.

Als Ladegeräte stehen Elektroniklader, Schnellstartlader und Kleinklader zur Verfügung. Die Herstellervorschriften müssen beachtet werden.

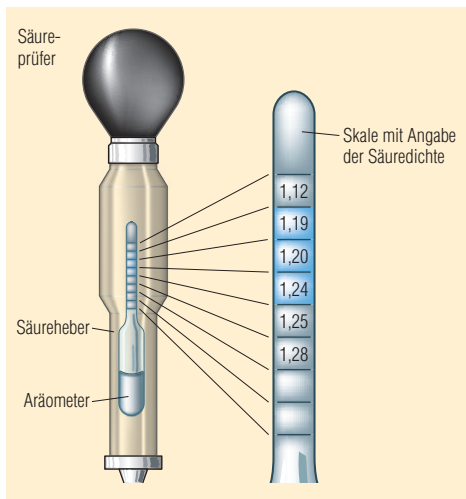


Bild 32.16 Säureprüfer.

32.4 Werkstattpraxis

Arbeiten an der Batterie erfordern besondere Vorsichtsmaßnahmen und Sorgfalt:

- beim Umgang mit Schwefelsäure Schutzbrille und Handschuhe tragen,
- bei Arbeiten an der Batterie offenes Feuer, Funkenbildung und Rauchen vermeiden, Raum gut lüften,
- Säurestand regelmäßig kontrollieren, er soll etwa 10 mm bis 15 mm über der Bleiplattenoberkante liegen, nur destilliertes Wasser nachfüllen,
- beim Ausbau der Batterie zunächst das Massekabel, anschließend das Plus-Kabel lösen, Einbau in umgekehrter Reihenfolge,
- Anschlussklemmen auf festen Sitz kontrollieren um Übergangswiderstände zu vermeiden,
- zum Schutz vor Korrosion Batteriepole mit Säureschutzfett einreiben.

Aräometer: Senkwaage, Gerät zum Messen des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten.



Arbeitsaufträge

1. Sie schließen zwei 12-V-Batterien zunächst in Reihe, dann parallel zusammen. Welche elektrotechnischen Größen verändern sich?
2. Unterscheiden Sie die Begriffe „verfügbare Kapazität“ und „Nennkapazität“ einer Batterie.
3. Welches Ladegeräte benutzen Sie in Ihrer Werkstatt? Fassen Sie aus der Herstellervorschrift die wesentlichen Punkte zum Betrieb des Gerätes zusammen.
4. Warum müssen die Generatorleistung, die Batteriekapazität und der Leistungsbedarf aller anderen elektrischen Verbraucher aufeinander abgestimmt sein, damit die Energieversorgung des Fahrzeuges funktioniert?
5. Wie werden Batterien in Ihrer Werkstatt gelagert und entsorgt?
6. Sie erhalten den Auftrag die Lagerbedingungen für Batterien zu untersuchen und zu optimieren. Worauf müssen Sie bei der Lagerung und Entsorgung achten?

32.5 Elektrische Energieversorgung im Bordnetz

32.5.1 Ein-Batterie-Bordnetz

Bei fast allen Pkws besteht das Bordnetz aus einem Energiespeicher (Batterie), einem Generator und den elektrischen bzw. elektronischen Verbrauchern; die Bordnetzspannung beträgt 12 Volt. Wichtig ist, dass unter allen Fahrbedingungen eine ausgeglichene Ladebilanz der Batterie vorliegt. Daher ist eine genaue Abstimmung zwischen Batterie, Starter, Generator und Bordnetzverbrauchern notwendig. Bei der Auswahl und Dimensionierung dieser Bauteile sind etliche Kriterien zu berücksichtigen, die sich aus dem geplanten Einsatz des Fahrzeugs ergeben, z. B.:

- Grenzttemperatur für den Kaltstart. Bis zu der angegebenen Temperatur ist sichergestellt, dass der noch kalte Motor zuverlässig gestartet werden kann. Hiervon hängen die Auswahl der Batterie und des Starters ab. Es macht einen Unterschied, ob ein Fahrzeug nach Skandinavien oder nach Südeuropa ausgeliefert wird.
- Fahrstrecke (Anzahl der Starts, Länge, Verkehrsdichte, Art der Straße, ...). Diese Faktoren beeinflussen die vom Motor auf den Generator übertragene Drehzahl und damit die Höhe und Dauer der Stromabgabe.
- Verbraucherleistungen. Die Verbraucher haben eine unterschiedliche Einschaltdauer und Leistung. Die Einschalthäufigkeit ist stark von individuellen Wünschen geprägt und z. T. auch jahreszeitabhängig.
- Ladespannung der Batterie. Sie muss eng toleriert und möglichst konstant sein. Nur dann ist sichergestellt, dass die Lichtstärke der Glühlampen innerhalb gesetzlich vorgeschriebener Grenzen liegen. Weiterhin verlängert eine konstante Ladespannung die Lebensdauer der Lampen. Allerdings sollte die Batterieladespannung bei Kälte höher sein, bei Wärme niedriger.

- Bordnetzausführung. Sind alle Verbraucher batterieseitig angeschlossen, ist der Spannungsabfall hoch, die Ladespannung niedrig. Umgekehrt gilt, dass bei Anschluss aller Verbraucher am Generator der Spannungsabfall gering ist, die Ladespannung hoch. Dabei können jedoch elektronische Verbraucher, die gegen Spannungsspitzen empfindlich sind, zerstört werden. Daher ist es sinnvoll, spannungsunempfindliche Verbraucher mit höherer Leistungsaufnahme in Generatornähe anzuschließen. Umgekehrt gilt, dass spannungsempfindliche Bauteile mit kleinerer Leistungsaufnahme in Batterienähe zu platzieren sind (Bild 32.17).

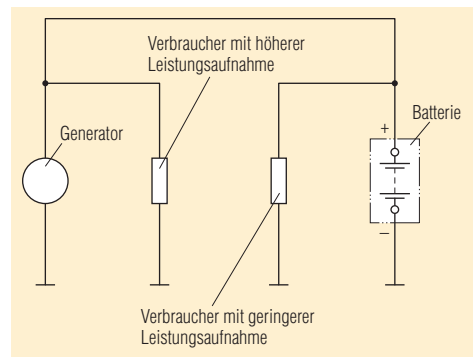


Bild 32.17 Bordnetzausführung (Ein-Batterie-Bordnetz).

Im Ein-Batterie-Bordnetz muss die Batterie sowohl für den Startvorgang als auch für die Bordnetzversorgung ausgelegt sein:

- Während des Startvorgangs wird die Batterie mit hohen Strömen belastet. Der damit verbundene Spannungsabfall sollte möglichst gering sein, um elektronische Bauteile zu schonen.
- Im Fahrbetrieb fließen im Vergleich zum Startvorgang vergleichsweise geringe Ströme.

Aus den genannten, sich zum Teil widersprechenden Anforderungen wird deutlich, dass die Auswahl von Batterie und Generator in einem Ein-Batterie-Bordnetz stets einen Kompromiss darstellt. Aus diesem Grund wird nach alternativen Bordnetzausführungen gesucht.

32.5.2 Zwei-Batterien-Bordnetz

In diesem Bordnetz sind zwei Batterien verbaut, eine dient als Start-, die andere als Versorgungsbatterie (Bild 32.18). Die Starterbatterie stellt kurzfristig eine hohe Leistung zur Verfügung und gewährleistet somit jederzeit einen sicheren Kaltstart. Sämtliche elektrischen und elektronischen Verbraucher werden von der Bordnetz Batterie versorgt. Ein Bordnetzsteuergerät überwacht und regelt den optimalen Ladungszustand beider Batterien.

Im Einzelnen hat das Bordnetzsteuergerät folgende Aufgaben:

- Es verhindert, dass sich der Spannungseinbruch während des Startvorganges im Bordnetz auswirkt;
- im Falle eines zu geringen Ladungszustandes der Starterbatterie kann es durch Schalten eines Relais kurzzeitig eine Parallelschaltung beider Batterien vornehmen (Notstartfunktion);
- bei abgestelltem Fahrzeug verhindert es eine Entladung der Starterbatterie, falls eingeschaltete Verbraucher die Versorgungsbatterie tiefentladen sollten.

Der Startspeicher wird in der Nähe des Starters eingebaut und mit diesem über eine kurze Zuleitung verbunden, da kurzzeitig hohe Ströme fließen. Die Platzierung der Versorgungsbatterie kann frei gewählt werden.

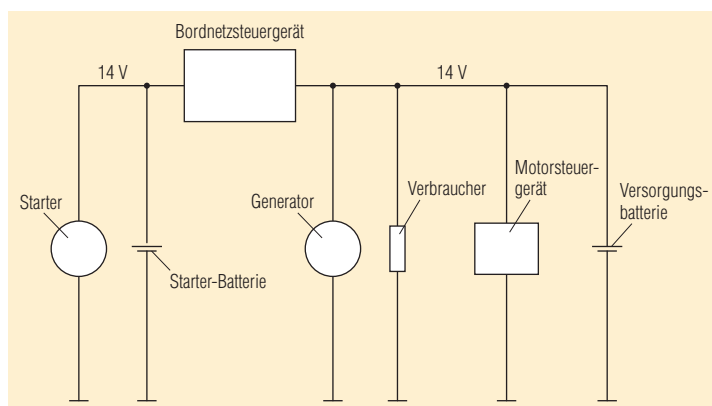


Bild 32.18 Zwei-Batterien-Bordnetz.

32.5.3 Schaltung für Nutzfahrzeuge

Schwere Nutzfahrzeuge benötigen zum Starten des Dieselmotors eine hohe elektrische Leistung. Um diese zu erzeugen, besitzen manche Fahrzeuge eine gemischte 12/24-Volt-Anlage (Bild 32.19). In dieser werden alle elektrischen Bauteile mit 12 Volt betrieben; mit Ausnahme des Starters, der eine Spannung von 24 Volt benötigt. Das Fahrzeug ist aus diesem Grund mit zwei 12-Volt-Batterien ausgestattet. Während des Startvorgangs werden die beiden 12-Volt-Batterien in Reihe geschaltet, bei Motorstillstand und im Fahrbetrieb sind sie parallel geschaltet. Das Umschalten zwischen beiden Spannungen übernimmt das Batterieumschaltrelais. Beim Betätigen des Zünd-Start-Schalters schaltet das Relais die beiden Batterien kurzzeitig in Reihe. Alle anderen Verbraucher werden weiterhin mit 12 Volt versorgt. Während des Motorbetriebs lädt der 12-Volt-Generator beide Batterien wieder auf.

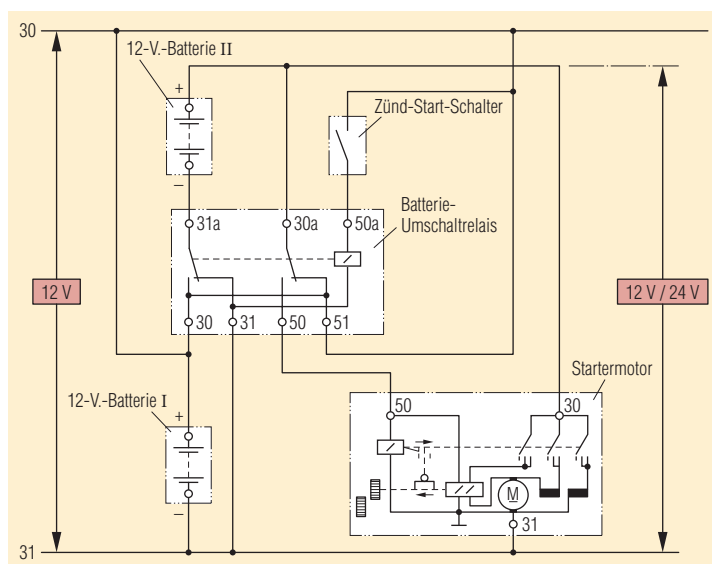


Bild 32.19 Schaltung einer gemischten 12/24-Volt-Anlage.

32.5.4 Zwei-Spannungs-Bordnetz

Die Zahl der Verbraucher ist in den letzten Jahren durch die immer umfangreichere elektrische Serien- und Sonderausstattung der Fahrzeuge extrem stark angestiegen. Eine Umkehr dieser Entwicklung ist nicht in Sicht. Durch die daraus resultierenden hohen Verbraucherleistungen steigt auch die Stromstärke in Teilen des Leitungsnetzes weiter an. Dies hat zur Folge, dass größere Leitungsquerschnitte gewählt werden

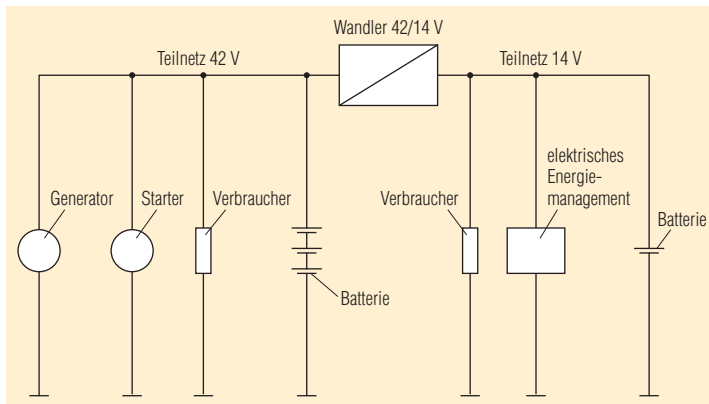


Bild 32.20 Zwei-Spannungs-Bordnetz.

Rekuperation von
lat. recuperare =
wiedererlangen

müssen. Ein weiterer Anstieg der Stromstärke könnte durch eine Erhöhung der Bordnetzspannung verhindert werden. Deshalb wird für die Zukunft über ein Zwei-Spannungs-Bordnetz nachgedacht, welches aus einem 14-Volt- und einem 42-Volt-Teilnetz besteht (Bild 32.20). Das 42-Volt-Netz (inklusive Batterie) wird direkt vom Generator versorgt, das 14-Volt-Netz über einen Gleichspannungswandler. Das elektrische Energiemanagement regelt den gesamten Energiehaushalt. Es koordiniert das Zusammenwirken von Generator, Spannungswandler, Batterien und elektrischen Verbrauchern.

Ein Vorteil dieses Netzes besteht darin, dass bereits vorhandene Komponenten auf 14-Volt-Basis weiter benutzt werden können. Weiterhin ist es möglich, im 42-Volt-Netz einen Startgenerator zu verbauen, der beide Bauteile (Starter und Generator) in einem Gerät vereint. Zusätzlich kann der Startgenerator die beim Bremsen entstehende Schwungenergie in elektrische Energie umsetzen (Rekuperation), woraus sich zusätzliche Einsparpotenziale ergeben.

Arbeitsaufträge

1. Die elektrischen Verbraucher haben unterschiedliche Einschaltzeiten. Dabei wird zwischen Dauerverbrauchern, Langzeitverbrauchern und Kurzzeitverbrauchern unterschieden.
 - a) Führen Sie zu jeder Gruppe mindestens drei Beispiele an.
 - b) Ermitteln Sie für Ihre Beispiele die jeweilige Leistungsaufnahme.
2. Die maximale Leistungsaufnahme aller batterieseitig angeschlossenen Verbraucher kann bis zu 1500 W betragen.
 - a) Berechnen Sie die maximale Stromstärke in Batterienähe, die im 12-Volt-Bordnetz auftreten kann.
 - b) Bei der Leitungsdimensionierung nehmen Sie die im Aufgabenteil a) errechnete Stromstärke als Dauerstrom bei 50 °C an. Welchen Nennquerschnitt müssen Sie für die elektrische Kupferleitung wählen?
 - c) Bestimmen Sie den Leiterwiderstand für die von Ihnen unter b) gewählte Leitung bei einer Länge von 0,7 m.
 - d) Berechnen Sie den Spannungsabfall für die angegebene Leiterlänge.
 - e) Führen Sie die Berechnungen der Aufgabenteile a) bis d) in einem 42-Volt-Bordnetz durch und vergleichen Sie.
3. Begründen Sie für das Zwei-Batterien-Bordnetz die vorgegebene Platzierung der Startbatterie in der Nähe des Starters und dagegen die frei wählbare Unterbringung der Versorgungsbatterie.
4. Ein Nutzfahrzeug ist mit zwei 12-Volt-Batterien ausgerüstet. Beide Batterien verfügen über stark unterschiedliche Kapazitätsangaben.
 - a) Wie lässt sich die zur Verfügung stehende Kapazität während des Fahrbetriebs ermitteln?
 - b) Welche Kapazität ergibt sich beim Startvorgang?
 - c) Warum ist die Bestückung mit zwei Batterien unterschiedlicher Kapazität ungünstig?
 - d) Zeichnen Sie in das Bild 32.19 den Stromverlauf bei 12- und 24-Volt-Spannung ein.
5. Vergleichen Sie die Aufgabe des Bordnetzsteuergerätes im Zwei-Batterien-Bordnetz mit der Aufgabe des elektrischen Energie-Managements im Zwei-Spannungs-Bordnetz.

33 Elektromotoren und Starter

33.1 Elektromotoren

Elektromotoren werden für die vielfältigsten Anwendungen im Kfz in vielen Variationen benötigt. Die Funktionsweise von Elektromotoren ist die Umkehrung der Generatorfunktion. Beim Generator wird durch mechanische Energie (Bewegung eines elektrischen Leiters in einem Magnetfeld) Strom erzeugt. Beim Elektromotor wird durch den stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld eine Drehbewegung (mechanische Energie) erzeugt. Die Kraft der Drehbewegung (=Drehmoment) ist abhängig von der Stromstärke, der Stärke des Magnetfeldes, der Länge des Leiters (Windungen) und von den verschiedenen Ausführungen.

33.1.1 Gleichstrommotoren

Das Funktionsprinzip eines Gleichstrommotors beruht darauf, dass zwischen zwei magnetischen Polen Magnetfeldlinien verlaufen (Bild 33.1) und auch eine stromdurchflossene Leitung ein Magnetfeld aufbaut (Bild 33.2). Dies gilt ebenso für eine stromdurchflossene Spule (Bild 33.3). Befestigt man eine drehbar gelagerte Spule zwischen den Magnetpolen (im so genannten Erregerfeld) ergibt sich abhängig von der Stromrichtung durch die Magnetkraft eine Drehbewegung, bis die Magnetfeldlinien zwischen den Magnetpolen und dem Spulenfeld die gleiche Richtung haben (neutrale Zone). Damit sich daraus eine gleich bleibende Drehbewegung ergibt, besteht eine Spule aus vielen Wicklungen (Leiterschleifen) und einem Kommutator (Stromwender), der die Stromrichtung in den einzelnen Leiterschleifen bei der Drehung ändert.

Die einzelnen Leiterschleifen sind am Kommutator angeschlossen (Bild 33.4). Alle Spulenwicklungen zusammen werden als Anker bezeichnet. Durch den Stromfluss und die Drehbewegung des Ankers im Polfeld wird eine Gegenspannung induziert. Diese wirkt der angelegten Spannung, abhängig von der Stärke des Polfeldes und der Ankerdrehzahl, entgegen. Deshalb nimmt bei Elektromotoren die Stromaufnahme und damit das Drehmoment mit steigender Drehzahl ab. Das Drehmoment ist am stärksten beim Anlaufen unter Belastung aus dem Stillstand.

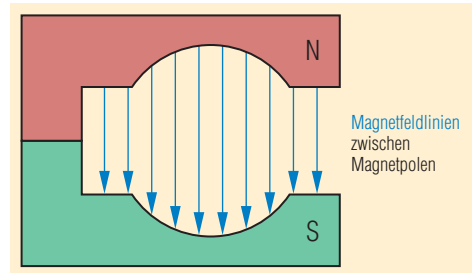


Bild 33.1 Magnetfeldlinien zwischen magnetischen Polen (Polfeld, Erregerfeld).

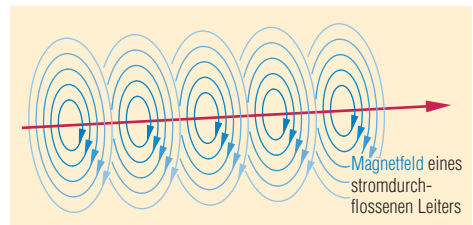


Bild 33.2 Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters.

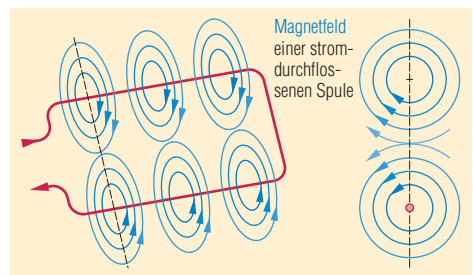


Bild 33.3 Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule (Spulenfeld).

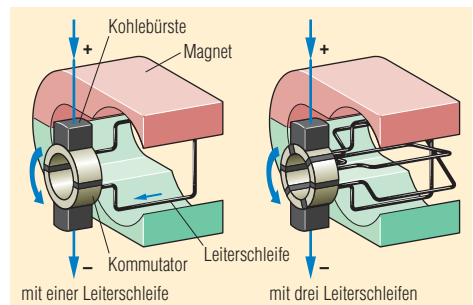


Bild 33.4 Schemabild eines Elektromotors.

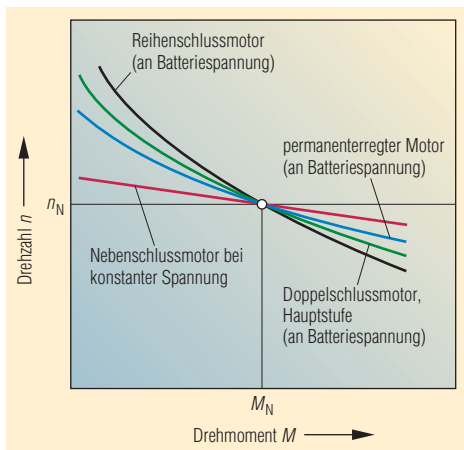


Bild 33.5 Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik verschiedener Elektromotoren.

Je nach Ausführung (Art der Erregung) des Elektromotors ist die Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik unterschiedlich stark ausgeprägt (Bild 33.5). Unterschiedliche Ausführungen von Gleichstrommotoren zeigt Bild 33.6.

Permanenterregter Motor. Einfach aufgebauter Motor, dessen Magnetfeld (Erregerfeld) permanent durch Dauermagnete erzeugt wird.

Nebenschlussmotor. Das Erregerfeld wird bei diesem Motor durch die Erregerwicklung erzeugt, die parallel zum Anker an der Batteriespannung liegt. Die Drehmomentabnahme mit steigender Drehzahl ist bei diesem Motor bei konstanter Spannung am geringsten.

Reihen- bzw. Hauptschlussmotor. Die Erregerwicklung und die Ankerwicklung sind in Reihe geschaltet, d. h. der Ankerstrom durchfließt auch die Erregerwicklung. Deshalb entwickelt dieser Motor beim Anlaufen (keine Gegenspannung) ein hohes Drehmoment. Mit steigender Drehzahl nimmt die Gegenspannung im Anker zu und damit hat auch die Erregerwicklung einen geringeren Stromdurchfluss. Das Erregerfeld verliert an Kraft und das Drehmoment sinkt schnell stark ab. Bei Entlastung steigt bei diesem Motor die Drehzahl sehr schnell an. Diese Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik ist sehr gut für Startmotoren geeignet.

Kombinierter Neben- und Reihenschlussmotor, Doppelschlussmotor. Dieser Motor benötigt einen hohen Wicklungsaufwand, da er sowohl eine Nebenschluss- als auch Reihenschlusswicklung besitzt. Er wird nur bei großen Startern benötigt und in Stufen geschaltet. Dadurch wird ein hohes Startdrehmoment sicher gestellt, jedoch das starke Hochdrehen bei Entlastung verhindert (Bild 33.7).

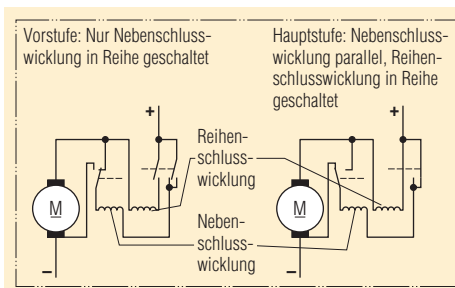


Bild 33.7 Doppelschlussmotor.

33.1.2 Schrittmotoren

Für verschiedene Anwendungen im Kfz (z. B. Drosselklappenmotor, Leerlaufsteller, Lüftungsklappen der Klimaanlage) darf der Elektromotor nur in kleinen Schritten arbeiten, die z. T. durch ein Schneckengetriebe sogar noch untersetzt werden. Dafür verwendet man Schrittmotoren. Bei einem Schrittmotor wird ein drehbar gelagerter Permanentmagnet als Rotor zwischen mehreren Statorwicklungs-paaren verwendet (Bild 33.8). Die Drehung des Rotors wird durch die Magnetfelder der stromdurchflossenen Statorwicklungen bewirkt.

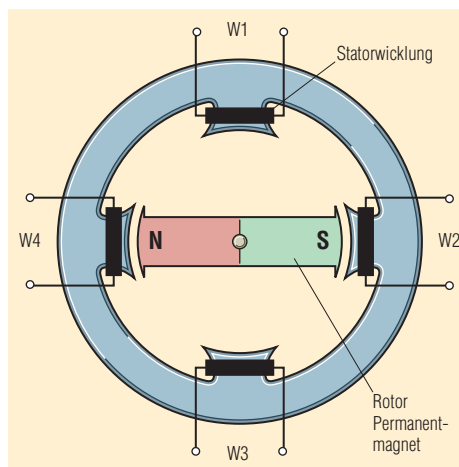


Bild 33.8 Prinzipaufbau eines Schrittmotors.

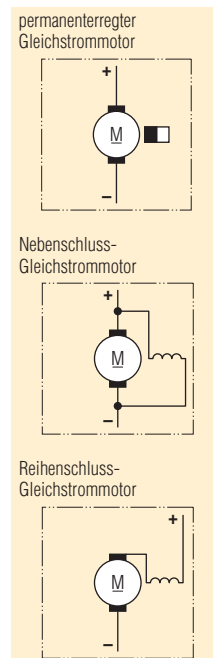


Bild 33.6 Gleichstrommotoren.

Durch eine von einem Steuergerät berechnete Signalabfolge (Stromimpulse) der Statorwicklungen erreicht man die gewünschte Drehrichtung, Drehgeschwindigkeit und Stellung. Abhängig von den gewünschten Schrittlängen (Winkelgraden) kann der Rotor auch aus einer Scheibe mit abwechselnd unterschiedlich magnetisierten Zähnen bestehen (Bild 33.9).

Ein Schrittmotor kann in jede Richtung bewegt werden und in der vorgegebenen Position stehen bleiben. Dabei kann der Drehwinkel pro Schritt bis unter 2° betragen.

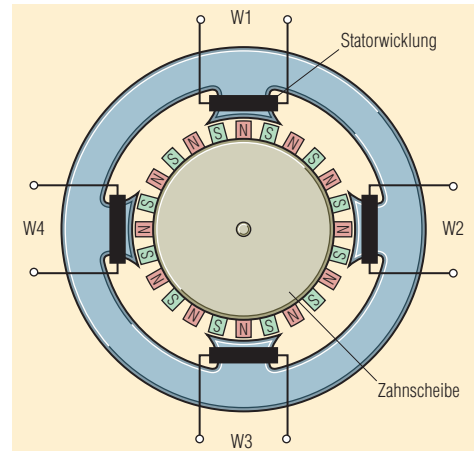


Bild 33.9 Schrittmotor mit Zahnscheibe.

33.2 Starter

Minstdrehzahl:

Ottomotor ca.
60 bis 100 min^{-1} ;
Dieselmotor ca.
80 bis 200 min^{-1} .

Verbrennungsmotoren müssen über einen Starter auf eine bestimmte Minstdrehzahl gebracht werden, damit sie anschließend selbst weiterlaufen können. Dazu verwendet man in der Regel einen Elektromotor, der über den Zahnkranz auf dem Schwungrad den Verbrennungsmotor antreibt.

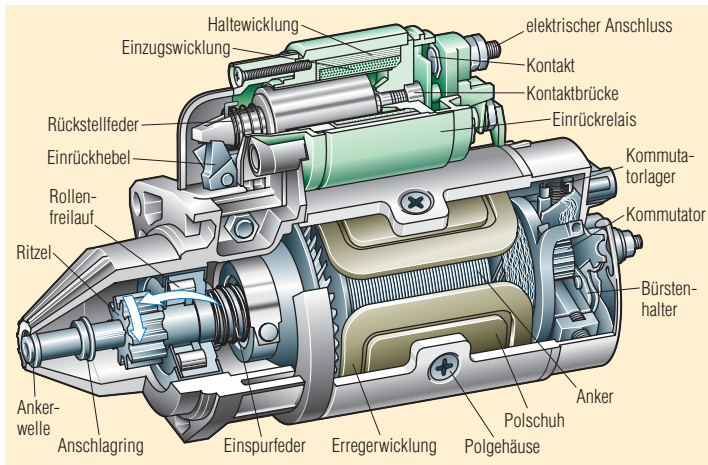


Bild 33.10 Schub-Schraubtrieb-Starter.

Der Starter benötigt zu seiner Funktion neben dem Elektromotor auch ein Einrückrelais und ein so genanntes Einspurgetriebe (Bild 33.10).

Als **Startermotor** dient meist ein Reihenschlussmotor. Aber auch permanent erregte Motoren und selten Doppelschluss- und Nebenschlussmotoren werden verwendet.

Das **Einrückrelais** hat die Aufgabe das Ritzel des Starters (über den Einrückhebel bzw. Einspurgetriebe) in den Zahnkranz des Schwungrades zu schieben (Bild 33.11). Dafür wird beim Starten die Einzug- und Haltewicklung mit Strom versorgt. Wenn der (Einrück-)Magnet seine Endstellung erreicht hat, wird nur noch die Haltewicklung mit Strom versorgt und über die Kontakte und Kontaktbrücke der Laststrom (Starterhauptstrom) geschaltet (=Relaisfunktion). Das Einrückrelais kehrt stromlos in seine Ausgangslage zurück.

Das **Einspurgetriebe** (Bild 33.10) besteht aus dem Ritzel, dem Freilauf mit dem Mitnehmer, der Einspurfeder und dem Einrückhebel.

Ritzel. Das beim Starten mechanisch stark beanspruchte Ritzel stellt den Kraftschluss zum Schwungrad sicher. Es arbeitet meist mit einem Übersetzungsverhältnis von 10:1 bis 15:1. Die spezielle Verzahnung des Ritzels erleichtert sowohl das Einspuren als auch das Ausspuren nach dem Start.

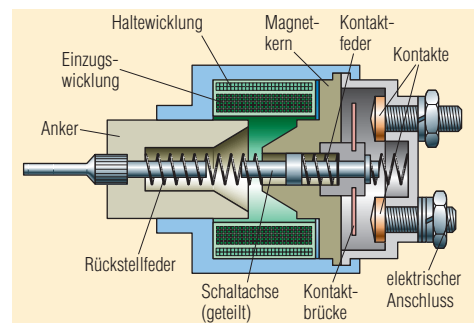


Bild 33.11 Einrückrelais.

Der **Freilauf** muss beim Starten das Starterdrehmoment übertragen und nach dem Anspringen des Motors den Kraftschluss zwischen Ritzel und Elektromotor trennen, damit dieser nicht zerstört wird. Dafür verwendet man einen **Rollenfreilauf**. Bei größeren Startern für Nkw werden auch Lamellenfreiläufe eingesetzt.

Der **Mitnehmer** wird durch die Schubbewegung des Einrückrelais auf der Ankerwelle verschoben. Auch der Freilauf und das Ritzel werden verschoben. Befindet sich auf der Ankerwelle ein Steilgewinde (Bild 33.10), wird zur Schubbewegung gleichzeitig eine Drehung hervorgerufen. Man spricht dann von einem Schub-Schraubtrieb-Starter; dieser ist am weitesten verbreitet.

Einspurfeder. Genau genommen drückt der Einrückhebel auf die Einspurfeder, die auf den Mitnehmer wirkt. Trifft das Ritzel des Starters beim Einspurvorgang auf eine Lücke im Zahnkranz des Schwungrades, kann es ungehindert einspuren. Trifft beim Einspuren aber Zahn auf Zahn, so wird die Einspurfeder zuerst zusammengedrückt. Dadurch erreichen der Einrückhebel und das Einrückrelais ebenso ihre Endstellung und der Hauptstrom wird eingeschaltet. Durch die Drehung des Ankers und die Kraft der Einspurfeder spurt das Ritzel bei der nächsten Lücke ein.

Starter mit Vorgelege. Zur weiteren Veränderung des Übersetzungsverhältnisses verbaut man zwischen dem Anker und dem Freilauf ein Planetengetriebe, das so genannte Vorgelege (Bild 33.12). Dabei befindet sich das Sonnenrad als Antriebsrad auf der Ankerwelle und das Hohlrad sitzt fest im Startergehäuse. Die durch eine Trägerplatte verbundenen Planetenräder treiben über die Planetenträgerwelle mit dem Steilgewinde den Mitnehmer an. Die weitere Untersetzung ermöglicht den Einsatz kleinerer und leichter Starter, da der Elektromotor ein geringeres Drehmoment liefern muss.

Rollenfreilauf
→ S. 358

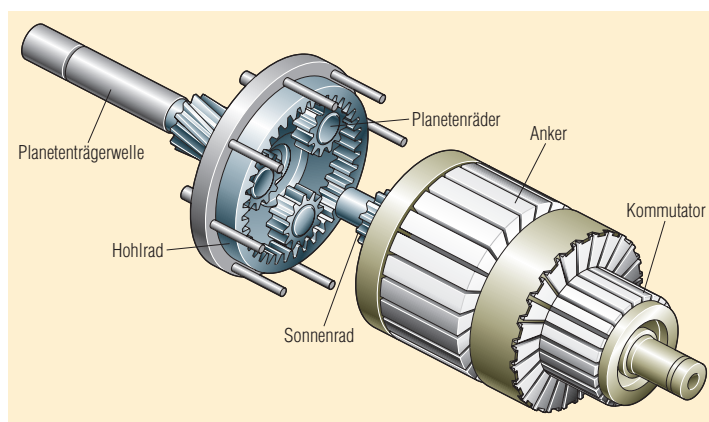


Bild 33.12 Anker mit Planetengetriebe (Vorgelege).

Arbeitsaufträge

1. Nennen Sie alle Bauteile im Kraftfahrzeug, in denen ein Elektromotor seine Dienste verrichtet.
2. Skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau eines Elektromotors.
3. Warum nimmt das Drehmoment mit steigender Drehzahl ab?
4. Welche verschiedenen Elektromotoren gibt es? Wodurch unterscheiden sie sich?
5. Welche Möglichkeiten einen Verbrennungsmotor zu „starten“, außer mit einem Elektromotor, kennen Sie noch?
6. Aus welchen Bauteilen besteht ein Starter?
7. Welche verschiedenen Starterbauarten kennen Sie?

34 Beleuchtungs- und Signalanlage

34.1 Allgemeine Aufgaben, Vorschriften, Bezeichnungen

Sichtweite:

Entfernung, in der Objekte für den Fahrer noch deutlich erkennbar sind.

Tragweite:

Entfernung, in der ein Lichtsignal von anderen Verkehrsteilnehmer noch erkannt werden kann.

Die Beleuchtungs- und Signalanlage am Kraftfahrzeug dient dazu:

- die Fahrbahn durch das Abblend- und Fernlicht auszuleuchten,
- Bewegungsabsichten des Fahrers für andere Verkehrsteilnehmer durch die Blinkanlage sowie das Bremslicht anzuzeigen,
- andere Verkehrsteilnehmer durch Warnblinkanlage und Signalhorn zu warnen,
- die Konturen des Fahrzeuges für andere Verkehrsteilnehmer durch Begrenzungs- und Parkleuchten sowie Rückstrahler sichtbar zu machen.

Dabei müssen die Bau- und Betriebsvorschriften eingehalten werden. Die Genehmigungszeichen sind auf den Streuscheiben bzw. Lichtscheiben der jeweiligen Leuchten angebracht. Außerdem muss eine Blendung anderer Verkehrsteilnehmer ausgeschlossen und trotzdem eine optimale Aus-

leuchtung der Fahrbahn sowie eine eindeutige Signalwirkung angestrebt werden (Bild 34.1).

An der Fahrzeugfront befinden sich die Abblend- und Fernscheinwerfer sowie die Nebel- und evtl. Zusatzfernlichtscheinwerfer. Die Anordnung dieser Beleuchtungseinrichtungen muss paarweise symmetrisch zur Fahrzeugmitte und auf gleicher Höhe sein. Sie müssen gleichzeitig und gleich stark leuchten und ständig betriebsbereit sein. Am Fahrzeugheck befinden sich die Brems- und Schlussleuchten (rot), die ebenfalls paarweise symmetrisch zur Fahrzeugmitte, auf gleicher Höhe angeordnet sein müssen. Auch sie müssen gleichzeitig und gleich stark leuchten. Dies gilt auch für die ebenfalls am Fahrzeugheck angebrachten Nebelschlussleuchten (rot) und Rückfahrscheinwerfer (weiß), sofern sie doppelt vorhanden sind (meist nur einfach). Die Blinkleuchten/Fahrtrichtungsanzeiger (gelb) und

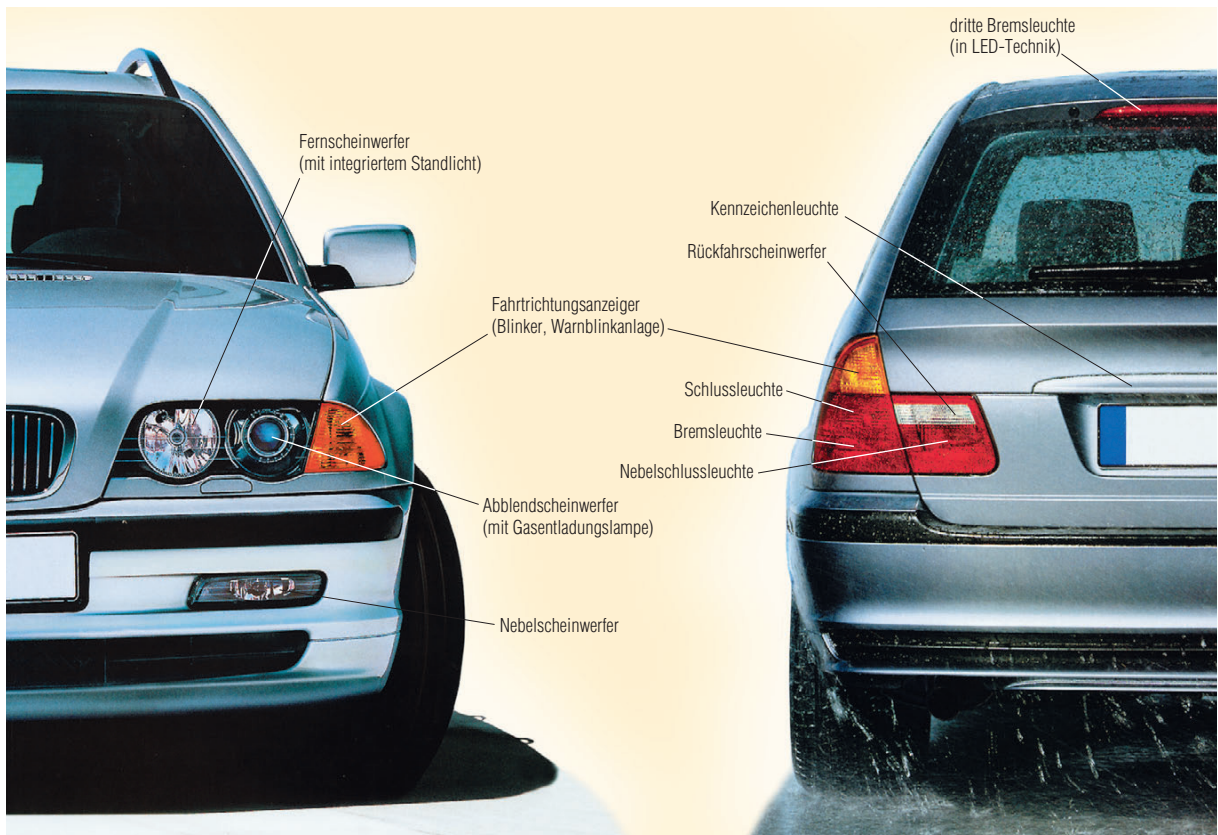


Bild 34.1 Lichtanlage.

Parkleuchten (weiß) und evtl. auch Begrenzungs- und Umrissleuchten befinden sich an der Fahrzeugfront und am Heck sowie z. T. zusätzlich seitlich. Die Kennzeichenleuchte(n) am Heck wird (werden) mit dem Fahrlicht zusammen eingeschaltet. Die für neue Fahrzeugtypen vorgeschriebene zusätzliche hochgesetzte (dritte)

Bremsleuchte (rot) ist mittig angeordnet und muss mit den (Haupt-)Bremsleuchten brennen.

Die Lichtstärke der verschiedenen Beleuchtungseinrichtungen wird in Candela (cd), der Lichtstrom in Lumen (lm) und die Lichtausbeute (= Wirkungsgrad) in Lumen je Watt angegeben.

candela (lat.):
Kerze

lumen (lat.): Licht

34.2 Verschiedene Lichtquellen und Scheinwerfer

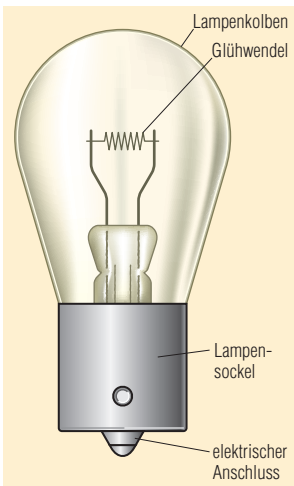


Bild 34.2 Glühlampe.

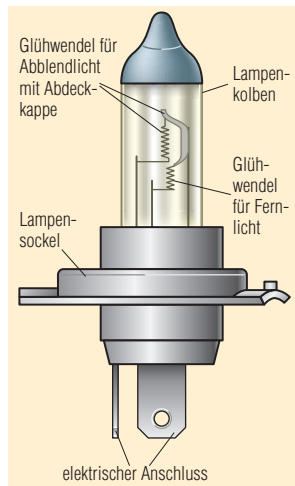


Bild 34.3 Halogenlampe.

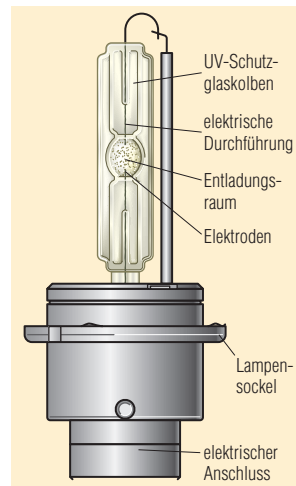


Bild 34.4 Gasentladungslampe.

Als Lichtquellen verwendet man Temperaturstrahler (Glühlampe und Halogenlampe) und Gasentladungslampen. Für Blink- und Heckleuchten verwendet man auch die LED-Technik, bei der entsprechend der erforderlichen Beleuchtungsstärke und gewünschten Lichtfarbe mehrere Leuchtdioden zu einer Baueinheit zusammengeschaltet werden.

Die **Glühlampe** besitzt eine Wendel aus Wolfram, die durch Strom zum Glühen und damit zum Leuchten gebracht wird (Bild 34.2). Durch das allmähliche Verdampfen von Wolframpartikeln ist die Lebensdauer jedoch begrenzt. Verwendet wird sie heute noch für Blink-, Park-, Kennzeichen-, Brems-, Schluss- und Nebelschlussleuchten sowie Rückfahrcheinwerfer.

Die **Halogenlampe** besitzt ebenfalls eine Wendel aus Wolfram, die durch Strom zum Glühen gebracht wird (Bild 34.3). Jedoch wird durch eine unter hohem Druck (bis 40 bar) stehende Halogenfüllung (Jod oder Brom) ein chemischer Kreislauf in Gang gesetzt, wodurch das verdampfte Wolfram sich immer wieder an der Wendel ablagert. Dadurch sind höhere Wendeltemperaturen

möglich und damit eine höhere Lichtausbeute. Die Halogenlampen besitzen eine Glühwendel bei getrenntem Abblend- und Fernlicht und bei den Nebelscheinwerfern. Zwei Glühwendeln werden verwendet für die Umschaltung von Abblend- auf Fernlicht (Bild 34.3), wenn diese in jeweils einem Scheinwerfer zusammengefasst sind. Durch die zusätzliche Abdeckkappe wird der blendende Lichtanteil beim Abblendlicht abgedeckt.

Die **Gasentladungslampen**, auch als Litronic, Xenonlicht oder D1- bzw. D2-Lampen bezeichnet, besitzen keine metallische Glühwendel. Eine im Entladungsraum befindliche Mischung aus Edelgas (Xenon) und Metallhalogeniden wird durch Wechselstrom ionisiert und leitend. Dadurch wird ein Lichtbogen erzeugt, der eine hohe Lichtausbeute liefert (Bild 34.4). Gasentladungslampen benötigen ein elektronisches Vorschaltgerät, das eine Zündspannung zwischen 10 kVolt und 20 kVolt und eine Betriebsspannung von ca. 85 Volt erzeugt. Auch bei der Gasentladungslampe kann eine Abdeckung für das Abblendlicht integriert sein. Ein Umschalten von Abblend- auf Fernlicht

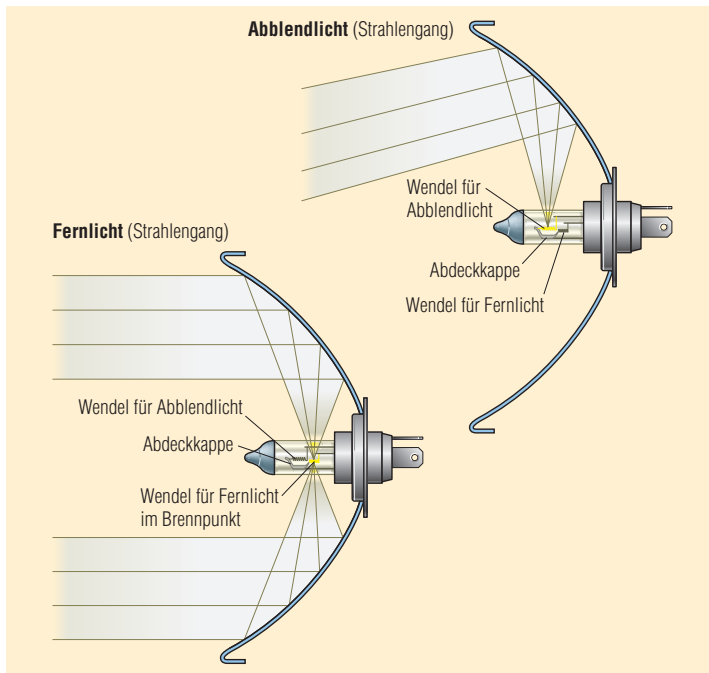


Bild 34.5 Strahlengang von Abblend- und Fernlicht.

ist nicht möglich, da es einige Sekunden dauert bis die Gasentladungslampe die volle Lichtausbeute erreicht.

Scheinwerfer mit Gasentladungslampen müssen wegen der hohen Lichtausbeute mit einer automatischen Leuchtweitenregelung und Scheinwerferreinigungsanlage kombiniert sein um eine Blendung des Gegenverkehrs zu vermeiden.

Reflektoren. Das in den verschiedenen Lampen erzeugte Licht wird durch Reflektoren gebündelt und in die gewünschte Richtung gelenkt. Bild 34.5 zeigt den schematischen Strahlengang des Abblend- und Fernlichtes, wenn diese in einem Reflektor mit einer Halogenlampe untergebracht sind.

Nach der Krümmung der Reflexionsfläche und Bauart unterscheidet man folgende Reflektoren (Bild 34.6):

- paraboloidförmige Reflektoren (entstehen, wenn eine Parabel um ihre Achse gedreht wird),
- ellipsoidförmige Reflektoren (entstehen, wenn eine Ellipse um ihre Achse gedreht wird),
- Stufen- und Freiformreflektoren (jeder Reflexionspunkt wird computerberechnet).

reflectere (lat.):
rückwärtsbiegen,
-wenden

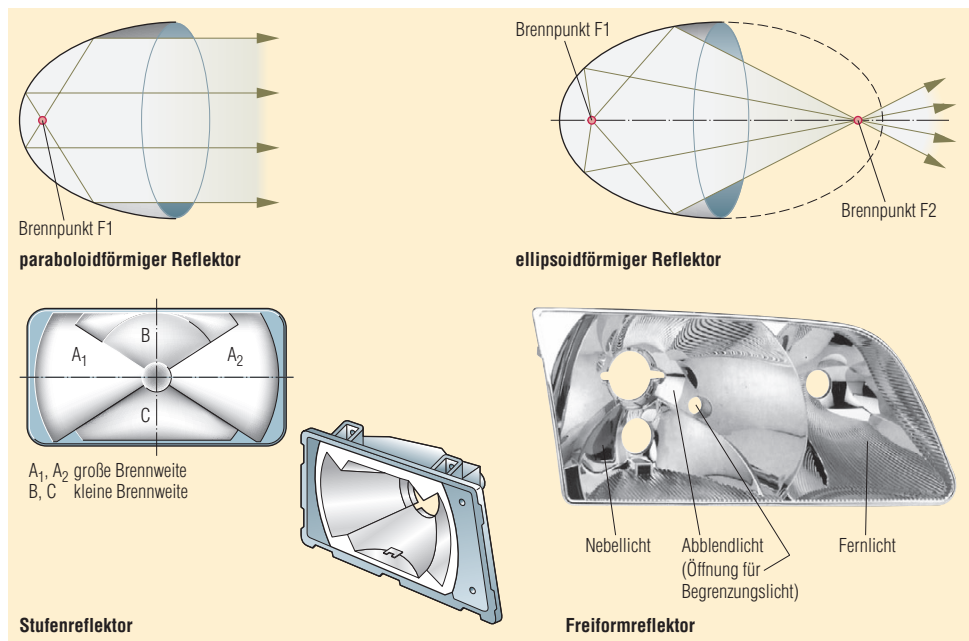


Bild 34.6 Reflektorbauarten.

Scheinwerfer mit ellipsoidförmigem Reflektor haben eine zusätzliche Linse/Objektiv, wodurch die Lichtstrahlen zu einem nahezu parallelen Lichtband gebündelt werden. Eine Blende zwischen Reflektor und Objektiv bewirkt bei der Verwendung als Abblendscheinwerfer die erforderliche Hell-Dunkel-Grenze.

Scheinwerfer mit ellipsoidförmigem Reflektor und Linse werden auch als DE-, PES-, oder Projektionsscheinwerfer bezeichnet (Bild 34.7).

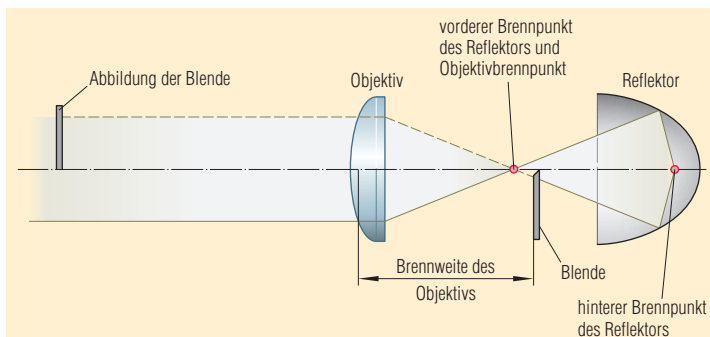


Bild 34.7 Ellipsoidreflektor mit Linse und Blende.

Streuscheiben. Nach der Lichterzeugung und Reflexion werden die Lichtstrahlen durch Streuscheiben (meist aus Glas) gezielt abgelenkt, gestreut oder gebündelt, damit die gewünschte Ausleuchtung der Fahrbahn erreicht wird. Die Innenseite der Streuscheibe besteht aus einer gezielten Anordnung von Linsen- und Prismenelementen sowie Kombinationen daraus (Bild 34.8). Bei Ellipsoid- und Freiformreflektoren werden häufig keine Streuscheiben verwendet, sondern klare Abschlusscheiben aus Kunststoff.

Asymmetrische Lichtverteilung. Die Lichtverteilung auf der Fahrbahn ist beim Abblendlicht asymmetrisch, d. h. die rechte Fahrbahnseite wird weiter und stärker ausgeleuchtet, um Hindernisse rechtzeitig zu erkennen und eine Blendung des Gegenverkehrs zu vermeiden. Die asymmetrische Lichtverteilung wird durch die Form der Blende für die Hell-Dunkel-Grenze beim Abblendlicht und evtl. durch besondere Lichtbrechungselemente auf der Streuscheibe erreicht. (Bild 34.8)

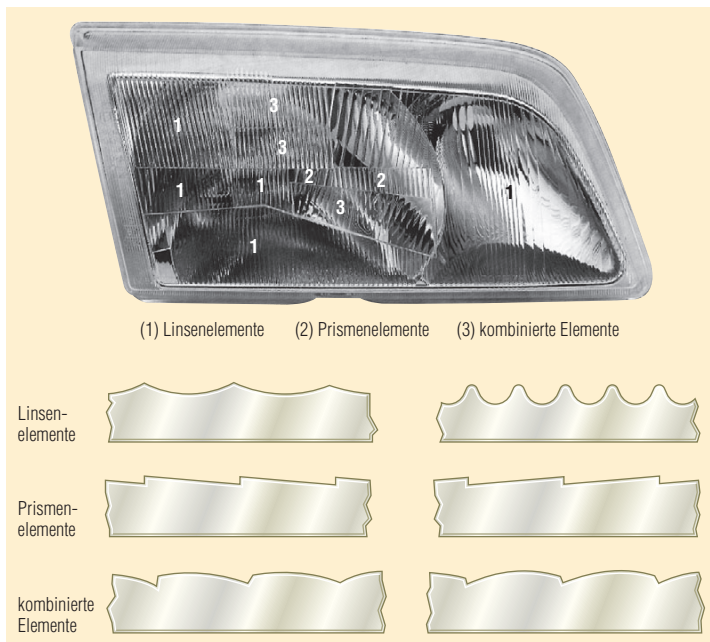


Bild 34.8 Streuscheibe mit optischen Elementen.

34.3 Kurven- und Abbiegelicht

Kurvenlicht. Beim Kurvenlicht werden die Scheinwerfer während einer Kurvenfahrt in die Kurvenrichtung geschwenkt und kontinuierlich der Kurvenfahrt angepasst. Dies führt zu einer besseren Ausleuchtung der Kurve und einem schnelleren Erkennen von Hindernissen. Damit erhöht sich die Fahrsicherheit. Der Schwenkbereich (Bild 34.9) beträgt in beide Richtungen maximal 15° zur Fahrzeuglängsachse.

Beide Abblend- und Fernscheinwerfer werden durch Stellmotoren gleichzeitig geschwenkt. Als Stellmotoren verwendet man Schrittmotoren, die immer exakt auf jede berechnete Stellung gefahren werden können. Die Schwenkgeschwindigkeit der Scheinwerfereinheiten beträgt bis zu $30^\circ/\text{Sekunde}$.

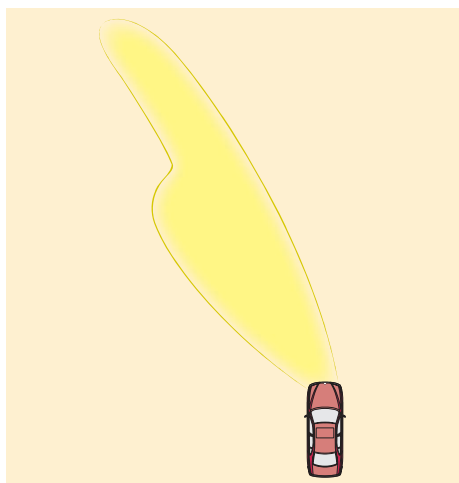


Bild 34.9 Schwenkbereich des Kurvenlichtes.

DE: Dreiachs-Ellipsoid-Reflektor

PES: Poly-Ellipsoid-Reflektor

Die Ansteuerung der Schrittmotoren geschieht durch ein eigenes Steuergerät. Dazu verarbeitet das Kurvenlichtsteuergerät im Wesentlichen die Signale eines Lenkwinkelsensors, Signale der Fahrdynamikregelung und die Positionsrückmeldung der Scheinwerfereinheiten. Beim Einschalten des Lichts erfolgt immer zuerst ein Referenzlauf und dadurch eine Überprüfung der Funktion.

Das Kurvenlichtsteuergerät ist eigendiagnosefähig und besitzt einen Fehlerspeicher.

Das Abbiegelicht besteht aus zusätzlichen Glühlampen mit Reflektoren, die beim Abbiegen oder in engen Kurven dazugeschaltet werden (Bild 34.10).

Dies führt zu einer zusätzlichen Ausleuchtung seitlich vor und neben dem Fahrzeug, wodurch Hindernisse und andere Verkehrsteilnehmer früher erkannt werden können. Das Abbiegelicht wird durch ein Steuergerät ein- bzw. abgeschaltet. Das Steuergerät wertet dazu das Signal eines Lenkwinkelsensors und das Geschwindigkeitssignal aus. Das Abbiegelicht ist eigendiagnosefähig und besitzt einen Fehlerspeicher.

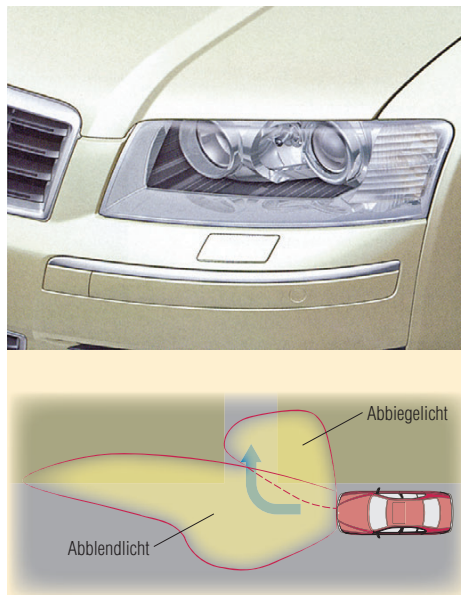


Bild 34.10 Anordnung und Wirkungsbereich des Abbiegelichts.

34.4 Infrarot-Nachtsicht-Hilfen

Die Blendungsgefahr des Gegenverkehrs begrenzt auch bei asymmetrischem Abblendlicht die Sichtweite. Deshalb können bei höheren Geschwindigkeiten Hindernisse eventuell zu spät erkannt werden. Dies führte zur Entwicklung von Nachtsicht-Hilfen (Bild 34.11). Dabei beleuchten zwei zusätzliche Infrarotlichtquellen die Fahrbahn. Infrarotlicht ist für das menschliche Auge nicht sichtbar. Die Infrarotlichtquellen sind in der Scheinwerfereinheit bzw. in der Fahrzeugfront integriert. Das von Hindernissen, Gegenständen und Lebewesen reflektierte Infrarotlicht wird durch eine Infrarotkamera erfasst, ausgewertet und auf einem Bildschirm/Display angezeigt (Bild 34.12).

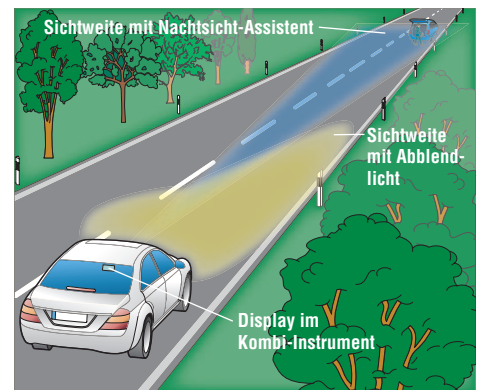


Bild 34.11 Reichweite des Infrarotlichts.



Bild 34.12 Displayanzeige Infrarot-Nachtsicht-Hilfe.

Es gibt zwei unterschiedliche Systeme:

- Das Nahbereich-Infrarotsystem hat eine Reichweite von ca. 175 m und zeigt auf dem Display alle Objekte, die das Infrarotlicht reflektieren. Alle Hindernisse in diesem Bereich können erkannt werden.
- Das Fern-Infrarotsystem hat eine Reichweite bis ca. 300 m und erkennt nur Hindernisse, die wärmer sind als ihre Umgebung. Somit können Personen und Tiere noch früher auf dem Bildschirm angezeigt und erkannt werden.

Die Infrarot-Nachtsicht-Hilfen werden, wenn sie eingeschaltet sind, erst ab ca. 15 km/h aktiviert und unter ca. 10 km/h wieder abgeschaltet.

34.5 Leuchtweitenregulierung und Scheinwerfereinstellung

Leuchtweitenregulierung. Die Neigung des Lichtstrahles und damit die Leuchtweite des Scheinwerfers muss bei neuen Pkws seit dem 01.01.1990 abhängig von verschiedenen Beladungszuständen korrigiert werden können. Dies kann manuell durch den Fahrer oder automatisch durch eine Leuchtweitenregulierung erfolgen.

Bei der manuellen Leuchtweiteneinstellung (Regulierung) werden über einen Handschalter und Stellelemente die Scheinwerferreflektoren bzw. Scheinwerfereinsätze vertikal verstellt. Dies kann hydromechanisch, pneumatisch oder elektrisch erfolgen. Dabei ist der Handschalter vom Fahrersitz aus erreichbar.

Bei der automatischen Leuchtweitenregulierung wird der Beladungszustand/Neigungswinkel des Fahrzeuges durch Sensoren an den Fahrzeugachsen erfasst, durch ein Steuergerät ausgewertet und die Stellelemente (Elektromotoren) an den Scheinwerfern werden entsprechend angesteuert (Bild 34.13).

Die Lagerrückmeldung erfolgt durch Potentiometer in den Stellelementen. Bei der automatischen Leuchtweitenregulierung unterscheidet man statische und dynamische Systeme. Statische Systeme regeln die Scheinwerfereinstellung (abhängig vom Beladungszustand) mit großer Dämpfung nach dem Anfahren und evtl. Korrektur bei Konstantfahrt. Dynamische Systeme arbeiten mit verkürzten Signalauswertungen und hohen Verstellgeschwindigkeiten der Stellmotoren und gleichen innerhalb von Sekundenbruchteilen alle Karosserieneigungen, auch beim Anfahren, Beschleunigen und Bremsen, permanent aus.

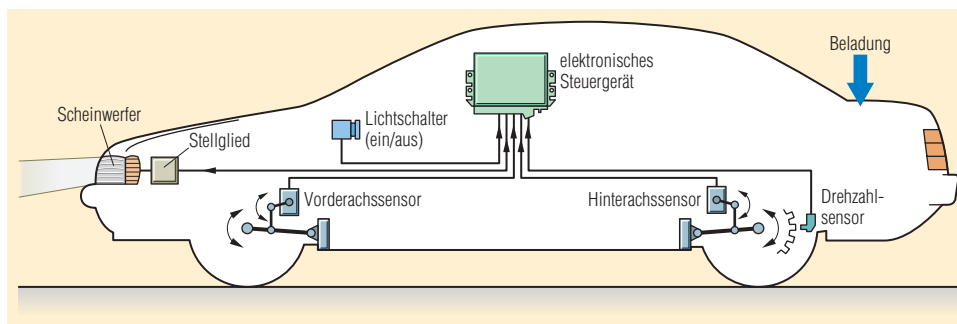


Bild 34.13 Automatische Leuchtweitenregulierung.

Scheinwerfereinstellung. Nur richtig eingestellte Scheinwerfer garantieren die optimale Fahrbahnausleuchtung ohne den Gegenverkehr zu blenden. Deshalb müssen die Scheinwerfer in der Neigung und der Seitenrichtung eingestellt werden. Dies erfolgt durch optische Einstellprüfgeräte (Bild 34.14).

Das Prüfgerät wird mithilfe des Ausrichtspiegels so ausgerichtet, dass die Visierlinie zwei äußere, symmetrische Bezugspunkte des Fahrzeugs gleichmäßig berührt. Die Einheit mit dem Umlenkspiegel wird auf Scheinwerferhöhe justiert und die vorgeschriebene Scheinwerferneigung am Auffangschirm eingestellt. Bei richtiger Einstellung der Scheinwerfer muss bei asymmetrischem Abblendlicht die Hell-Dunkel-Grenze die waagrechte Begrenzungslinie berühren und der ansteigende Teil in der Zentralmarke beginnen. Das Fernlicht muss innerhalb der Begrenzungsecken symmetrisch zur Zentralmarke liegen.

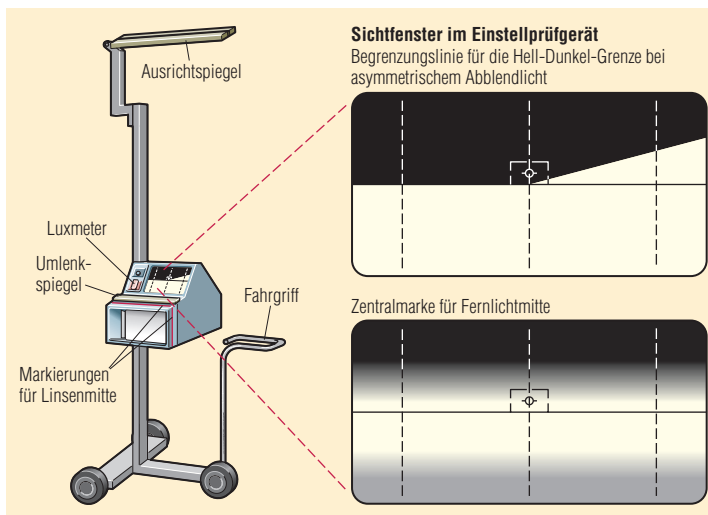


Bild 34.14 Einstellprüfgerät für Scheinwerfer.

34.6 Werkstattpraxis

Wechseln von Halogenlampen. Durch die hohen Temperaturen der Halogenlampe können bereits kleinste Fettablagerungen das Kolbenglas angreifen und zerstören. Deshalb beim Lampenwechsel das Kolbenglas nur mit sauberem, fettfreiem Stoff berühren.

Unfallhinweis bei Gasentladungslampen. Durch die hohen Spannungen besteht bei unsachgemäßer Wartung bzw. Beschädigungen Lebensgefahr.

Scheinwerfereinstellung. Für die Scheinwerfereinstellung müssen sowohl das Einstellprüfgerät als auch das Fahrzeug auf ebenem Untergrund stehen. Der Luftdruck der Reifen ist zu beachten und das Fahrzeug mit 75 kg oder einer Person auf dem Fahrersitz zu beladen. Bei manueller Leuchtweitenregelung muss die Grundeinstellung (Null-Position) gewählt werden. Außerdem sind besonders bei Fahrzeugen mit automatischer Leuchtweitenregelung und Hydraulik oder Luftfederung die Herstellervorschriften zu beachten.

34.7 Scheinwerferreinigung

Verschmutzte Scheinwerfer führen zu Lichteinbußen und die Ausleuchtung der Fahrbahn wird eingeschränkt. Im ungünstigen Fall kann der Gegenverkehr geblendet werden.

Wisch-Waschanlage. Diese funktioniert im Prinzip wie eine Reinigungsanlage für die Frontscheibe. Dieses System hat sich aus folgenden Gründen nicht durchgesetzt:

- Schmiereffekt zu Beginn der Reinigung,
- Wischer kann Streulicht verursachen,
- ungleichmäßige Reinigungswirkung,
- Kunststofflampen verkratzen,
- großer Bauaufwand und hoher technischer Aufwand bei Doppelscheinwerfern.

Hochdruck-Waschanlage. Aus einer oder mehreren Düsen wird Wasser unter hohem Druck in Impulsen auf die Scheinwerfer gespritzt. Die Reinigungswirkung ist groß, gleichzeitig ist der technische Aufwand vergleichsweise gering (Bild 34.15).

Anforderungen. Waschanlagen müssen bestimmte Anforderungen erfüllen:

- Mindestens 50 Reinigungszyklen müssen mit einer Füllung Reinigungsmittel möglich sein.
- Ein verschmutzter Scheinwerfer, der nur noch 20 % seiner Leuchtstärke hat, muss innerhalb von 8 Sekunden wieder 80 % Leuchtstärke erreichen.
- Die Anlage muss von -35 °C bis $+80\text{ °C}$ funktionsfähig sein.

In allen Scheinwerfern mit Gasentladungslampen muss ein Reinigungssystem integriert sein.

Für eine gute Reinigung maßgebend ist

- die Anordnung der Düsen (Abstand und Winkel),
- Impulsmenge und -stärke des Wasserstrahls,
- die Wassermenge.

Bei den meisten Fahrzeugen kann die Hochdruck-Waschanlage nur aktiviert werden, wenn die Scheinwerfer angeschaltet sind. Vielfach wird die Waschanlage mit der Reinigungsanlage der Frontscheibe parallel geschaltet, sodass beides gleichzeitig gesäubert wird.

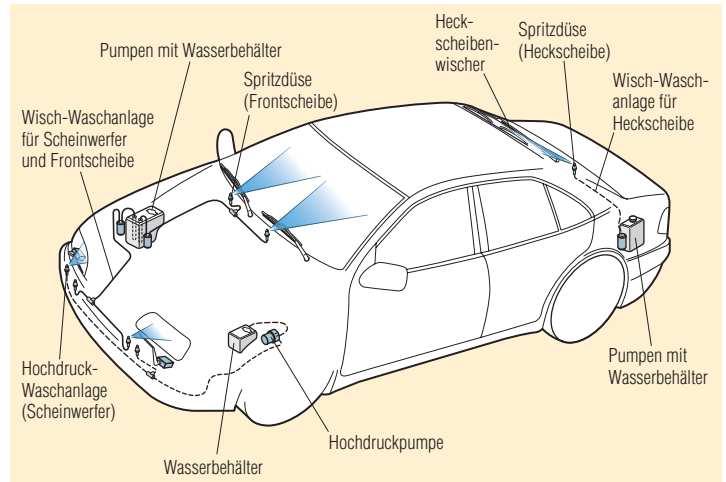


Bild 34.15 Hochdruck-Waschanlage.

- Fahrtrichtungsanzeiger,
- Warnblinkanlage mit Kontrolllampe,
- Bremslicht,
- Signalhorn und
- Lichthupe.

Die **Fahrtrichtungsanzeige** (Blinkanlage) muss mit einer Frequenz von 60 bis 120 Impulsen pro Minute mit allen Blinkleuchten auf einer Fahrzeugseite synchron blinken. Der Ausfall einer Blinkleuchte wird durch eine höhere Blinkfrequenz angezeigt.

Bei der **Warnblinkanlage** müssen alle Blinkleuchten am Fahrzeug synchron blinken, auch bei abgestelltem Motor (Bild 34.16).

34.8 Signalanlage

Der Fahrer muss anderen Verkehrsteilnehmern seine Absichten zu erkennen geben und ggf. bei Gefahren entsprechend warnen können. Dafür müssen in einem Fahrzeug folgende Signaleinrichtungen vorhanden sein:

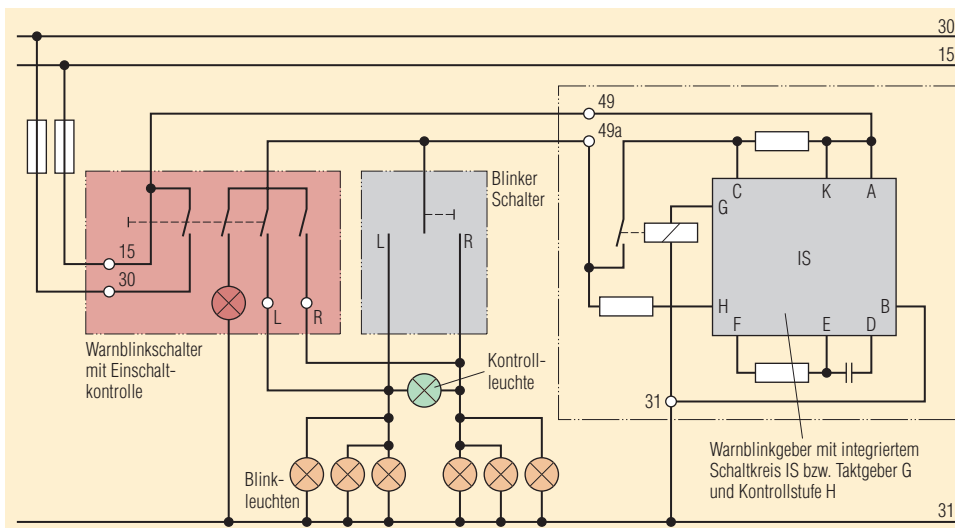


Bild 34.16 Schema einer Blink- und Warnblinkanlage.

Das **Signalhorn** (Hupe) muss entsprechend den gesetzlichen Vorschriften einen gleichförmigen und gleich bleibenden Klang abgeben, der den Verkehrslärm auf große Entfernung gut durchdringt. Man verwendet dafür einen Elektromagneten, der eine schwingungsfähige Ankerplatte mit Membran anzieht und kurz vor dem Aufschlagen des Ankers auf den Magnetkern wieder loslässt. Dies wird durch einen mit der Ankerplatte verbundenen Unterbrecher gesteuert, der beim Zurückschwingen der Ankerplatte den Kontakt wieder schließt. Durch diese starken periodischen Schwingungen gibt ein mit dem Anker starr verbundener Schwingteller entsprechende akustische Signale ab, die über einen hornförmigen Trichter abgestrahlt werden (Bild 34.17).

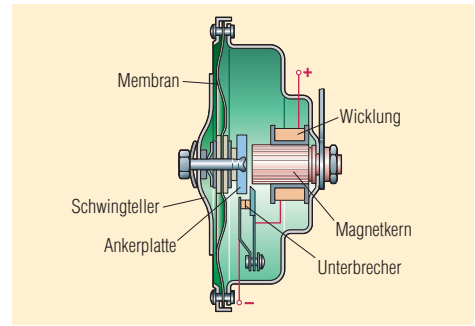


Bild 34.17 Signalhorn.

Arbeitsaufträge

1. Was versteht man unter Sichtweite und was unter Tragweite?
2. Wie funktioniert eine Glühlampe und wie eine Gasentladungslampe?
3. Zeichnen Sie die Strahlengänge von verschiedenen Reflektoren.
4. Wie ist die Lichtverteilung auf der Fahrbahn beim asymmetrischen Abblendlicht? Fertigen Sie eine Skizze an.
5. Entwerfen Sie eine Hinweistafel, was die Kollegen bei der Scheinwerfereinstellung beachten müssen.
6. Welche Licht- und Signalanlagen sind an einem Fahrzeug vorhanden?
7. Schlagen Sie in der StVZO die technischen Betriebserlaubniszeichen für die Beleuchtungsanlagen nach und erläutern Sie diese.

35 Bussysteme

35.1 Anfänge der Systemvernetzung

Durch den wachsenden Anteil von elektronischen Systemen in Kraftfahrzeugen (Bild 35.1) wurden deren Fahrsicherheit, Leistungsvermögen, Wirtschaftlichkeit und Komfort ständig verbessert. Viele elektronische Systeme wären ohne einen umfangreichen Datenaustausch untereinander kaum denkbar, bzw. sie könnten den gewünschten Funktionsumfang nicht bieten.

Die Steuergeräte waren zunächst selbstständig und unabhängig von anderen Systemen und nur für eine eng umgrenzte Aufgabe zuständig (z.B. Zündauslösung der kontaktlos gesteuerten Zündung). In einem zweiten Schritt wurden Informationen/Signale von anderen Systemen genutzt (z.B. Drehzahl-Signal von der Zündung für die elektronische Einspritzung). Der nächste Schritt war die gegenseitige Beeinflussung mehrerer Steuergeräte untereinander bei bestimmten Regelungen (Bild 35.2).

Dies bedeutete bereits einen sehr hohen Verdrahtungsaufwand, denn die verschiedenen Systeme mussten jedes Signal durch einzelne Leitungen verbinden. Mittlerweile kann die gesamte Kabellänge aller verbauten Leitungen in einem Fahrzeug der gehobenen Klasse ca. 3000m betragen. Dabei musste auch auf den zur Verfügung stehenden Platz, auf die Störeinstrahlung und Störabstrahlung sowie die Ausfallsicherheit der gesamten Leitungen und Stecker Rücksicht genommen werden.

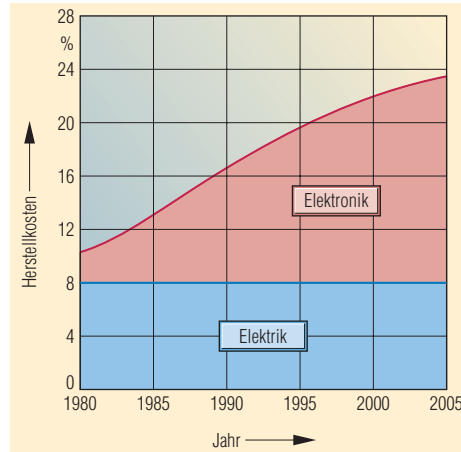


Bild 35.1 Wachstum des Elektronikanteils in Kraftfahrzeugen.

EMV:
elektromagnetische
Verträglichkeit

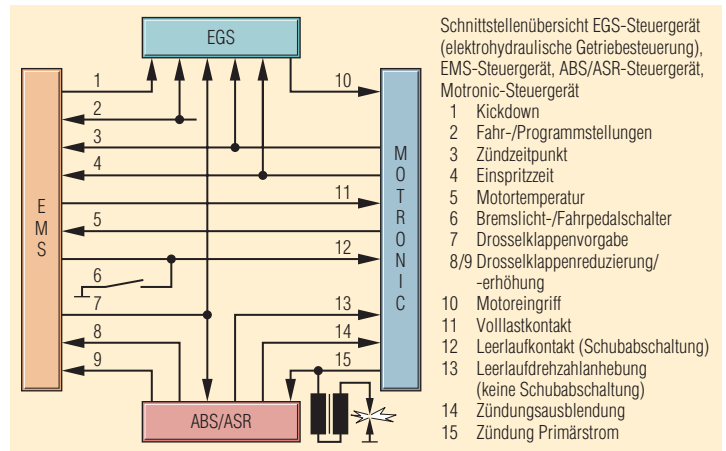
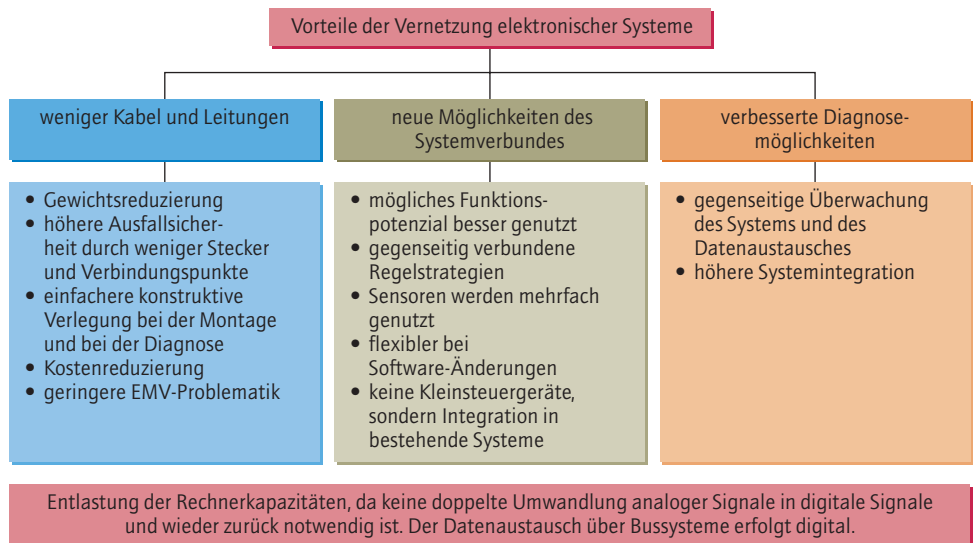


Bild 35.2 Konventionelle Steuergerätekopplung.

35.2 Notwendigkeit von Bussystemen

In der frühen Phase der Systemvernetzung waren die verschiedenen einzelnen Systeme lediglich miteinander verbunden, aber nicht wirklich gesamtheitlich vernetzt. Die weitere Systemintegration machte es jedoch notwendig, neue Wege des Datenaustausches zu suchen. Die elektronische Datenverarbeitung hatte das Problem der Verbindung/Vernetzung mehrerer Rechner bereits gelöst. Man bediente sich so genannter Bussysteme. Als Bus bezeichnet man die Verbindungsleitungen innerhalb eines

Rechners bzw. zwischen mehreren Rechnern, auf denen Impulse/Informationen (Daten) übertragen werden. Die in der Datenverarbeitung verwendeten Bussysteme konnten nicht direkt auf den Kfz-Bereich übertragen werden, jedoch durch intensive Weiterentwicklung von diesen abgeleitet werden. Durch die Vernetzung der elektronischen Systeme mit einem oder mehreren Datenbussen ergeben sich die im Schaubild auf der nächsten Seite dargestellten Vorteile.



35.3 Busstrukturen und -systeme

Die verschiedenen Anforderungen an ein Bussystem ergeben sich durch

- die unterschiedlichen Datenmengen, die zu übertragen sind,
- die notwendige Übertragungsgeschwindigkeit,
- die Prioritäten von Daten oder Steuergeräten, die einzuhalten sind und
- die Maßnahmen, die für die Datensicherung und Fehlererkennung getroffen werden müssen.

Die höchsten Anforderungen an ein Bussystem stellt der Datenaustausch zwischen den Steuergeräten des Antriebsstranges, die geringsten der Datenaustausch bei der Karosserie- und Komfortelektronik. Bussysteme können nach der Busstruktur (Bild 35.3), der Übertragungsgeschwindigkeit und dem Übertragungsweg eingeteilt werden.

Sternstruktur. Hierbei sind mehrere Teilnehmer sternförmig über eigene Leitungen mit einer übergeordneten, koordinierenden Zentrale (auch als Netzknoten oder Master bezeichnet) verbunden. Die angeschlossenen Einheiten (auch als Satelliten oder Slaves bezeichnet) werden von dem Zentralsteuergerät direkt adressiert. Die Sternstruktur wird überwiegend zwischen Steuergeräten, Modulen und Stellgliedern der Karosserie-/Komfortelektronik verwendet. Bei einem Ausfall der Zentraleinheit sind keine Datenübertragungen mehr möglich.

Ringnetz oder Ringleitung. Sie verbindet alle Teilnehmer ringförmig und eine ausgesandte Nachricht kann vom Sender nach deren Durchlauf wieder empfangen werden. Die Ringleitung wird in der Datenverarbeitung bei höchsten Anforderungen an die Datensicherheit und/oder die Übertragungsgeschwindigkeit verwendet. Im Kraftfahrzeugbereich wird die Ringleitung wegen der hohen Datenrate bei den Kommunikations- und Infotainmentsystemen eingesetzt.

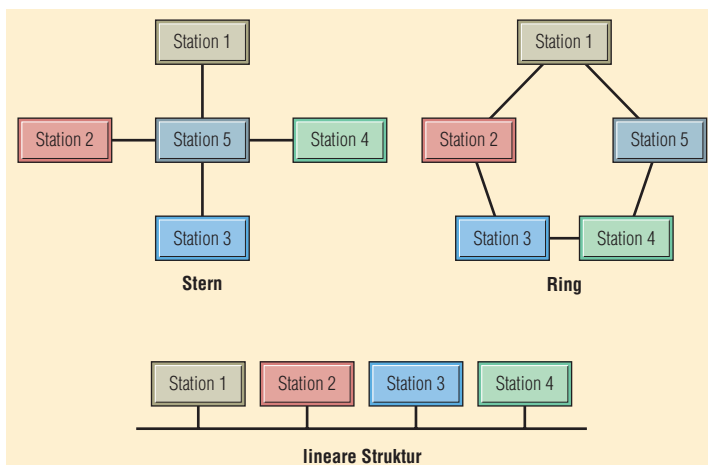


Bild 35.3 Prinzipielle Busstrukturen.

seriell = hintereinander in geordneter Reihenfolge/Serie

Topologie: Bezeichnung für den räumlich-organisatorischen Aufbau von komplexen Systemen; siehe Bild 35.12

BIT: binary digit, kleinste Speichereinheit, die nur die Werte 0 oder 1 enthalten kann.

Baud: Einheit aus der Nachrichtentechnik; nach Jean Baudot, franz. Fernmeldeingenieur, 1845–1903.

CAN: Controller Area Network

Linien- oder Reihenleitung. Bei der linearen Struktur werden alle Stationen (auch Knoten oder Master genannt) in einer einfachen Reihung an eine Leitung angeschlossen. Dabei sind viele Teilnehmer möglich. Durch eine entsprechende Programmierung muss sichergestellt werden, dass nicht zwei oder mehrere Stationen gleichzeitig eine oder mehrere Informationen senden können. Die übertragenen Daten werden botschaftsbezogen adressiert. Man bezeichnet dies auch als so genanntes nachrichtenorientiertes Übertragungsverfahren. Eine ausgesandte Botschaft können alle angeschlossenen Teilnehmer empfangen. Die lineare Struktur wird sehr häufig angewendet; sie kann für den Datenaustausch bei allen Systemen im Kraftfahrzeug verwendet werden.

Baumstruktur. Kombinationen aus den verschiedenen Busstrukturen sowie die gesamte Bustopologie eines Fahrzeuges werden auch als Baumstruktur bezeichnet.

Die **Übertragungsgeschwindigkeit** stellt neben der Busstruktur ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Bussysteme dar. Als Messgröße verwendet man die Anzahl der Bits, die pro Sekunde übertragen werden können (BPS). Die Einheit für die Schrittgeschwindigkeit der Übertragungsrate ist das Baud (Bd), das auch einem Bit pro Sekunde entspricht. Die Übertragungsgeschwindigkeit und die Baudrate sind bei den im Kraftfahrzeug eingesetzten Bussystemen

identisch, da die Datenübertragung seriell auf einer Datenleitung erfolgt. Im Gegensatz dazu steht die im Computerbereich übliche parallele Datenübertragung, bei der z. B. ein Byte gleichzeitig parallel über mindestens 8 Leitungen übertragen wird. Bei diesem Beispiel entspricht die mögliche Datenübertragungsrate der achtfachen Baudrate.

Die Übertragungsgeschwindigkeiten liegen in der Regel zwischen 9600 BPS (Niedergeschwindigkeitsbus für die Karosserie-/Komfortelektronik oder die Diagnose) und bis zu 1 Mio. BPS (Hochgeschwindigkeitsbus für die Antriebselektronik). Bei der Ringleitung über Lichtwellenleiter im Multimediabereich werden bis zu 22,5 MBit/s übertragen.

Übertragungswege. Die Datenübertragung geschieht überwiegend über Kupferdrahtleitungen. Es gibt aber auch Bussysteme, die die Daten über Lichtwellenleiter oder Funk übertragen.

Einen Überblick über die verschiedenen Bussysteme zeigt Tabelle 35.1 auf Seite 536.

Gateway. Bei der Verwendung verschiedener Bussysteme mit unterschiedlichen Übertragungsgeschwindigkeiten und/oder Übertragungswegen benötigt man als „Übersetzer“ ein so genanntes Gateway. Als Gateway bezeichnet man einen Rechner, der Daten aus einem Netz in ein anderes Netz umsetzen kann.

35.4 Signalaufprägung und Kommunikationsablauf beim CAN-Bussystem

Bei den CAN-Bussystemen werden die Daten über Kupferdrahtleitungen übertragen. Die Datenübertragung erfolgt seriell und bidirektional (die Daten können in zwei Richtungen gesendet werden). Deshalb genügt eine (Bus-)Leitung. Eine zweite Leitung dient der Kompensation der elektrischen und magnetischen Felder zur Verringerung der Störausstrahlung bei der Datenübertragung.

Die Daten bestehen aus high- und low-Signalen (hohe bzw. niedrige Spannung), die in schneller Abfolge übertragen werden und durch jede

Pegeländerung (Spannungsveränderung) eine Störausstrahlung – einem Sender vergleichbar – bewirken. Außerdem wird durch den damit verbundenen Stromfluss ein magnetisches Feld aufgebaut. Um die Störausstrahlung zu verringern, ordnet man deshalb einer Signalleitung eine zweite Signalleitung zu, die eine entgegengesetzte Stromflussrichtung und Pegeländerung besitzt. In Bild 35.4 auf Seite 536 sind mehrere Signalpegel zur Kompensation der elektrischen Feldkomponente dargestellt. Im Kraftfahrzeug sind die Signalverläufe a und b durch die fehlende negative Bordnetzspannung nicht mög-

Name	CAN A Controller Aerea Network	CAN B	CAN C	LIN Local Inter- connect Network	D2B optical	MOST Media Oriented Systems Transport	Byteflight	Bluetooth
Übertragungs- rate max.	10 kBit/s	125 kBit/s	1 Mbit/s	20 kBit/s	5,65 Mbit/s	22,5 Mbit/s	10 Mbit/s	1 Mbit/s
Teilnehmer max.	35	35	35	16	k. A.	k. A.	k. A.	vier bis acht
erster Serieneinsatz			1991	1994	1998	2001	2001	2002
Anwendung im Kfz	Diagnose, Karosserie, Komfort	Diagnose, Karosserie, Komfort	Antriebs- strang	Sub- systeme Karosserie/ Komfort	Info- tainment	Info- tainment	Passives Rückhalte- system	Telefon
Übertragungs- weg	Kupfer- drahtltg.	Kupfer- drahtltg.	Kupfer- drahtltg.	Kupfer- drahtltg.	Lichtwel- lenleiter	Lichtwel- lenleiter	Lichtwel- lenleiter	Funk
Struktur	Linie	Linie	Linie	Linie / Stern	Ring	Ring	Stern	Stern
Bemerkungen		ISO 11519-2	ISO 11898		Vorläufer MOST			noch versch. Standards und Bau- stufen
Übertragungs- verfahren	nach- richten- orientiert	nach- richten- orientiert	nach- richten- orientiert	adress- orientiert	adress- orientiert	adress- orientiert	adress- orientiert	adress- orientiert
Signal- initialisierung	ereignis- gesteuert	ereignis- gesteuert	ereignis- gesteuert	ereignis- gesteuert	ereignis- gesteuert	ereignis- gesteuert	zeit- gesteuert	ereignis- gesteuert

Tabelle 35.1

Verschiedene Datenbussysteme.

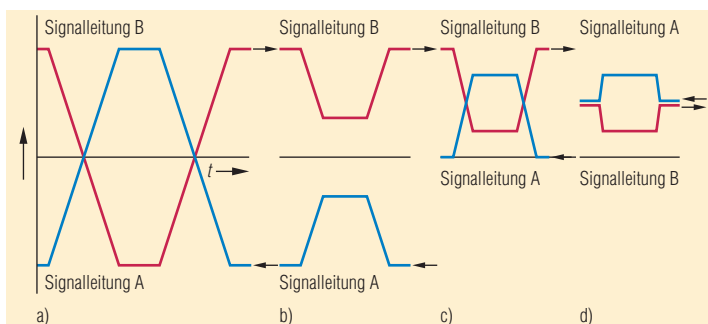


Bild 35.4 Kompensation der elektrischen Feldkomponente durch verschiedene Signalpegel.

lich. Die Signalverläufe c und d bewirken jedoch das gleiche Ergebnis, da nicht die Summen der Spannungspotenziale aufheben müssen, sondern nur die Summen der Spannungsänderung. Die zwei Signalleitungen werden häufig mit „high“ bzw. „low“ bezeichnet.

Eine dritte Leitung als Leitungsabschirmung verringert die Störeinstrahlung. Die Signalleitungen sind zur Verringerung der Störein- und -ausstrahlung meistens verdreht. Die verschiedenen Bussysteme können also mit einer, zwei oder drei Leitungen ausgeführt sein. Bei hohen Übertragungsgeschwindigkeiten und hohen Anforderungen an die Datensicherheit (z.B. Antriebselektronik) ergänzt man die Daten-/ Signalleitung um eine Kompensationsleitung

und eine Leitungsabschirmung. Für die Datenübertragung in der Komfortelektronik (niedrige Übertragungsgeschwindigkeit, geringe Anforderungen an die Datensicherheit) ist eine Leitung, die Signalleitung, ausreichend.

Mithilfe der Prinzipschaltung in Bild 35.5 kann die Signalaufprägung auf das Bussystem erklärt werden. Die Transmitterausgänge der Steuergeräte sind in der Prinzipdarstellung als Schalter (im Ruhezustand geöffnet) mit einer in Reihe geschalteten Diode gezeichnet.

Die Ruhespannung zwischen den Signalleitungen ist abhängig von den verschiedenen Busabschlüssen. Der Bus befindet sich im rezessiven Zustand. In den dominanten Zustand wechselt der Bus, wenn zwei „Schalter“ eines Steuergerätes geschlossen werden und die Signalleitung mit der höheren Spannung gegen Masse gezogen wird und der anderen Signalleitung eine gleich groß, entgegengesetzte Spannung aufgeprägt wird. Durch ein entsprechendes Öffnen und Schließen der Schalter werden die Daten übertragen. Entsprechend dem Buszustand spricht man von dominanten und rezessiven Bits. Die Signalaufprägung bei einer Eindrahtleitung geschieht analog, aber nur auf einer Leitung mit einem „Schalter“.

Die auf dem Bussystem übertragenen Daten können von jedem daran angeschlossenen Steuergerät empfangen und überprüft werden. Die Daten werden aber nur von den Steuergeräten übernommen, die diese Daten benötigen (Bild 35.6).

Damit die Steuergeräte die übertragenen Daten und deren Zuordnung erkennen sowie zur Funktionsüberwachung und -steuerung, haben die Daten ein festgelegtes Format, den so genannten Datenrahmen (Data frame, Bild 35.7). Dieser besteht beim CAN-Bus aus

- Startsignal (Start of Frame),
- Zuordnungsfeld (Arbitration Field),
- Kontrollfeld (Control Field),
- Datenfeld (Data Field),
- Rahmensicherungsfeld (CRC Field),
- Bestätigungsfeld (Ack Field),
- Endsignal (End of Frame).

Der **Start of Frame** wird am Anfang einer Datenübertragung durch ein dominantes Bit gesetzt. Dadurch werden alle Steuergeräte synchronisiert.

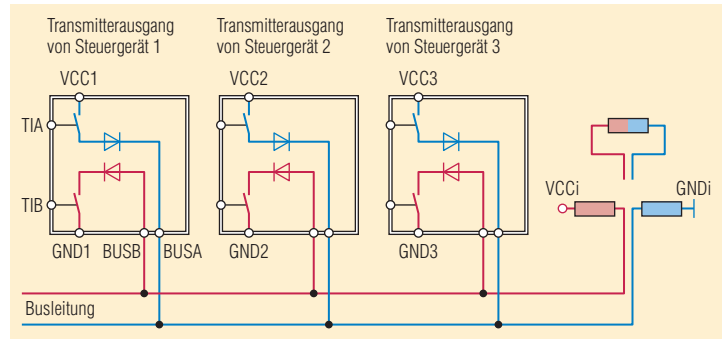


Bild 35.5 Prinzipschaltung der Transmitterausgänge und des Busabschlusses.

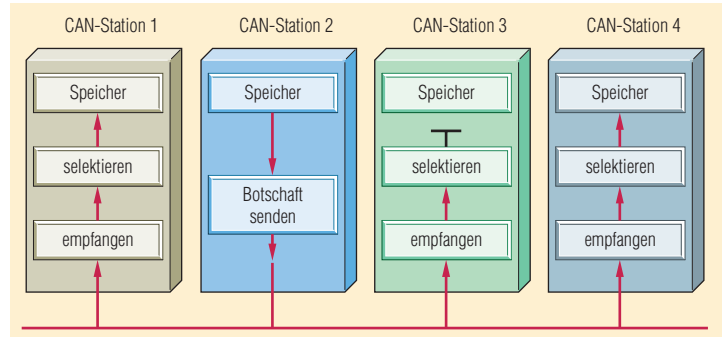


Bild 35.6 Akzeptanzprüfung.

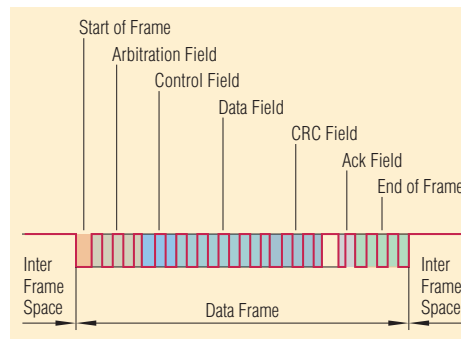


Bild 35.7 Datenformat des CAN-Busses.

Das **Arbitration Field** setzt sich aus dem so genannten Identifier und einem Kontrollbit zusammen, wodurch die Zuordnung der Daten (z. B. Zündwinkel, Außentemperatur, Geschwindigkeit usw.) festgelegt wird.

Da dieses Bussystem nach dem „Multi-Master-Prinzip“ arbeitet und jede Station am Bus gleichberechtigt senden kann, muss eine Sendereihenfolge (Sendepriorität) nach der Wichtigkeit der Daten festgelegt werden. Dies geschieht durch den Aufbau des Identifiers. Je mehr dominante Bits er besitzt, desto höher ist die Priorität. Dominante Bits überschreiben rezessive Bits. Während der Übertragung des Identifiers überprüft die

transmittere (lat.):
hinüberschicken,
übersenden

recedere (lat.): zu-
rückweichen, sich
zurückziehen

dominare (lat.):
herrschen, über-
decken

arbitration (engl.):
Schiedsspruch,
Entscheidung

to identify (engl.):
ausweisen,
erkennen

Multi-Master: Alle
Steuergeräte sind
gleichberechtigt.

remote (engl.):
entfernt, mittelbar,
indirekt

CRC: cyclic
redundancy check
(engl.) = zyklisches
Kontrollverfahren

acknowledge
(engl.): anerken-
nen, bestätigen

sendende Station laufend, ob sie noch senden darf oder ob eine Station mit höherer Priorität sendet. Durch das Kontrollbit wird erkannt, ob der Sender ein Data Frame sendet oder von einer anderen Station Daten abrufen (Remote Frame).

Im **Control Field** ist die Größe des folgenden Datenfeldes abgelegt.

Im **Data Field** wird die eigentliche Information übertragen.

Das **CRC Field** wird zur Erkennung von Störungen während der Datenübertragung verwendet. Im **Ack Field** wird der fehlerfreie Empfang durch alle Empfänger bestätigt.

Der **End of Frame** markiert das Ende der Botschaft, die maximal 130 Bits beinhalten kann. Alle Steuergeräte überwachen sich gegenseitig und können fehlerhafte Übertragungen erkennen, abrechnen und sich selbst abschalten.

Bild 35.8 zeigt die reale Datenübertragung auf einem CAN-Bus, die mit dem Oszilloskop sichtbar gemacht werden kann.

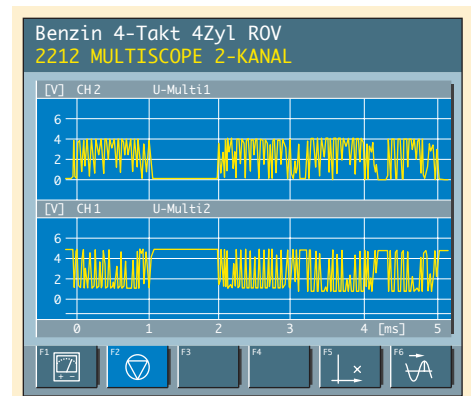


Bild 35.8 Oszilloskopdarstellung einer CAN-Bus-Datenübertragung.

35.5 Optische Datenbussysteme mit Lichtwellenleiter

Induktivität und die dadurch entstehende Trägheit der Spannungsänderungen begrenzen die über Kupferdrahtleitungen möglichen Übertragungsgeschwindigkeiten. Steigende Anforderungen an die Geschwindigkeit der Datenübertragung und der zu übertragenden Datenmengen, speziell bei den Infotainmentanwendungen, führten deshalb zur Entwicklung optischer Datenbussysteme.

Die Datenübertragung mit Lichtimpulsen über Lichtwellenleiter ist fast verzögerungsfrei und sehr schnell. Außerdem treten keine elektromagnetischen Störungen auf.

Die Lichtimpulse werden durch eine Leuchtdiode im Steuergerät erzeugt und durch eine Fotodiode empfangen (Bild 35.9). Bei den Lichtimpulsen handelt es sich um sichtbares rotes Licht mit einer Wellenlänge von 650 nm (Nanometer).

Die Datenübertragung erfolgt seriell, aber nicht mehr bidirektional. Die Daten werden beim MOST-Bus in einem Ring in einer Richtung übertragen. Ein Steuergerät im Verbund hat die Masterfunktion (head-unit) und steuert die Datenübertragung. Bei der Sternstruktur (byteflight) benötigt man für jede Richtung eine Leitung.

Eine besondere Bedeutung bei der optischen Datenübertragung haben die Lichtwellenleiter und deren Verbindungen. Die Lichtwellenleiter bestehen aus Kunststoff (Polymer) mit einem lichtleitenden Kern und einer Reflektorschicht. Im Umgang mit Lichtwellenleitern sind einige Dinge zu beachten (Bild 35.10).

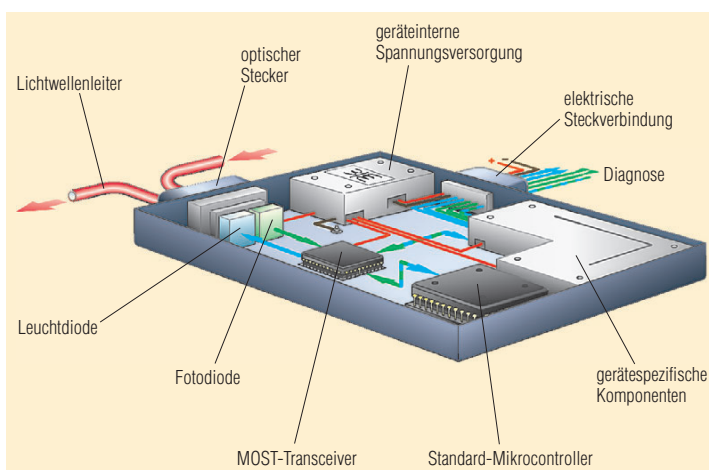


Bild 35.9 MOST-Steuergerät.

Die Lichtwellenleiter dürfen

- nicht zu stark gebogen werden (a),
- keinen thermischen und chemischen Belastungen ausgesetzt werden,
- an den Stirnflächen nicht verschmutzt oder verkratzt werden (b),
- mechanisch nicht belastet werden (c).

Zusätzlich muss man immer auf den richtigen Sitz und die richtige Verriegelung der Stecker (d) achten.

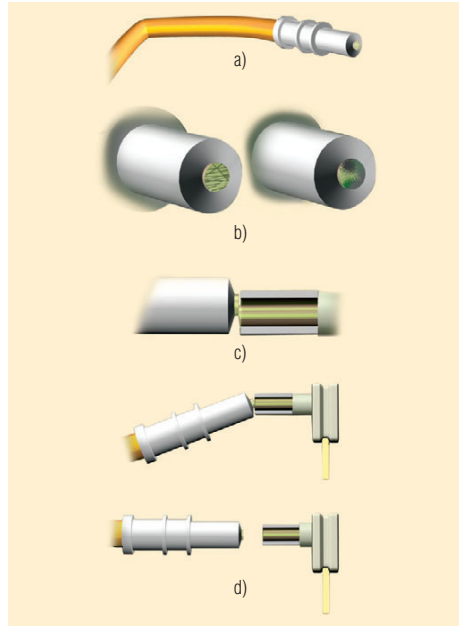


Bild 35.10 Fehlerursachen bei Lichtwellenleitern.

35.6 Bluetooth

Bei der Bluetooth-Technologie handelt es sich um ein Kurzstrecken-Funksystem, also ein drahtloses Datenbussystem. Es wird sowohl in der Computertechnik als auch im Mobilfunkbereich eingesetzt (Bild 35.11).

Mit einer Sendeleistung von 1 mW werden über eine kurze Antenne im 2,45 GHz-Frequenzbereich die Daten übertragen. Die Reichweite beträgt 10 m.

Das System besteht immer aus einem Master, der die Verbindungen aufbaut und die Sendereihenfolge festlegt. Jedes Gerät besitzt eine Adresse. Bei der erstmaligen Inbetriebnahme müssen alle über Bluetooth verbundenen Geräte zuerst gekoppelt werden. Dies wird auch als Bonding bezeichnet.

Bei der Bluetooth-Technik gibt es verschiedene Standards und innerhalb dieser unterschiedliche Profile. Deshalb sind nicht alle bluetooth-fähigen Geräte immer miteinander kompatibel.

to bond (engl.) =
fesseln, gefangen
nehmen

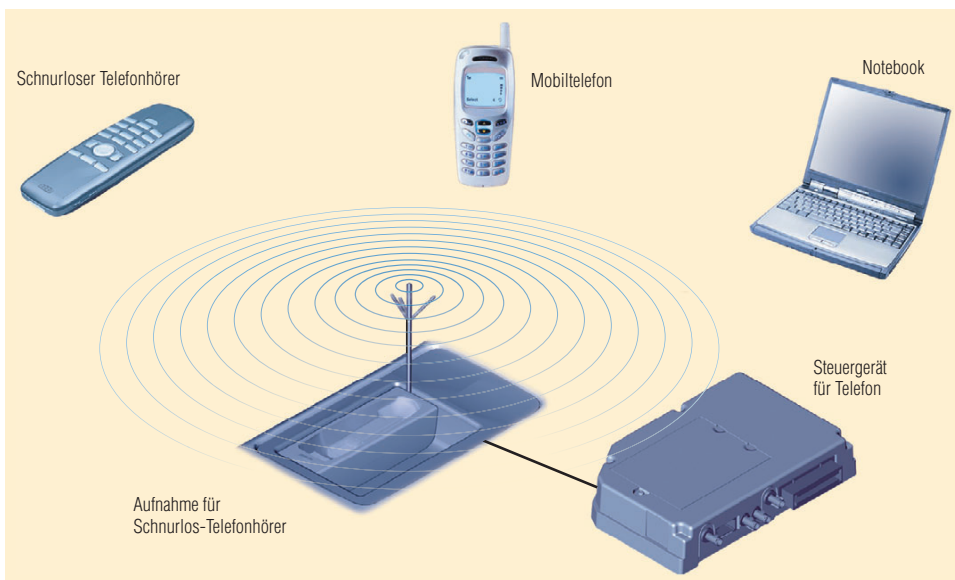


Bild 35.11 Bluetooth-Vernetzung.

35.7 Verschiedene Bussysteme in einem vollausgestatteten Fahrzeug

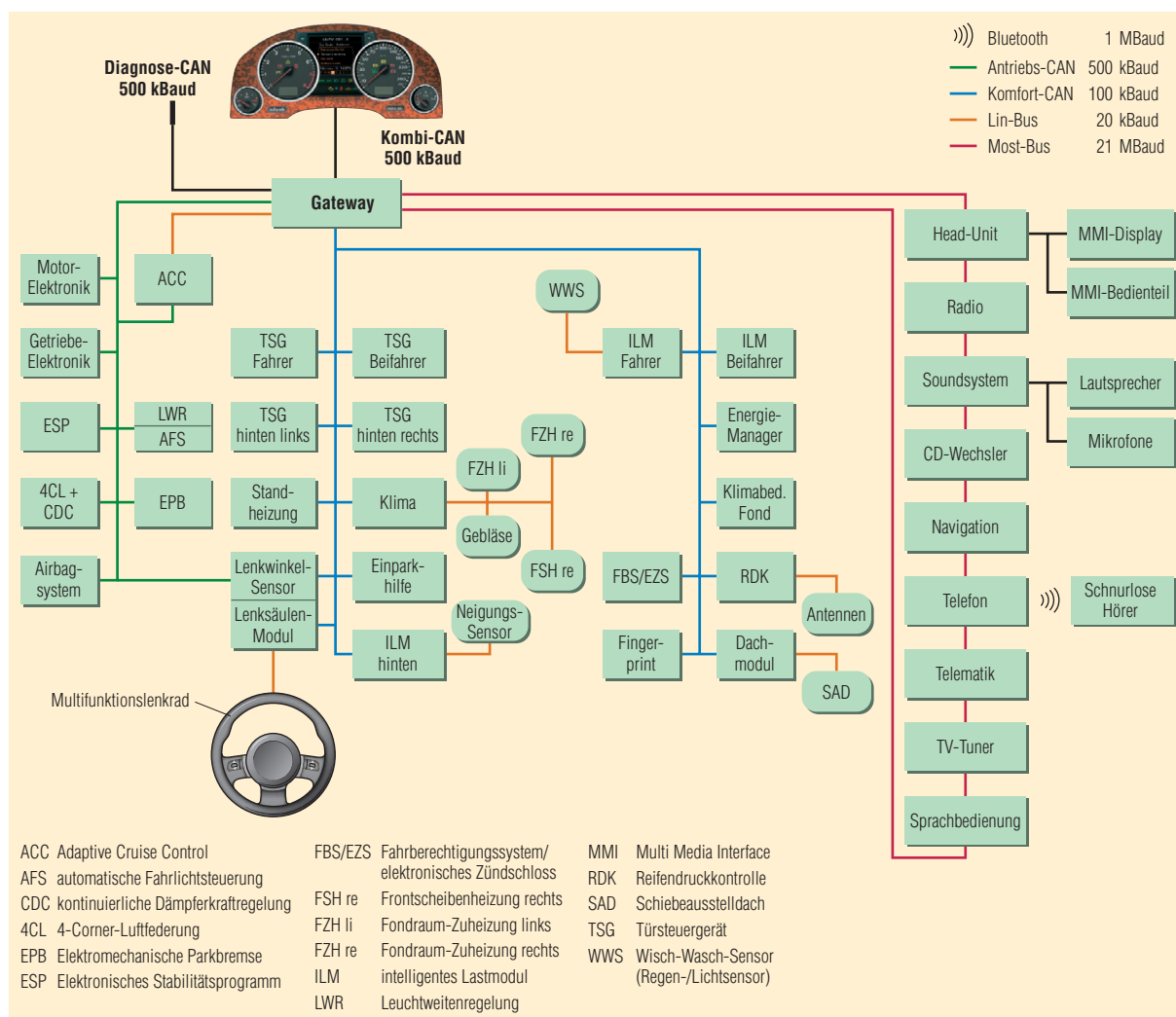


Bild 35.12 Bustopologie eines vollausgestatteten Fahrzeuges.

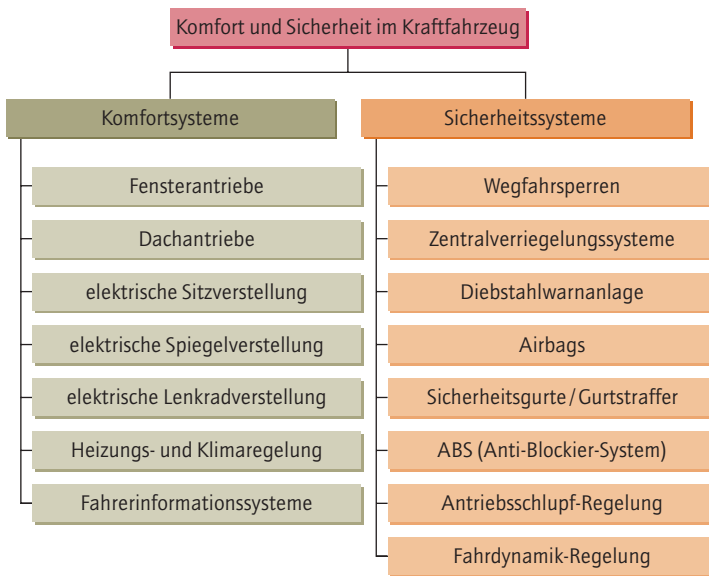
Werkstattpraxis

Fehlerhafte Steuergeräte, Signalleitungen und Datenübertragungen werden bei allen Bussystemen in Fehlerspeichern abgelegt; sie können durch einen Diagnosetester ausgelesen werden.

Arbeitsaufträge

1. Überlegen Sie, welche elektrischen Komponenten, Steuergeräte oder elektronischen Systeme das Geschwindigkeitssignal nutzen. (Die Komfortelektronik nicht vergessen!)
2. Welche Daten/Informationen werden zwischen den Steuergeräten der Antriebselektronik ausgetauscht? Bei welchen Betriebszuständen?
3. Welche Busstruktur, mit welcher Übertragungsgeschwindigkeit und wie viele Leitungen wird man für die Vernetzung der verschiedenen elektronischen Systeme verwenden und warum?
4. Welche Vorteile bietet ein Bussystem mit zwei Leitungen bezüglich der Ausfallsicherheit?
5. Was bedeutet es, wenn ca. 3000 m Kabel in einem Fahrzeug verlegt sind?
6. Komplexe Bussysteme mit einem hohen Vernetzungsgrad kennzeichnen die Entwicklung in der Automobilindustrie. Haben Sie in Ihrer beruflichen Praxis schon Nachteile dieser Entwicklung erfahren? Berichten Sie bitte darüber.
7. Versuchen Sie herauszufinden, woher der Name Bluetooth stammt. Es ist eine interessante Geschichte!

36 Komfortsysteme



Gelenkgetriebe. Ein Elektromotor treibt über ein Stirnrad ein Zahnsegment an, das mit einem Gelenkgetriebe verbunden ist (Bild 36.1). Bei der Übertragung des Kraftmomentes (Drehmoment) ist nur ein Zahnpaar im Eingriff. Das Heben und Senken der Seitenfenster erfolgt über ein Scheugetriebe. Ist das Fenster ganz geöffnet, benötigt man zum Starten des Schließvorganges das maximale Moment des Elektromotors. Je weiter das Fenster geschlossen wird, desto mehr „Überschuss“ an Schließkraft ist vorhanden. Deshalb sind eine Schließkraftbegrenzung und ein Einklemmschutz erforderlich.

Seilzuggetriebe. Ein Antriebsmotor treibt eine Seilzuganlage an (Bild 36.2). Das Schneckenradgetriebe garantiert eine große Übersetzung ins Langsame und überträgt zugleich große Leistungen.

36.1 Fenster- und Dachantriebe

36.1.1 Fensterantriebe

Die Seitenfenster können mithilfe eines Elektromotors automatisch geöffnet und geschlossen werden. Ein leichter Druck auf den Schalter genügt um den Elektromotor zu starten. Je nach Größe des zur Verfügung stehenden Einbaurumes in der Tür oder dem Seitenraum werden zwei unterschiedliche Systeme eingebaut.

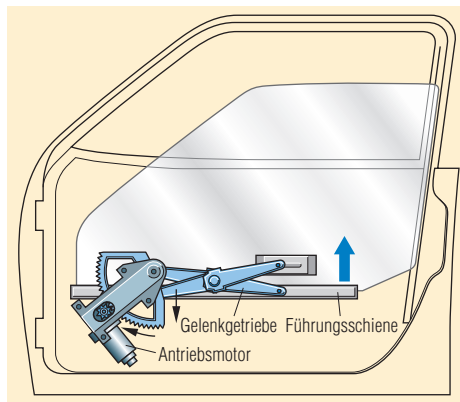


Bild 36.1 Fensterantrieb mit Gelenkgetriebe.

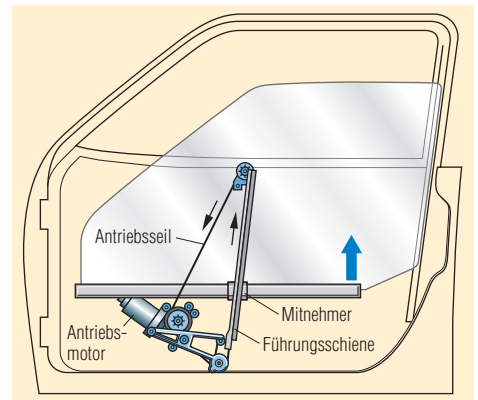


Bild 36.2 Fensterantriebssystem mit Seilzuggetriebe.

Vorteile des Schneckenradgetriebes:

- extreme Übersetzungen,
- selbsthemmend (kleiner Steigungswinkel),
- Übertragung großer Kraftmomente,
- gleichmäßige Geschwindigkeit beim Öffnen und Schließen.

Einklemmschutz. Nach § 30 StVZO ist ein Einklemmschutz vorgeschrieben, der von der oberen lichten Fensteröffnung ab 200 mm wirken soll und einen mindestens 4 mm breiten Spalt garantieren muss. Kommt es zu einer Drehzahländerung des Antriebsmotors, z. B. wenn der Beifahrer seine Hand an die Oberkante der Scheibe hält, meldet der Drehzahlsensor die Störung und die Aufwärtsbewegung wird sofort gestoppt.

36.1.2 Dachantriebe

Sowohl Schiebedächer als auch Faltdächer werden häufig elektromotorisch angetrieben. Bei beiden Dacharten erfolgt die Kraftübertragung über biegsame Wellen. Faltdächer können auch elektrohydraulisch betätigt werden (Bild 36.3).

Um Komfort und Sicherheit zu erhöhen, können weitere Funktionen über Mikroschalter und Sensoren mit anderen Systemen vernetzt werden:

- vorwählbare Positionssteuerung,
- automatisches Schließen bei Regen,
- Kombination mit der zentralen Schließanlage,
- integrierter Einklemmschutz und Kraftbegrenzung,
- Abstimmung mit einer Klimaanlage.

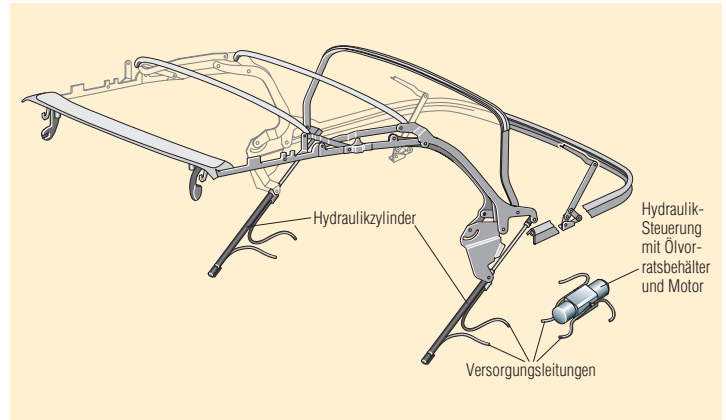


Bild 36.3 Elektrohydraulische Steuerung eines Faltdachs.

36.2 Elektrische Sitz-, Spiegel- und Lenkradverstellung

36.2.1 Elektrische Sitzverstellung

Bei der elektrischen Verstellung des Fahrer- und des Beifahrersitzes sowie evtl. der hinteren Sitze handelt es sich um eine komfortable Ausstattungsmöglichkeit, die überwiegend in Fahrzeugen der Ober- und Mittelklasse eingebaut ist (Bild 36.4).

Viele verschiedene Elektromotoren im Sitz bieten folgende Verstellmöglichkeiten:

- Sitzhöhenverstellung vorne/hinten,
- Längsverstellung nach vorne und hinten,
- Einstellung der Lehnenneigung,
- Einstellung der Lordosen-/Lendenstütze (Höhe/Wölbung),
- Verstellung der Kopfstützenhöhe,
- Lehnenkopfverstellung bzw. Lehnenknickeung (im oberen Drittel),
- Sitztiefenverstellung bzw. Verstellung der Oberschenkelauflage.

Die Schalter für die Sitzverstellung sind in der Ruhestellung mit Masse verbunden. Nach Betätigung werden die Gleichstrom-Elektromotoren mit Rechts-/Linkslauf unter Strom in einer bestimmten Richtung angesteuert. Die Sitzverstellung erfolgt dann über Getriebe und Wellen.

Besitzt die Sitzverstellung eine Speicherfunktion, erfolgt die Lagerückmeldung durch Potenziometer oder Hallsensoren an ein Steuergerät, das auch die Betätigung der Schalter auswertet und die Elektromotoren dann richtig ansteuert.

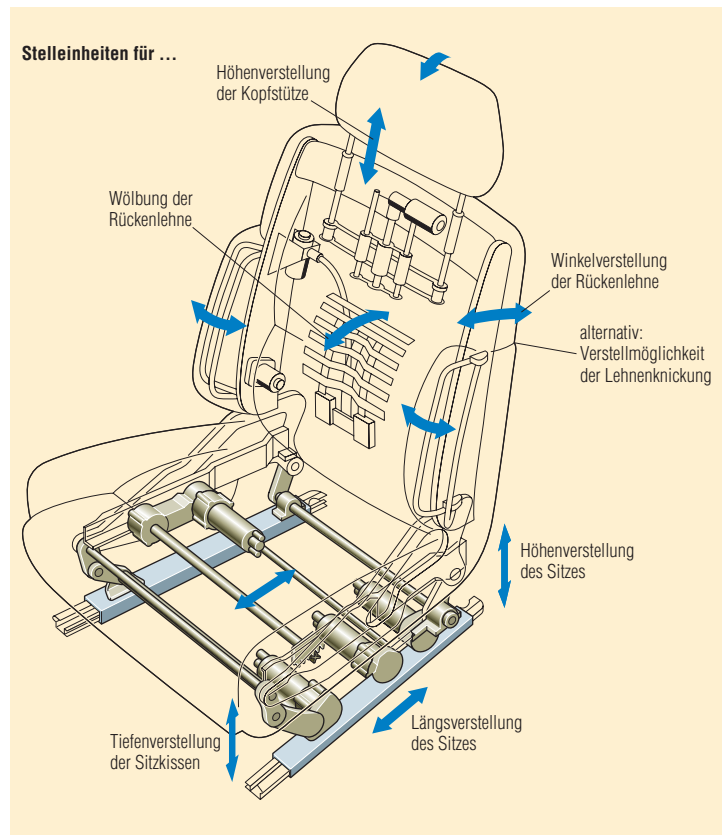


Bild 36.4 Elektromechanische Sitzverstellung, Verstellmöglichkeiten.

36.2.2 Elektrische Spiegelverstellung

Die manuelle Einstellung der Außenspiegel, besonders auf der Beifahrerseite, ist von der Fahrerseite aus sehr umständlich. Deshalb haben sehr viele Fahrzeuge elektrisch verstellbare Außenspiegel. Das Spiegelglas wird dabei von zwei kleinen Gleichstrom-Elektromotoren mit Rechts-/Linkslauf verstellt. Die Drehbewegung der Motoren wird über Schneckenräder und Stellschrauben auf die horizontale und vertikale Verstellung des Spiegelglases umgesetzt. Die Stromversorgung erfolgt über den Außenspiegelschalter (Bild 36.5).

Besitzt die elektrische Spiegelverstellung eine Speicherfunktion (meist gemeinsam mit der elektrischen Sitzverstellung) erfolgt die Lage-rückmeldung über Potenziometer.

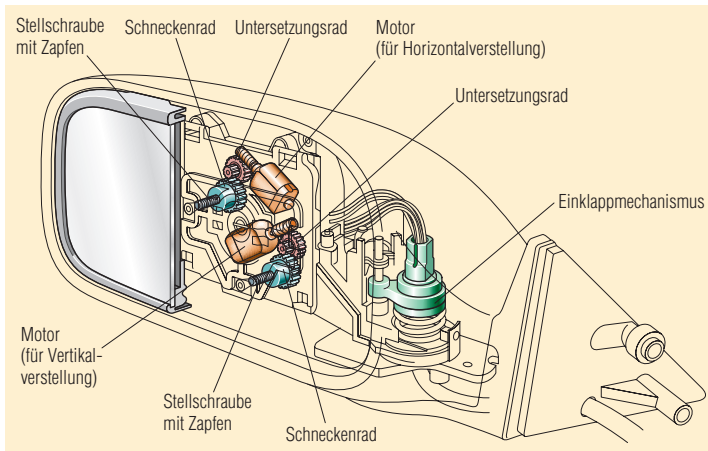


Bild 36.5 Elektrisch verstellbarer Außenspiegel.

36.2.3 Elektrische Lenkradverstellung

Durch die Verstellung der Lenksäule sowohl in der Länge als auch in der Neigung/Höhe kann die Lenkradposition entsprechend der Sitzposition des Fahrers optimal eingestellt werden. Die komfortabelste Lösung stellt auch hier die elektrische Verstellung über Gleichstrom-Elektromotoren mit Rechts-/Linkslauf dar, die über selbst-

hemmende Getriebe die Funktionen umsetzen (Bild 36.6).

Die Ansteuerung der Elektromotoren erfolgt direkt durch den Verstellschalter bzw. mit Speicherfunktion über das Steuergerät. Die Lage-rückmeldung erfolgt durch Potenziometer.

Selbsthemmende Getriebe sind notwendig, da bei einem Unfall alle auf die Lenksäule wirkenden Kräfte abgefangen werden müssen.

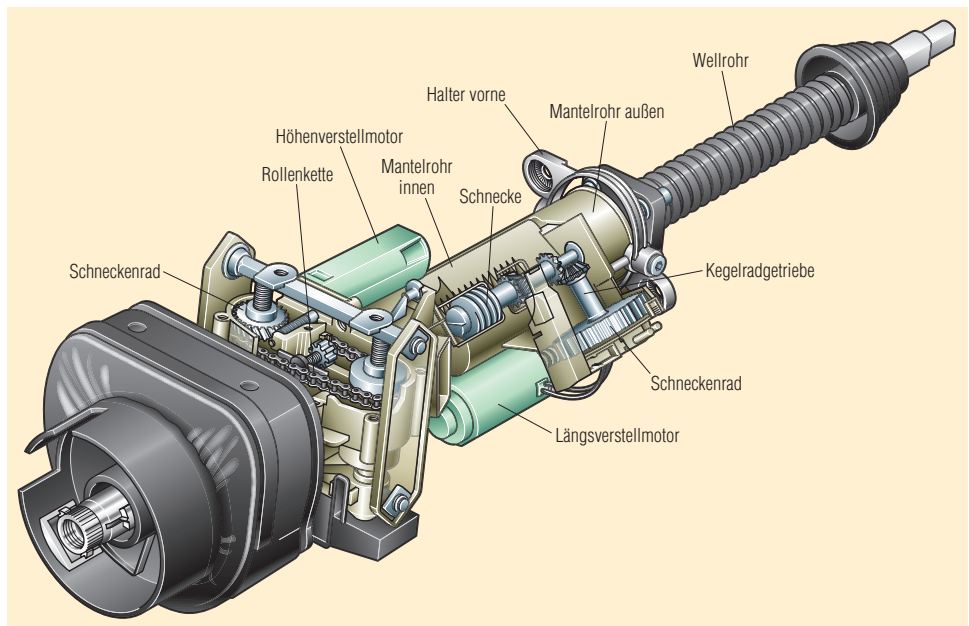


Bild 36.6 Elektrische Lenksäulenverstellung.

36.2.4 Verstellungen mit Speicherfunktion

Die elektrische Sitz-, Spiegel- und Lenkradverstellung besitzt meist eine Speicherfunktion. Eine mögliche Vernetzung der einzelnen Komponenten zeigt Bild 36.7.

Das System besteht in diesem Beispiel aus mehreren Modulen in der Fahrertür, Beifahrertür und unter den Sitzen sowie aus einem zentralen Grundmodul. Der Datenaustausch zwischen den Modulen erfolgt über ein Bussystem. Die verschiedenen Schalter und Verstellmotoren sind direkt an das jeweilige Modul angekoppelt.

Dieses System bietet durch den Memoryschalter drei verschiedene Speicherplätze. Die Sitz-, Spiegel- und Lenkradpositionen können so optimal

auf den jeweiligen Fahrer eingestellt, gespeichert und abgerufen werden. Aus Sicherheitsgründen kann dies nur bei stehendem Fahrzeug ausgeführt werden. Weitere Funktionen sind ein Abklappen des Beifahrerspiegels beim Einlegen des Rückwärtsganges (als Einparkhilfe) und ein Hochschwenken des Lenkrades beim Ausschalten der Zündung (als Ein- und Ausstiegshilfe).

Die gespeicherten Positionen können auch auf verschiedene Funkfernbedienungen bezogen sein. Dadurch stellen sich dem jeweiligen Schlüssel (Fahrer) entsprechend beim Entriegeln des Fahrzeuges automatisch die gespeicherten Positionen für Sitz, Spiegel und Lenkrad ein.

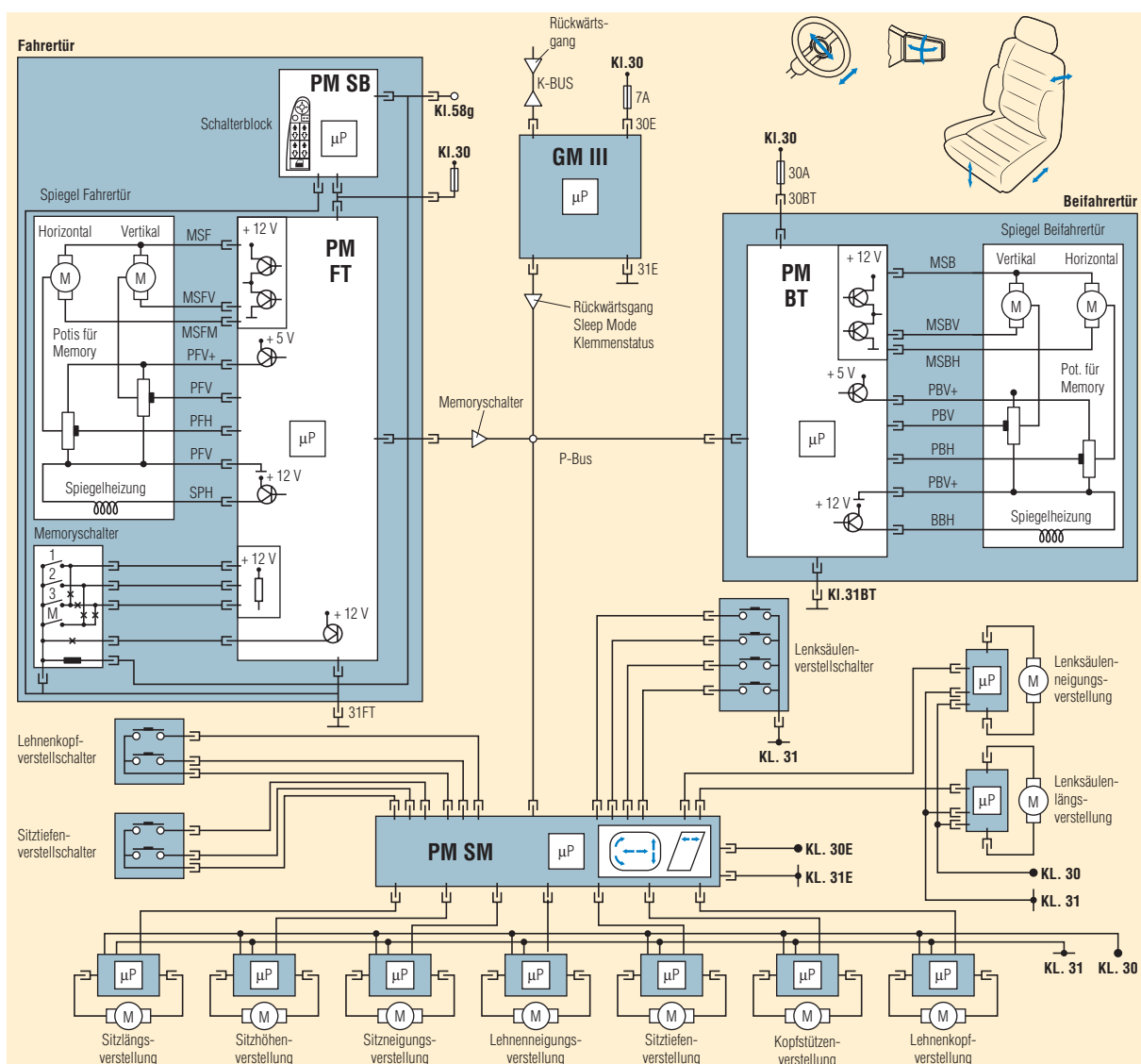


Bild 36.7 Funktionsschaltplan Sitz-, Spiegel-, Lenkradverstellung.

36.3 Heizungs- und Klimaregelung

Mithilfe der Heizungs- und Klimaregelung soll im Fahrgastinnenraum eine gewählte Temperatur schnell erreicht und konstant gehalten werden. Die angesaugte Außenluft muss dazu aufgeheizt oder abgekühlt werden und die Verteilung der Luft soll eine angenehme Temperaturschichtung ergeben (warme Füße, kühler Kopf). Außerdem soll die Luft gereinigt und die Luftfeuchtigkeit verringert werden.

36.3.1 Funktionsprinzip einer Klimaanlage

Kältemittel. Die Wirkungsweise einer Klimaanlage beruht darauf, dass ein Kältemittel (wie jedes chemische Element) bei der Änderung seines Aggregatzustandes (fest, flüssig, gasförmig) Energie aufnimmt bzw. abgibt. Beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand benötigt das Kältemittel Energie, die es der Umgebung in Form von Wärme entzieht. Umgekehrt gibt das Kältemittel beim Übergang vom gasförmigen in den flüssigen Zustand Wärme ab. Als Kältemittel muss ein Stoff verwendet werden, der einen möglichst niedrigen Siedepunkt (flüssig – gasförmig) hat (Bild 36.8).

Der Siedepunkt kann durch Druckeinwirkung verändert werden; gleichzeitig findet eine Erwärmung statt. Das verwendete Kältemittel R 134a (Tetrafluorethan) hat seinen Siedepunkt bei ca. -26°C bei atmosphärischem Druck. Bei 15 bar Überdruck liegt der Siedepunkt bereits bei ca. 55°C .

Die Heiz- und Klimaregelung verarbeitet dazu mehrere Eingangssignale und kann ausgangseitig verschiedene Stellmotoren für die Luftverteilung, zwei Wasserventile für die Heizung, den Klimakompressor für die Kühlung und das Gebläse ansteuern.

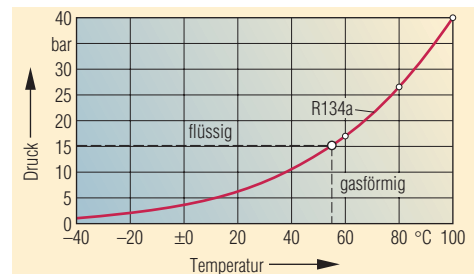


Bild 36.8 Siedepunktkurve R 134a.

Kältemittelkreislauf (Bild 36.9). Der vom Motor über eine Magnetkupplung angetriebene Kompressor saugt das gasförmige Kältemittel an und verdichtet es auf ca. 15 bar. Die Temperatur des unter Druck stehenden Kältemitteldampfes steigt dabei auf ca. 70°C an. Durch den Kondensator kann es diese erhöhte Temperatur an die Umgebungsluft abgeben. Beim Abkühlen wird das unter Druck stehende Kältemittel flüssig, da der Siedepunkt bei einem Druck von 15 bar bei ca. 55°C liegt. Das flüssige Kältemittel gelangt dann in die Trocknerflasche/den Kältemittelsammler, wo es durch Filter gereinigt und ihm Wasser entzogen wird. Beim Überschreiten des Öffnungsdruckes kann das Kältemittel durch das Expansionsventil aus der Hochdruckseite in den Niederdruckbereich gelangen. Dabei sinkt der Siedepunkt durch den geringeren Druck ab und das flüssige Kältemittel wird gasförmig. Im Verdampfer entzieht es der Umgebungsluft dabei Wärme. Die durch das Gebläse an den Kühlrippen des Verdampfers vorbeigeleitete Außenluft wird dadurch abgekühlt. Die Feuchtigkeit der Außenluft kondensiert durch die Abkühlung am Verdampfer, wodurch die Luftfeuchtigkeit verringert wird und in der Feuchtigkeit gebundene Schmutzpartikel ausgeschieden werden. Das Kondenswasser wird über Abläufe ins Freie geleitet.

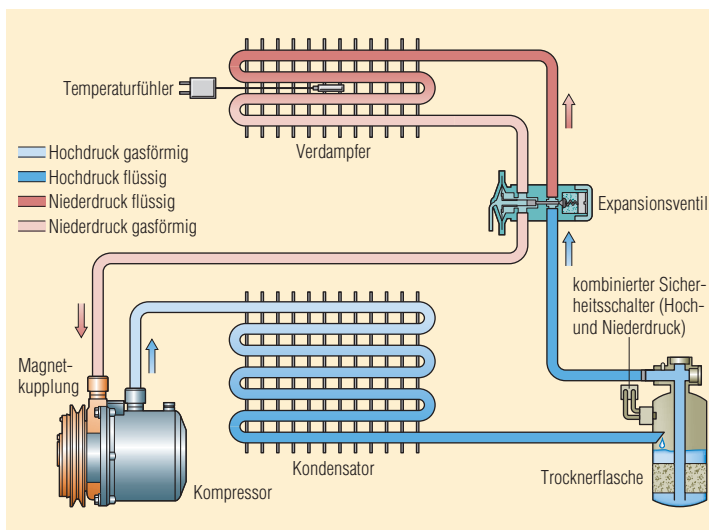


Bild 36.9 Kältemittelkreislauf in einer Klimaanlage.

Ein Absinken der Temperatur am Verdampfer unter 2 °C würde zur Vereisung führen. Um dies zu verhindern ist am Verdampfer ein Temperaturfühler angebracht, durch dessen Signal das Steuergerät die Magnetkupplung am Kompressor trennt und damit den Kreislauf unterbricht. Mit dem Kältemittel wird gleichzeitig ein Kälteöl umgewälzt, das zur Schmierung des Kompressors und des Expansionsventils dient. Aus Sicherheitsgründen kann die Stromversorgung der Magnetkupplung zusätzlich durch einen Nieder- und einen Hochdruckschalter unterbrochen werden. Bei eventuellen Defekten (z. B. Expansionsventil öffnet nicht) schützt der Hochdruckschalter das System vor zu hohen Drücken. Der Niederdruckschalter unterbricht die Magnetkupplung bei Unterschreiten einer unteren Druckschwelle, da man dann von einer Undichtigkeit ausgeht. Dies würde durch zu geringen Kältemittelumlauf (und dem damit umlaufenden Schmieröl) eine mangelhafte Schmierung bedeuten.

Volumengeregelter Taumelscheibenkompressor (Bild 36.10). Statt der Magnetkupplung am Kompressor, die nach Bedarf ein- und ausgeschaltet wird, verwendet man immer häufiger einen volumengeregelten (Taumelscheiben-) Kompressor. Bei neueren Kompressoren, bei denen die Fördermenge zwischen 0% und

100% regelbar ist, kann die Magnetkupplung entfallen.

Die im Anstellwinkel veränderliche Taumelscheibe stellt den notwendigen Förderhub der Kolben ein, abhängig von der Druckdifferenz zwischen Verdichtungs- und Kurbelraum. Der Druck im Kurbelraum wird durch das Hauptregelventil und das Zusatzregelventil geregelt. Die Ansteuerung erfolgt durch ein Steuergerät.

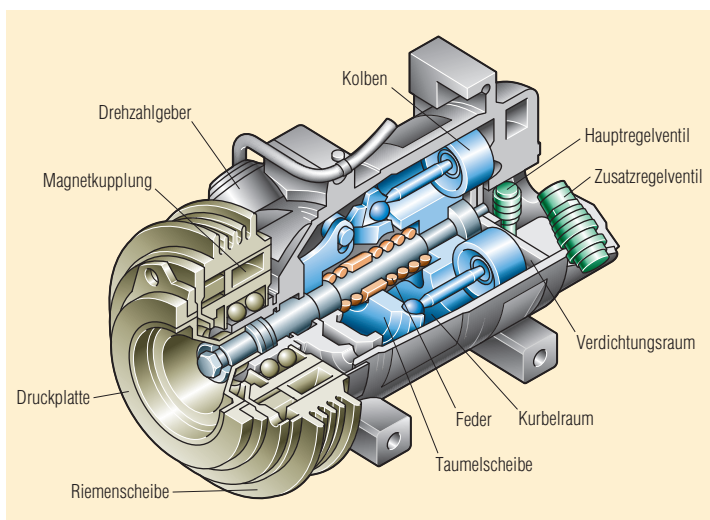


Bild 36.10 Volumengeregelter Taumelscheibenkompressor.

36.3.2 Ein- und Ausgangssignale und Funktionen der Heizungs- und Klimaregelung

Für die bestmögliche, automatische Klimatisierung des Fahrgastinnenraumes muss das Steuergerät mehrere Umfeldbedingungen und die Temperaturwünsche des Fahrers/Beifahrers erfassen. Mögliche Eingangssignale sind

- die durch Drehpotenziometer, Schalter oder digital eingestellte Wunschtemperatur,
- die über mehrere NTC-Sensoren gemessene Außen-, Innenraum-, Verdampfer- und Wärmetauscher temperatur,
- die über einen Solarsensor erfasste Sonneneinstrahlung,
- bestimmte Programm-, Luftverteilungswahl-tasten und Gebläseeinstellungen und
- die Motordrehzahl und die Fahrgeschwindigkeit.

Das Steuergerät berechnet daraus unter Berücksichtigung bestimmter programmierter Korrekturfaktoren (z.B. Kälteabstrahlung der Scheiben) die Ansteuerung der Stellelemente. Je nach Automatisierungsgrad werden

- bis zu 20 Stellelemente an den verschiedenen Luftklappen für die Luftverteilung,
- ein oder zwei Wasserventile am Wärmetauscher zur Steuerung des Kühlmitteldurchlaufs,
- der Klimakompressor,
- das Gebläse für den Luftdurchsatz,
- die Heckscheibenheizung und
- eine Standheizung und Standlüftung angesteuert.

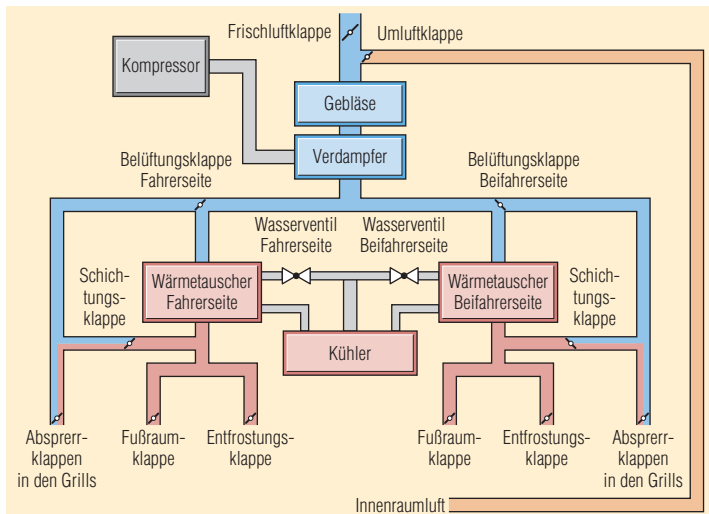


Bild 39.11 Schematische Luftverteilung einer Heizungs- und Klimaregelung.

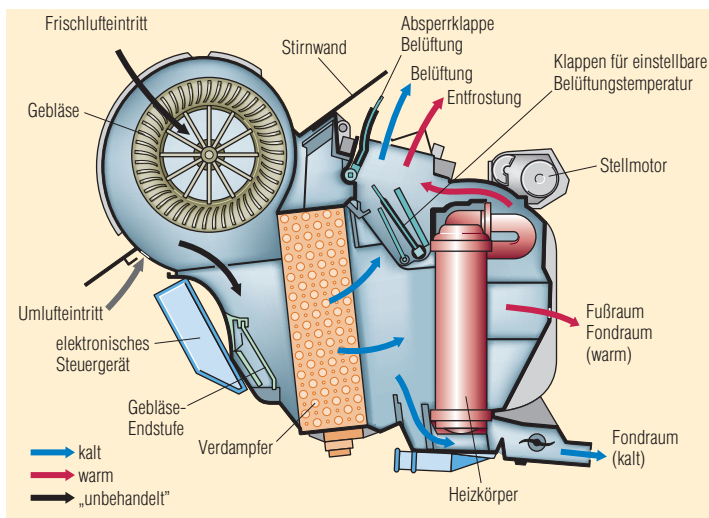


Bild 36.12 Heizungs-Klima-Aggregat



Der in Bild 36.11 dargestellte Funktionsplan zeigt schematisch die Luftverteilung einer wasserseitig geregelten Heizungs- und Klimaanlage, bei der die Temperatur für Fahrer- und Beifahrerseite getrennt eingestellt werden kann. Bild 36.12 zeigt die dazugehörige Schnittzeichnung.

Bei vielen Heizungs- und Klimaaggregaten ist ein Innenraum-/Mikrofilter oder Aktivkohlefilter vorgeschaltet, durch den Staub, Pollen usw. und/oder Schadgase abgeschieden werden können. Manche dieser Systeme besitzen eine sensorgesteuerte, automatische Umluftfunktion.

36.3.3 Werkstattpraxis

- Das früher verwendete Kältemittel R 12 enthält Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die seit 1995 verboten sind. Sollen „alte“ Klimaanlage mit R 134a befüllt werden, müssen andere Leitungen, Dichtungen usw. nach Herstellervorschriften eingebaut werden. Auch das Kälteöl ist dann zu wechseln.
- Kältemittel darf nicht ins Freie entweichen, deshalb immer mit den passenden Servicegeräten zum Evakuieren und Befüllen arbeiten.
- Ersatzteile von Klimaanlage trocken und verschlossen lagern sowie bei Arbeiten an der Klimaanlage Öffnungen immer sofort verschließen (Kältemittel ist hygroskopisch).
- Allgemeine Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit Kältemitteln beachten:
 - Schutzbrille und Handschuhe tragen,
 - Rauchverbot beachten und
 - nicht über Gruben arbeiten.
- Die vorgeschalteten Filter von Heizungs- und Klimaaggregaten müssen nach Herstellervorschrift in bestimmten Intervallen gewechselt werden, bei hohem Staubanfall, Schadstoffkonzentrationen usw. auch öfter. Sicheres Zeichen für einen verunreinigten, zugesetzten Filter ist eine deutliche Abnahme der Gebläseleistung.

36.4 Fahrgeschwindigkeitsregelung

36.4.1 Konventionelle Fahrgeschwindigkeitsregelung

Die Fahrgeschwindigkeitsregelung (Tempomat) hält automatisch eine gewählte Geschwindigkeit ohne Eingriffe des Fahrers. Ein Steuergerät vergleicht dazu stets die eingestellte (Wunsch-)Geschwindigkeit (Soll) mit der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit (Ist). Bei Abweichungen wird die Ist-Geschwindigkeit über Stell-elemente entsprechend nachgeregelt.

Die Geschwindigkeit kann über einen Lenkstockhebel/Bedienschalter oder über Tasten in einem Multifunktionslenkrad gewählt und eingestellt werden. Die Bedienmöglichkeiten sind:

- übernehmen/setzen der aktuellen Geschwindigkeit,
- beschleunigen/verzögern der aktuellen Geschwindigkeit,
- erhöhen/verringern der Wunschgeschwindigkeit,
- wiederaufrufen/aktivieren einer eingestellten Geschwindigkeit und
- abschalten der Fahrgeschwindigkeitsregelung.

Die Fahrgeschwindigkeitsregelung kann ein eigenständiges System sein oder sie ist in anderen Steuergeräten oder Systemen untergebracht. Bei aktuellen Fahrzeugen mit Dieselmotor ist die Funktion der Fahrgeschwindigkeitsregelung immer in der elektronischen Motorsteuerung integriert. Die Fahrgeschwindigkeit wird dabei über die Einspritzmenge geregelt.

Bei Fahrzeugen mit Ottomotor, die über eine elektronische Drosselklappenbetätigung (E-Gas) verfügen, ist die Fahrgeschwindigkeitsregelung ebenfalls in der elektronischen Motorsteuerung integriert. Die Fahrgeschwindigkeit wird dabei über die elektronische Drosselklappenbetätigung geregelt.

Bei allen anderen Fahrzeugen benötigt die Fahrgeschwindigkeitsregelung ein eigenes Stellelement. Dieses betätigt die Drosselklappe über einen Elektromotor und Seilzug bzw. Gestänge oder – selten – pneumatisch.

Bild 36.13 zeigt den Aufbau eines Drosselklappenstellelements mit Elektromotor. Dieser wird direkt vom Steuergerät mit Strom versorgt und damit die Stellung des Betätigungsarmes entsprechend geregelt. Die Position des Stellmotors wird durch ein Potenziometer erfasst und zurückgemeldet.

Die elektromagnetische Sicherheitskupplung im Stellmotor wird nur bei aktiver Fahrgeschwindigkeitsregelung vom Steuergerät mit Strom versorgt. Bei Fehlfunktionen, aber auch beim Ausschalten der Fahrgeschwindigkeitsregelung, wird damit die Drosselklappe vom Stellmotor entkoppelt – schneller, als der Stellmotor zurückgefahren werden könnte. Die Fahrgeschwindigkeitsregelung wird auch bei Betätigung der Bremse, der Kupplung und des Wählhebels ausgeschaltet.

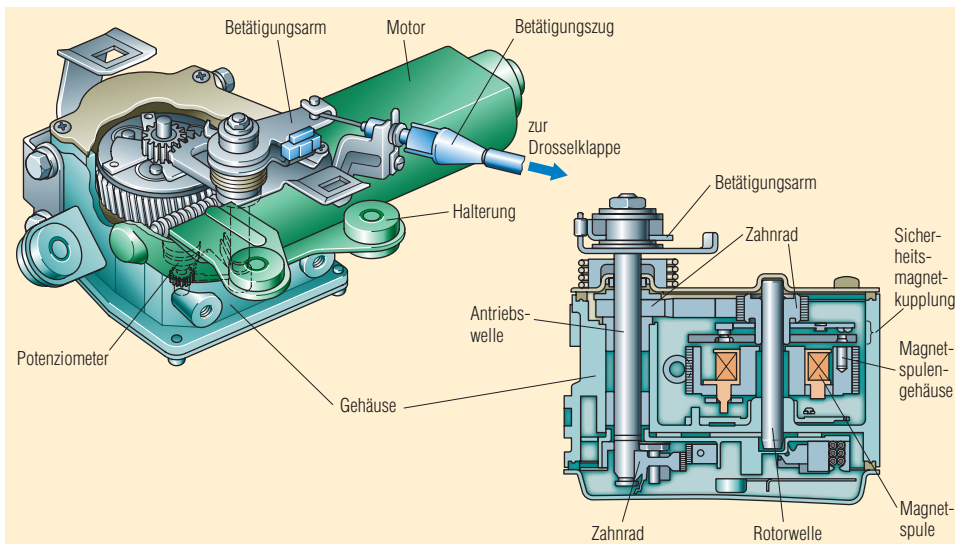


Bild 36.13 Drosselklappenstellelement.

36.4.2 Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung

ACC = Adaptive
Cruise Control

detection (engl.) =
Entdeckung,
Aufdeckung

E-Gas → S. 233

Die adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ist die Erweiterung der konventionellen Fahrgeschwindigkeitsregelung um eine Abstandsregelung. Durch einen Radarsensor (ACC-Sensor, Bild 36.14), in dem sich auch die Regelelektronik befindet, werden Sichtweite und Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug erfasst und – wenn nötig – die gefahrene Geschwindigkeit und der notwendige Abstand angepasst.

Befindet sich im so genannten Detektionsbereich des Radarsensors kein vorausfahrendes Fahrzeug, wird die gewählte Geschwindigkeit gehalten (Bild 36.15a). Durch die adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung kann das Fahrzeug bei Bedarf selbsttätig beschleunigt oder verzögert werden. (Bild 36.15 b und c).

Dies ist nur im Zusammenspiel mehrerer Systeme möglich. Die adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ist dazu mit der Motorsteuerung (mit E-Gas), dem Fahrdynamik- und Getriebesteuergerät vernetzt.

Die Bedienung erfolgt über einen Lenkstockhebel oder die Tasten eines Multifunktionslenkrades. Zusätzlich kann der gewünschte Abstand über ein Rändelrad oder Tasten eingestellt wer-

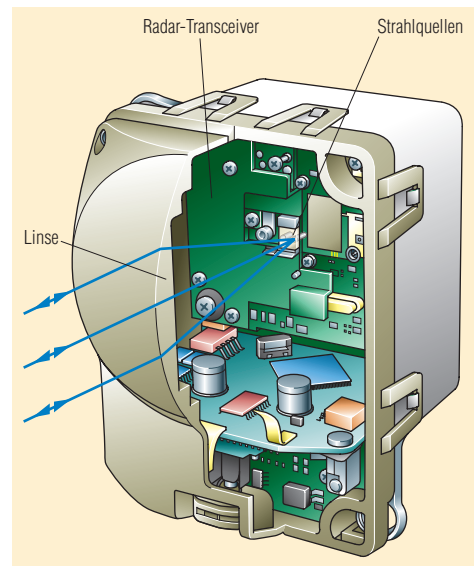


Bild 36.14 ACC-Sensor.

den. Er liegt immer über dem gesetzlich vorgeschriebenen Mindestabstand.

Die adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung besitzt wegen der sehr hohen Anforderungen an die Systemsicherheit eine ausgereifte Überwachungselektronik. Auftretende Fehler werden

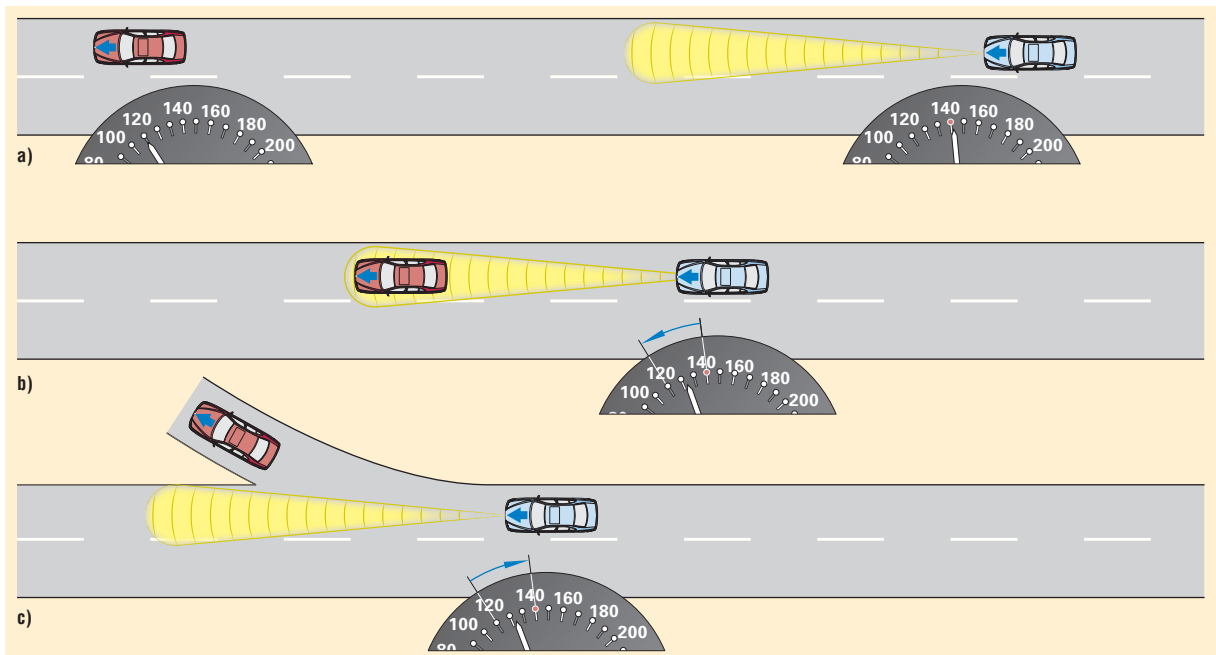


Bild 36.15 a) Es befindet sich kein Fahrzeug im Detektionsbereich. Die gewählte Geschwindigkeit wird gehalten.
b) Ein vorausfahrendes, langsames Fahrzeug wird erkannt. Die Geschwindigkeit wird verringert und angepasst.
c) Das vorausfahrende Fahrzeug verlässt die Fahrspur oder beschleunigt. Es wird wieder bis zur gewählten Geschwindigkeit beschleunigt und anschließend gehalten.

immer erkannt und im Fehlerspeicher abgelegt. Je nach Bedeutung für die Funktions- und Verkehrssicherheit wird die adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung entweder sofort abgeschaltet, nach einer Bremsung abgeschaltet oder uneingeschränkt fortgeführt.

Eine Besonderheit der adaptiven Fahrgeschwindigkeitsregelung ist, dass nach Zündung aus/ein die Funktion wieder uneingeschränkt verfügbar ist, wenn der erkannte Fehler momentan nicht vorhanden ist. Lediglich bei einem verstellten Radarsensor muss nach der Einstellung die Funktion durch einen Diagnosecomputer erst wieder freigeschaltet werden.

Werkstattpraxis

Die richtige Einstellung des Radarsensors ist eine fundamentale Voraussetzung für die korrekte Funktion des Systems. Die Einstellung muss vorgenommen werden nach einem Tausch des Sensors/Steuergerätes, bei Veränderungen der Einstellung oder Tausch von Komponenten am Fahrwerk und natürlich nach einem Unfall. Die Einstellung des ACC-Sensors erfolgt ähnlich der Scheinwerfereinstellung durch zwei Stellschrauben und wird horizontal parallel zur Fahrachse und vertikal mit einer Neigung von einem Grad justiert.

36.5 Fahrerinformationssysteme

Zu den Fahrerinformationssystemen gehören, neben den bekannten Anzeigen (Tachometer, Drehzahlmesser, Tankanzeige usw.) und den Kontrolllampen (Öldruck, Generator, Fernlicht, Airbag usw.) im Kombiinstrument, auch verschiedene weiter gehende Kontrollfunktionsanzeigen (Überwachung von Glühlampen, Flüssigkeitsständen, Türen/Klappen offen usw.) und Bordcomputer (Außentemperatur, Verbrauch usw.). Aber hauptsächlich bezeichnet man alle Elemente der Audio-, Informations- und Kommunikationselektronik (Radio, Telefon, Navigationssystem usw.) als Fahrerinformationssysteme (Bild 36.16).



Bild 36.16 Überblick Fahrerinformationssysteme.

36.5.1 Navigationssystem

Das Navigationssystem berechnet den richtigen Weg zu einem vom Fahrer eingegebenen Ziel. Es führt diesen durch entsprechende Fahrtrichtungsempfehlungen, die bei den verschiedenen Systemen durch Pfeildarstellungen, Sprachausgabe und mit einer zusätzlichen Routenkarte erfolgen (Bild 36.17).



Bild 36.17 Navigationssystem mit Routenkarte.

Telematik: Kunstwort aus Telekommunikation und Informatik.

Global Positioning System (GPS). Die Fahrtroute kann nur berechnet werden, wenn die eigene Position bekannt ist. Dies geschieht mithilfe des Global Positioning System (GPS). Dabei handelt es sich um 24 Satelliten, die in 20 200 km Höhe die Erde in sechs Bahnebenen umkreisen und in gleichen Zeitabständen Identifikations-, Positions- und Zeitsignale senden (Bild 36.18).

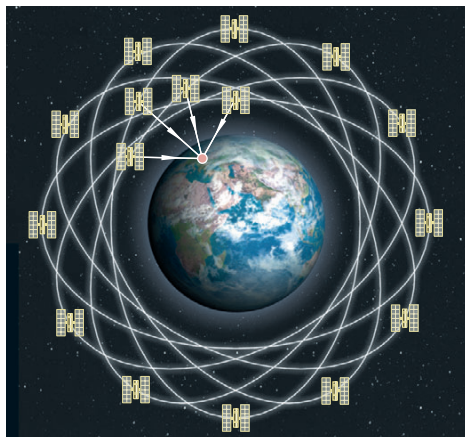


Bild 36.18 Umlaufbahnen der GPS-Satelliten.

Da immer mehrere Satelliten gleichzeitig über die GPS-Antenne empfangen werden, kann daraus die Position auf ca. 10 Meter genau berechnet werden.

Mit den Daten der Eigenposition und dem eingegebenen Ziel wird vom Navigationsrechner die Fahrtroute berechnet. Dabei bedient sich der Rechner einer DVD oder CD-ROM, auf der die digitalisierten Straßenkarten mit vielen zusätzlichen Informationen abgespeichert sind. Weitere Eingangssignale sind das Geschwindigkeits-/Wegstreckensignal und für Richtungsänderungen das Signal eines Drehratensensors (Gyrometer, bzw. G-Sensor), der im Navigationsrechner integriert ist. Für die Zielführung und Fahrtrichtungsempfehlungen werden die Eingangssignale ständig mit den gespeicherten Daten des digitalen Straßenplanes abgeglichen (so genanntes Map-Matching) und kleine Abweichungen der aktuellen Position korrigiert.

36.5.2 Telematik

Unter (Verkehrs-)Telematik versteht man die Übertragung von Verkehrsinformationen vom und zum Fahrzeug und deren automatische Auswertung. Voraussetzung dafür ist im Fahrzeug die Vernetzung der Audio-, Informations- und Kommunikationselektronik über ein Bussystem und die entsprechende Programmierung der Systeme.

Übertragen werden können zum Fahrzeug Stau-meldungen, Baustellen, Straßensperrungen usw. entweder über Rundfunk (UKW) durch RDS/TMC (Radio-Data-System/Traffic-Message-Channel) oder über das Telefon durch Service-Provider, die meist kostenpflichtig sind. Das Navigationssystem berechnet unter Berücksichtigung der Meldungen eine neue Fahrtroute, worüber der Fahrer informiert wird. Dies wird auch als dynamische Zielführung bezeichnet. Verschiedene Systeme können auch die Meldungen selektieren, die für den eigenen Standort und die weitere Fahrtroute wichtig sind.

Vom Fahrzeug können bei Pannen oder Unfällen Positionsdaten des eigenen Standorts über das Telefon zu einer Notrufzentrale oder einem Service-Provider übertragen werden. Dies kann aktiv durch den Fahrer ausgelöst werden oder auch automatisch bei einem Unfall, wenn z. B. mindestens ein Airbag aktiviert wurde.

Die Anwendungen der Telematik sind erst am Anfang. Es werden noch zahlreiche Neuheiten (Internet usw.) erwartet.

Werkstattpraxis

Wenn der Navigationsrechner oder Teile des Systems gewechselt wurden, aber auch wenn andere Reifen-/Rädergrößen montiert werden, kann eine Kalibrierung des Systems notwendig sein. Diese ist dann exakt nach Herstellerangaben auszuführen.

36.6 Elektronische Abstandsmessung als Ein- und Ausparkhilfe

Durch die Einparkhilfen wird das Ein- und Ausparken erleichtert und Fahrzeugschäden können vermieden werden. Der Abstand zu Hindernissen und anderen Fahrzeugen wird nach dem Echolot-Prinzip gemessen und der Fahrer entsprechend gewarnt. Dafür befinden sich mehrere Ultraschallwandler in oder in der Nähe der Stoßstangen. Kernelement eines Ultraschallwandlers (Bild 36.19) ist eine Piezokeramik, die durch ein kurzes Impulspaket zu Schwingungen angeregt wird. Über die Membrane werden diese Schwingungen als Ultraschallsignale ausgesandt.

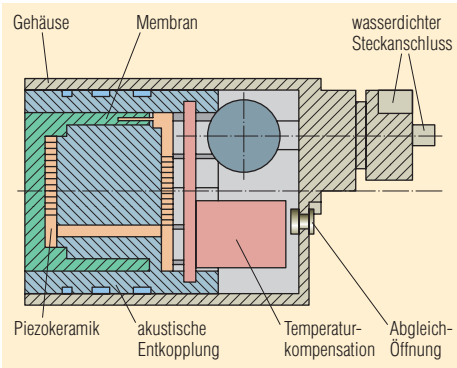


Bild 36.19 Innerer Aufbau eines Ultraschallwandlers.

Nach dem Abklingen der (Sende-)Schwingungen ist der Ultraschallwandler wieder empfängsbereit für die zurückkehrenden (Echo-)Wellen. Diese regen nun ihrerseits über die Membrane die Piezokeramik zu Schwingungen an. Dadurch werden wieder Stromimpulse erzeugt. Das Steuergerät wertet die Echolaufzeit aus und berechnet daraus die Entfernung zum Hindernis. Bild 36.20 zeigt das Ansteuerungs- und Auswertungsprinzip grafisch. Die Ausschwingzeit und Ausschwingimpulse werden vom Steuergerät zusätzlich für die Funktionskontrolle der Ultraschallwandler verwendet.

Bei den meisten Systemen befinden sich vier Ultraschallwandler am Fahrzeugheck. Es gibt auch elektronische Einparkhilfen mit bis zu sechs Ultraschallwandlern für hinten und sechs für vorne.

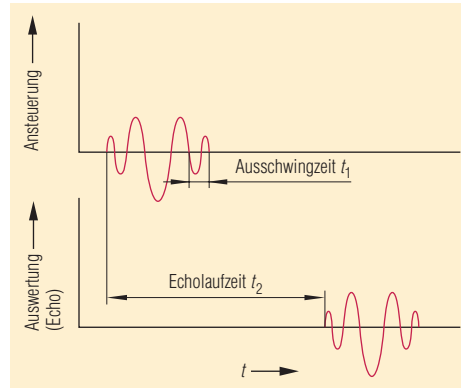


Bild 36.20 Ultraschallwandler: Ansteuerungs- und Auswertungsprinzip.

Die Abstandswarnung erfolgt immer akustisch durch sich verringernde Tonpausen zwischen den Warntönen. Ab ca. 20 bis 30 cm Abstand wird ein Dauerton ausgegeben. Bei manchen Systemen wird die Abstandswarnung zusätzlich optisch durch LEDs bzw. auf einem Bildschirm angezeigt (Bild 36.21).

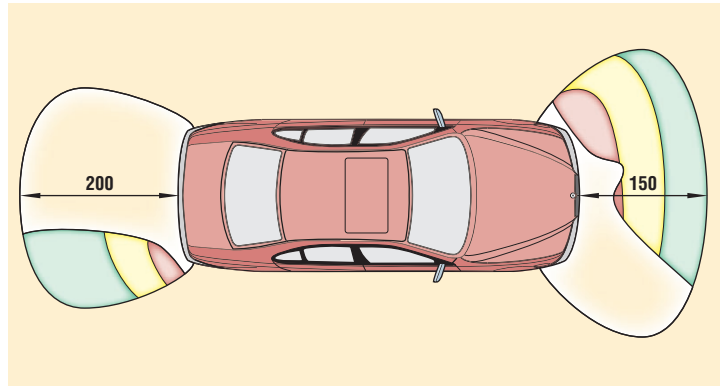


Bild 36.21 Optische Abstandswarnung.

Eingeschaltet wird die elektronische Abstandsmessung immer durch das Einlegen des Rückwärtsganges. Ausgeschaltet wird sie beim Überschreiten einer bestimmten Geschwindigkeit oder bei Zündung aus. Einige Systeme besitzen zusätzlich einen Taster/Schalter zum Ein-/Aus-schalten.

Werkstatthinweis

Funktionsstörungen können neben anderen Ursachen auch durch starke Verschmutzungen, Eis oder Schnee auf der Membrane eines Ultraschallwandlers hervorgerufen werden.

Arbeitsaufträge

1. Skizzieren Sie den Kältemittelkreislauf einer Klimaanlage und erklären Sie deren Funktionsweise.
2. Wozu benötigt man beim Klimaanlage-kreislauf einen Nieder- / Hochdruckschalter?
3. Welche Ein- und Ausgangssignale sind bei der Heiz- und Klimaregelung wichtig?
4. Warum befindet sich im Sommer unter einem stehendem Fahrzeug mit laufender Klimaanlage eine Wasserpfütze?
5. Welche Eingangssignale benötigt ein Navigationssystem?
6. Was bezeichnet man als Telematik?
7. Welche Erweiterungen / Anwendungen der Telematik können Sie sich zukünftig vorstellen?

37 Sicherheitselektronik

37.1 Wegfahrsperre

37.1.1 Einführung des qualifizierten Diebstahlschutzes

Veranlasst durch den enormen Anstieg von Fahrzeugdiebstählen zwangen die Versicherungen die Fahrzeughersteller zur Einführung eines „qualifizierten Diebstahlschutzes“. Darunter ist eine „selbstschärfende, elektronisch codierte

Wegfahrsicherung mit Eingriff in eine betriebsrelevante Steuereinheit“ (Versicherungsbedingungen) zu verstehen (Bild 37.1). Seit 1.1.1995 ist diese für Kraftfahrzeuge in der Erstausrüstung vorgeschrieben.

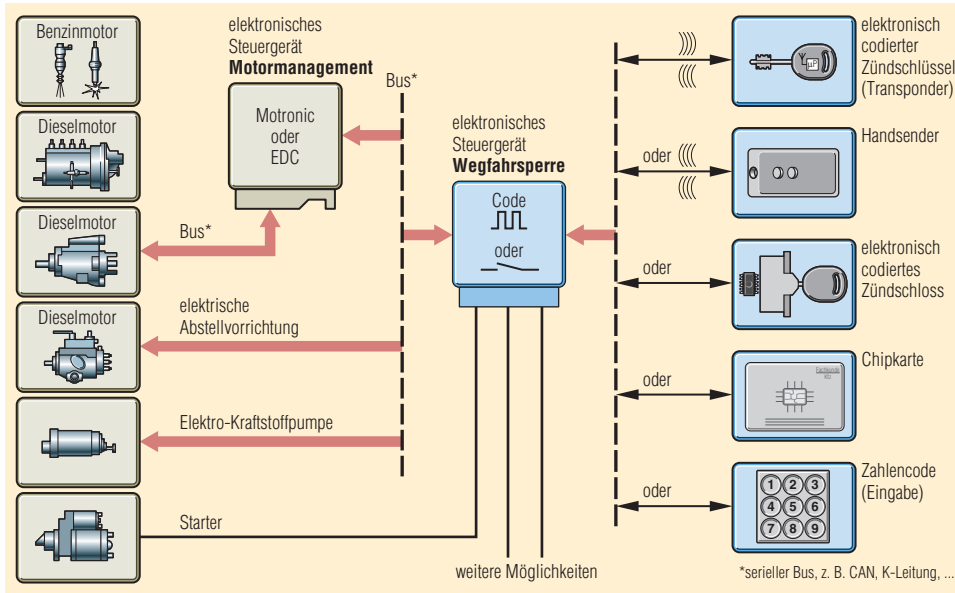


Bild 37.1 Systemübersicht der verschiedenen Wegfahrsperren.

Durchgesetzt hat sich überwiegend die Lösung mit dem Transponder im Fahrzeugschlüssel. Aber auch die anderen Möglichkeiten werden in der Serienausstattung einiger Fahrzeugtypen angewendet. Die anfangs für eine Nachrüstung angebotenen Systeme, bei denen betriebsrelevante Stromkreise durch Relais unterbrochen wurden, sind heute nur noch vereinzelt in älteren Fahrzeugen zu finden.

Zusätzliche mechanische Maßnahmen (verstärkte Schließzylinder, Abschirmbleche usw.) sowie hohe Sicherheitsauflagen und eine genaue Dokumentation bei Bestellung und Lieferung von Bauteilen der Wegfahrsperre haben ebenso zu einer Abnahme der Fahrzeugdiebstähle beigetragen.

37.1.2 Wegfahrsperre mit Transponder

Bei dem im Zündschlüssel integrierten Transponder handelt es sich um einen Mikrochip, der mit einem Festcode programmiert ist und einen freien Speicherplatz (EEPROM) für einen Wechselcode hat.

Weitere Bestandteile des Systems sind eine Ringantenne (Lesespule) am Zündanlassschloss, über die die Daten vom Transponder gelesen werden. Gleichzeitig wird dabei der Transponder induktiv mit Energie versorgt. Das Steuergerät der Wegfahrsperre wertet die Informationen aus und gibt das entsprechende Motorsteuergerät bei gültigem Code frei (Bild 37.2, S. 556).

Transponder:
Kunstwort aus **transmittere** = lat. senden und **responder** = engl. Antwortgeber.

Konkret läuft der Datenaustausch nach Einstecken des Schlüssels und Einschalten der Zündung folgendermaßen ab: Der Transponder schickt an das Steuergerät den Festcode. Wird dieser als richtig erkannt, bildet das Steuergerät per Zufallsgenerator einen Wechselcode, der zum Transponder geschickt wird und dort einen geheimen Rechenvorgang auslöst. Ist das vom Transponder daraufhin ermittelte Ergebnis gleich mit dem im Steuergerät ermittelten Ergebnis, wird der Fahrzeugschlüssel als berechtigt anerkannt. Im Anschluss daran tauschen das Steuergerät der Wegfahrsperrung und das Motorsteuergerät ebenfalls einen Wechselcode aus und das Fahrzeug kann bei Übereinstimmung gestartet werden. Die verschiedenen Datenübertragungen dauern nur einige Millisekunden, sodass der Fahrzeugnutzer keine Startverzögerung bemerkt. Da für den Wechselcode 10^{23} Kombinationen möglich sind und auch der Rechenvorgang geheim ist, ist ein Kopieren des Fahrzeugschlüssels bzw. Manipulationen durch Scannen praktisch nicht möglich.

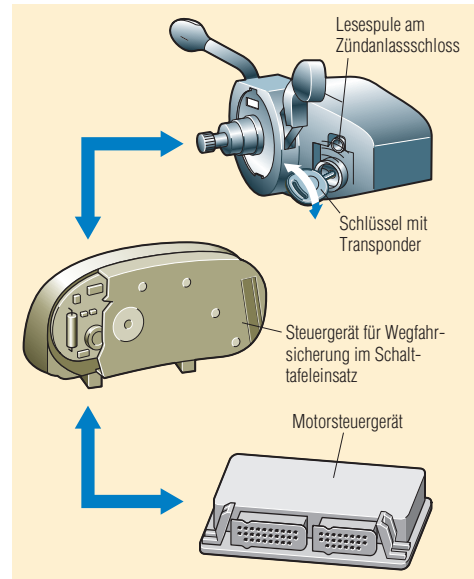


Bild 37.2 Systemzusammenhang einer Wegfahrsperrung.

37.2 Zentralverriegelung

Durch die Zentralverriegelung können gleichzeitig alle Fahrzeugtüren, die Heckklappe/Kofferraum und die Tankklappe von nur einer Bedienstelle aus entriegelt, verriegelt und gesichert werden. Die Betätigung der Zentralverriegelung kann über das Schließsystem der Fahrertür, aber je nach Fahrzeugtyp auch über das der Beifahrertür, der Heckklappe, durch einen Schalter im Fahrgastraum oder über eine Fernbedienung erfolgen. Die Stellelemente der Zentralverriegelung werden elektro-pneumatisch oder direkt durch Elektromotoren betätigt.

Die Zentralverriegelung kann auch mit anderen Systemen der Karosserie-/Komfortelektronik zusammengefasst sein und Zusatzfunktionen ermöglichen, z. B.:

- Komfortöffnen, -schließen der Fenster und des Schiebedachs,
- die Funktion der Innenlichtsteuerung oder
- der Diebstahlwarnanlage.

37.2.1 Elektropneumatische Zentralverriegelung

Durch Mikroschalter (Wechsler) in den Schlössern bzw. einem Schalter im Fahrgastraum oder über ein Signal der Fernbedienung erhält die Steuereinheit die Impulse zum Entriegeln/Verriegeln. Dadurch läuft eine Bidruckpumpe an, die einen Unter- bzw. Überdruck erzeugt, der über Druckluftleitungen auf die Stellelemente wirkt (Bild 37.3).

Die **Bidruckpumpe** ist eine doppelt wirkende Flügelzellenpumpe, bei der durch Umpolung im

Steuergerät die Saug- zur Druckseite werden kann und umgekehrt. Der so erzeugte Unter-/Überdruck wirkt auf die Membrane in der Unter-/Überdruckkammer des Stellelementes, wodurch die Zug- und Druckstange betätigt wird. Diese überträgt ihrerseits über ein Gestänge die Kraft auf das jeweilige Schloss. Ein in der Steuereinheit integrierter Druckschalter schaltet die Bidruckpumpe bei Erreichen eines Über-/Unterdruckes von ca. 0,5 bar ab.

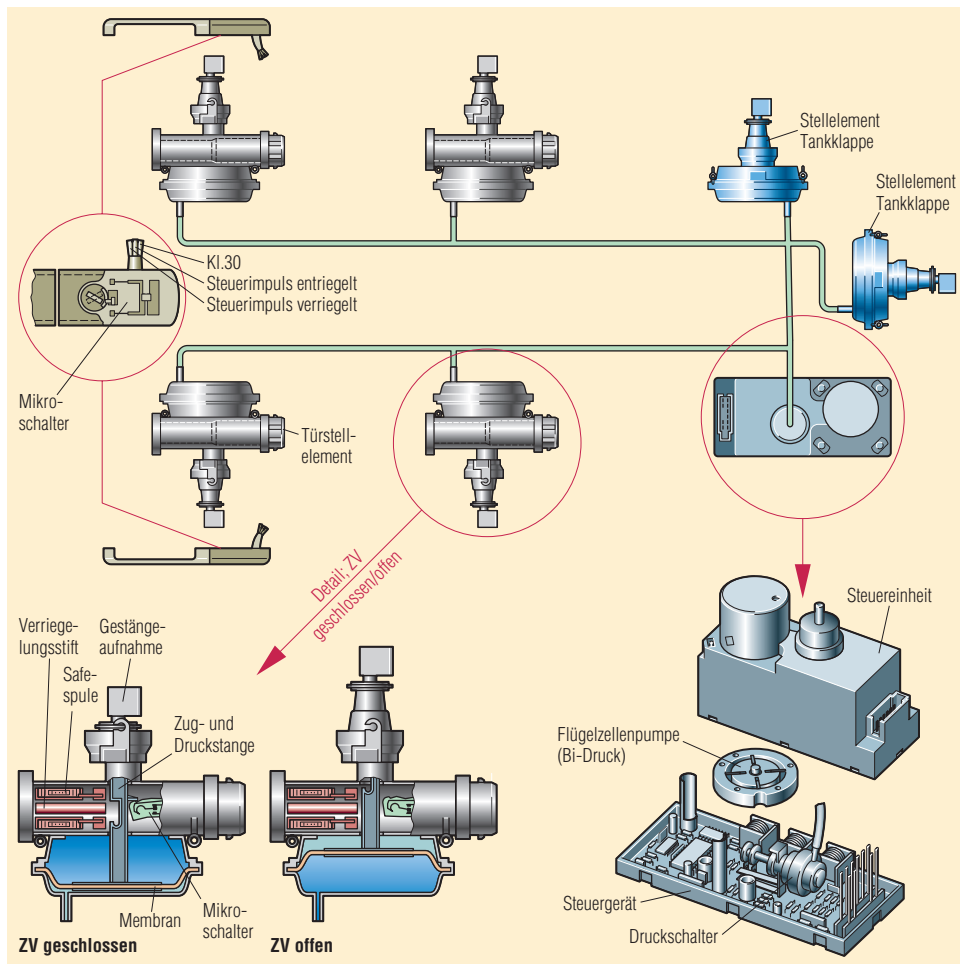


Bild 37.3 Zentralverriegelung mit pneumatischen Stellelementen.

Safespule. Da bei dieser Zentralverriegelung ein unbefugtes Öffnen einer Tür über die Sicherungsknöpfe ursprünglich relativ leicht möglich war, wurde sie durch elektromechanisch wirkende Spulen (Safespule) mit einem Verriegelungsstift ergänzt.

Bei einem Diebstahlversuch wird über den Mikroschalter im Stellelement ein Plusignal zur Steuereinheit geschaltet. Dadurch werden die Safespulen mit Strom versorgt und das entstehende Magnetfeld schiebt die Verriegelungsstifte in die Aussparung der Zug- und Druckstangen (= mechanisch blockiert). Gleichzeitig läuft auch die Bidruckpumpe an und wirkt der unbefugten Öffnung entgegen.

37.2.2 Elektrische Zentralverriegelung

Bei der elektrischen Zentralverriegelung werden die verschiedenen Stellelemente direkt durch kleine Gleichstrom-Elektromotoren mit Untersetzungsgetriebe betätigt (Bild 37.4). Die zeitgeschaltete Stromversorgung erfolgt direkt durch das Steuergerät. Abhängig von der Stromflussrichtung drehen sich die Elektromotoren links-

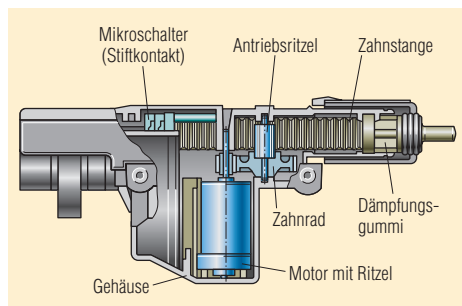


Bild 37.4 Stellelement mit Elektromotor.

bzw. rechtsläufig und entriegeln oder verriegeln das jeweilige Schloss. Die Zentralverriegelungsfunktion wird durch eine Fernbedienung oder entsprechende Mikroschalter ausgelöst. Diese können in der Schlossmechanik oder in den Stellmotoren integriert sein.

Für die Sicherungsfunktion nach dem Verriegeln, d. h. das Schloss kann mechanisch ohne Schlüssel auch mit großer Gewalt nicht geöffnet werden, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Entweder ein zweiter Elektromotor ist in den Stellantrieben der Türen verbaut (Bild 37.5) oder der Elektromotor kann drei Stellungen ansteuern (entriegelt, verriegelt, gesichert) und in der gesicherten Stellung in eine mechanische Sperre fahren. Zusätzliche Varianten sind eine mechanische Schlossentkoppelung oder eine mechanische Sperre des Schlosses im gesicherten Zustand. Bei allen Varianten ist sichergestellt, dass eine mechanische Notentriegelung bei einem Batterieausfall zumindest über das Schloss der Fahrertür mit dem Fahrzeugschlüssel möglich ist.

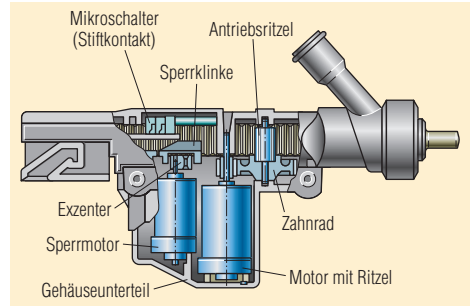


Bild 37.5 Stellantrieb mit Sperrmotor.

Bild 37.6 zeigt den Systemaufbau einer aktuellen Zentralverriegelung, die in einem Grundmodul integriert ist. Die Sicherungsfunktion wird durch einen zweiten Motor im Stellelement realisiert. Anstelle von Mikroschaltern werden Hallensoren verwendet, die keinem mechanischen Verschleiß unterliegen und eine bessere Langzeitfunktion gewährleisten.

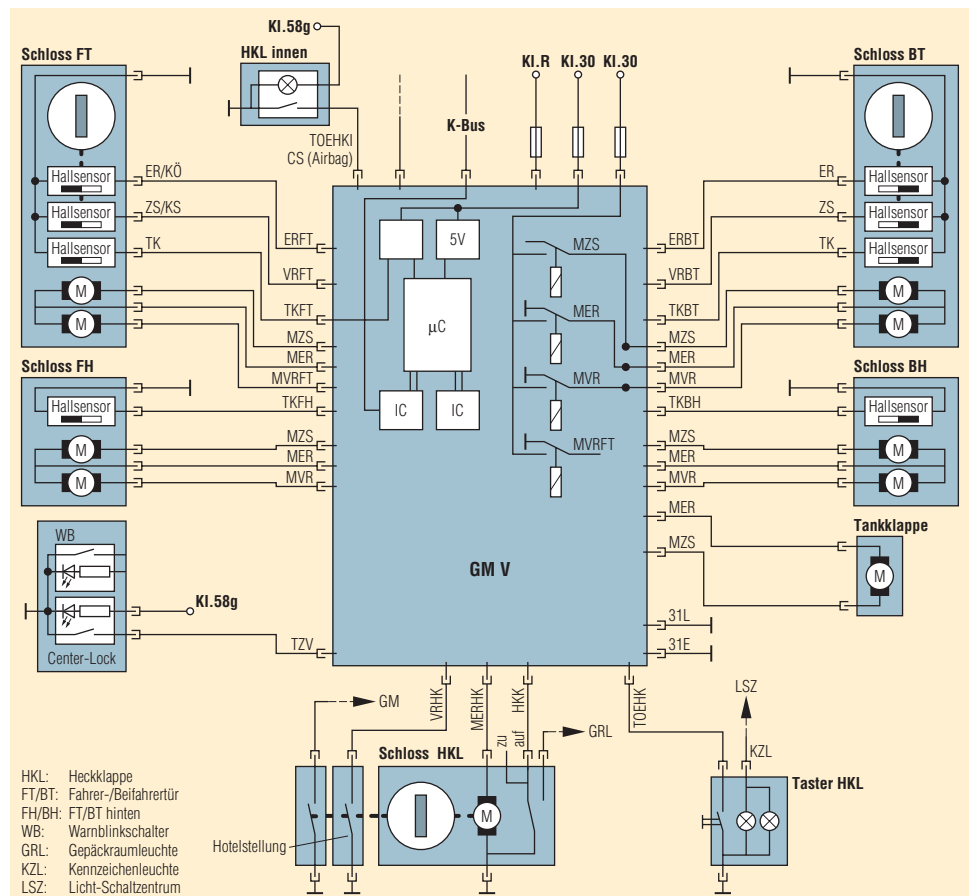


Bild 37.6 Schaltbild Zentralverriegelung.

In dem Grundmodul sind neben der Zentralverriegelung auch die Innenlichtsteuerung, die Diebstahlwarnanlage, die Fernbedienung, die Fensterhebersteuerung, die Scheibenwischerfunktionen (inkl. Regensensor und Scheinwerferreinigung) und eine Verbraucherabschaltung zusammengefasst. Über ein Bussystem ist es mit anderen Systemen vernetzt.

37.2.3 Fernbedienungssystem

Die verschiedenen Zentralverriegelungssysteme sind häufig mit einer Fernbedienung ausgestattet. Man unterscheidet entsprechend der verwendeten Signalwellen die Infrarot-Fernbedienung und die Funk-Fernbedienung.

Infrarot-Fernbedienung. Dabei werden über einen Sender, der im Fahrzeugschlüssel integriert sein kann, Infrarotwellensignale an einen Empfänger gesendet, der seinerseits mit einem Steuergerät verbunden ist und entsprechende Signale zum Entriegeln/Verriegeln/Sichern an die Zentralverriegelung gibt. Die Reichweite der Infrarot-Fernbedienung beträgt ca. 6 Meter. Sie muss beim Senden auf den Empfänger ausgerichtet werden.

Funk-Fernbedienung. Dieses Ausrichten auf den Empfänger ist bei der Funk-Fernbedienung nicht nötig, da Funkwellen eine größere Reichweite haben, unempfindlicher auf die Ausrichtung des Senders reagieren und über eine Antenne empfangen werden. Bild 37.7 zeigt den Systemaufbau einer Funkfernbedienung, bei der in der Heckscheibe integrierte Radioantenne als Empfänger dient.

Bei der Funkfernbedienung können die Signale wie bei der Wegfahrsperre durch verschiedene Codes verschlüsselt werden, wodurch ein unbefugtes Abhören und Kopieren der Signale nicht möglich ist.

Der Sender der Fernbedienung muss mit Strom versorgt werden; dies geschieht häufig durch kleine im Sender installierte Knopfzellenbatterien. Mittlerweile gibt es im Fahrzeugschlüssel integrierte wiederaufladbare Akkus, die induktiv über die Ringantenne der Wegfahrsperre am Zündschloss geladen werden.

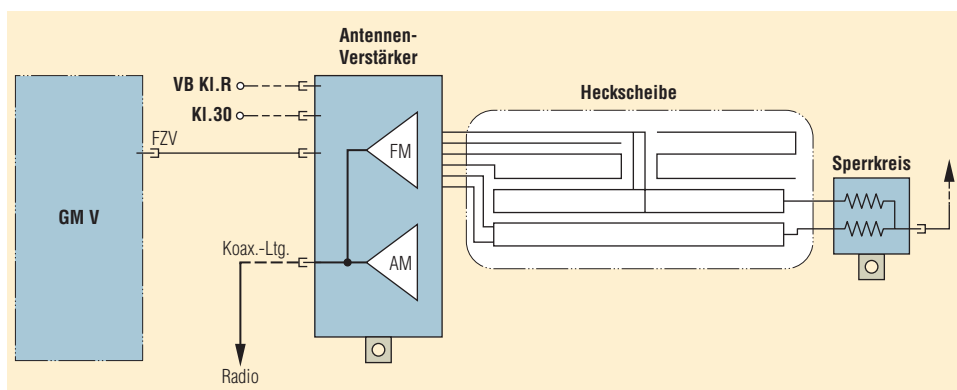


Bild 37.7 Funk-Fernbedienungsempfang über die Heckscheibe.

37.2.4 Komfortzugang

keyless go, keyless entry (engl.) =
schlüsselloser
Zugang/Eintritt

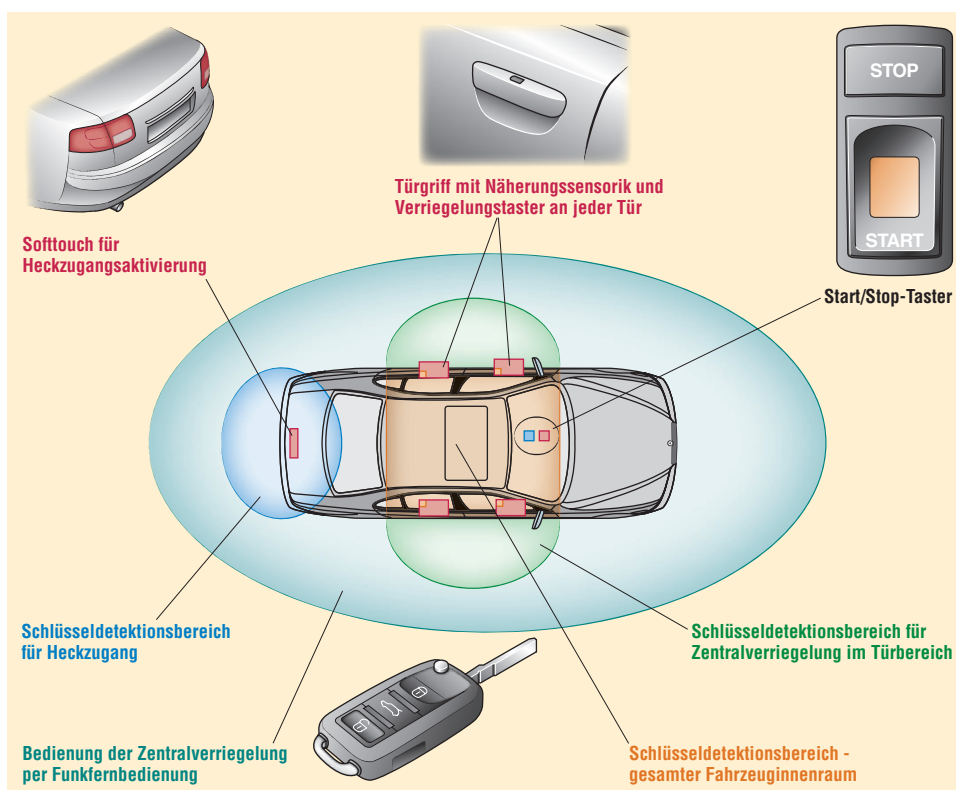
advanced key
(engl.) = fort-
schrittlicher,
weiterentwickelter
Schlüssel

Der Komfortzugang ermöglicht den Fahrzeugzugang (Entriegeln/Verriegeln) und das Starten des Motors ohne die direkte Betätigung des Fahrzeugschlüssels oder einer Fernbedienung. Es handelt sich um eine Erweiterung der Zentralverriegelung und Wegfahrsicherung. Der Komfortzugang wird häufig auch als keyless go, keyless entry oder advanced key bezeichnet.

Die Berechtigung des Nutzers wird durch induktive Codeabfragen über verschiedene Antennen erkannt (Bild 37.8). Dazu muss der Nutzer den Fahrzeugschlüssel oder eine spezielle Chipkarte

bei sich tragen. Neben der Berechtigung erkennt das System über die verschiedenen Antennen auch die Position des Nutzers (am/im Fahrzeug), wodurch bestimmte Funktionen freigegeben werden.

In allen Türäußengriffen befindet sich neben der Antenne auch ein kapazitiver Sensor. Dieser ändert seine Kapazität, sobald sich eine Hand dem Türgriff nähert bzw. berührt. Dadurch werden die induktiven Codeabfragen gestartet. Ein Verriegelungstaster ist ebenfalls Bestandteil jedes Türgriffes.



Detektionsbereich
→ S. 550

Bild 37.8 Systemübersicht des Komfortzugangs mit Detektionsbereichen der Antennen.

Ein Neigungsgeber bzw. Lagesensor stellt einen Rad- und Abschleppschutz dar. Die Ausgangslage und Abweichungen bei Lageveränderungen von festgelegten Sollwerten werden durch einen integrierten Mikroprozessor ausgewertet und dem DWA-Steuergerät gemeldet. Die Funktion des Neigungsgebers kann auch ausgeschaltet werden, z.B. für Duplexgaragen, Autoreisezüge usw.

Bei der Innenraumüberwachung unterscheidet man einen Infrarot-, Ultraschall- oder Funkinnenraumschutz. Die von einem Sender ausgehenden Wellen (Infrarot, Ultraschall oder Funk) werden vom Innenraum reflektiert und von einem Empfänger ausgewertet (Bild 37.10). Dadurch werden Bewegungen im Innenraum oder das Einschlagen von Scheiben erkannt und über die DWA Alarm ausgelöst. Die Innenraumüberwachung kann ebenfalls – meist zusammen mit dem Neigungsgeber – ausgeschaltet werden, wenn z. B. Tiere im Fahrzeug bleiben.

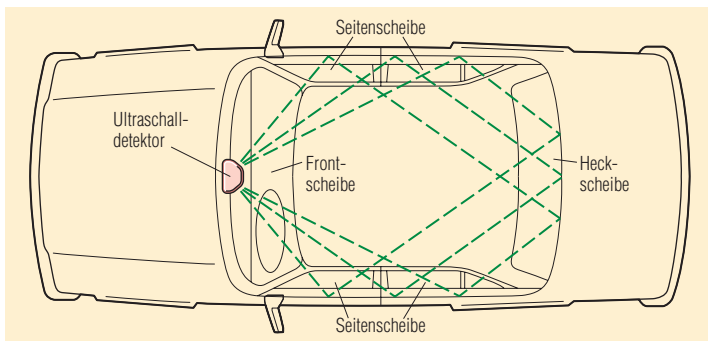


Bild 37.10 Ultraschallfeld im Fahrzeuginnenraum.

Ein gewisser Innenraumschutz kann auch über Glasbruchsensoren erreicht werden. Dabei befinden sich in den Seitenscheiben Leiterschleifen. Bei der Heckscheibe bedient man sich der Drähte der heizbaren Heckscheibe. Unterbrechungen der Leiterschleifen bzw. Heizdrähte durch Einschlagen der Scheiben führen zu einer Alarmauslösung.

Die Überwachungsfunktion der DWA kann auch eine Reifendruckkontrolle beinhalten. Sensoren in den Rädern melden über Funkwellen den Reifendruck. Dadurch kann ein plötzlicher Druckverlust durch Luftablassen oder Reifenstechen erkannt werden und zu einer Alarmauslösung führen.

37.4 Werkstattpraxis

Wegfahrsperre. Einen herstellerspezifischen Diagnosetester benötigt man immer dann, wenn Komponenten oder das Steuergerät der Wegfahrsperre gewechselt werden müssen, bzw. zum systeminternen Sperren von abhanden gekommenen Fahrzeugschlüsseln.

Fernbedienungssystem. Wenn die Batterie im Sender getauscht werden muss, sollte der Batteriewechsel weniger als eine Minute dauern, damit die gespeicherten Daten nicht verloren gehen und keine neue Initialisierung notwendig ist.

Arbeitsaufträge

1. Erklären Sie einem Laien, was man unter einem qualifizierten Diebstahlschutz versteht.
2. Was ist ein Transponder und welche Funktion hat er?
3. Welche verschiedenen Arten von Zentralverriegelungen gibt es und worin bestehen die Unterschiede?
4. Welche Vorteile besitzt die Funk-Fernbedienung gegenüber der Infrarot-Fernbedienung?
5. Was kann durch eine Diebstahlwarnanlage überwacht werden und wie?

37.5 Pyrotechnische Rückhaltesysteme

37.5.1 Airbag

Der Airbag ist ein passives Sicherheitssystem. Es besteht aus (Bild 37.11):

- einem elektronischen Auslöse(Steuer-)gerät mit integriertem Beschleunigungsaufnehmer (Stoßsensor), einem Kondensator (als Energiereserve bei Unterbrechung der Spannungsversorgung infolge eines Unfalls) und einem Spannungswandler,
- einem aufblasbaren Nylon-Luftsack (Fahrer-airbag) bzw. mehreren Luftsäcken (je nach Anzahl der verbauten Airbags),
- je einem Gasgenerator mit Zündpille pro Luftsack zur Befüllung,
- einer Kontrolllampe zur Systemüberwachung.

Darüber hinaus können je nach System bzw. Hersteller

- zusätzliche ausgelagerte Sensoren (Beschleunigungsaufnehmer) zur sicheren Crash-Erkennung für die Front- und Seitenairbags sowie
- eine Wickelfeder (Spiralkabel) zur sicheren Kontaktübertragung von der Lenksäule zum Lenkrad

verwendet werden.

Manche Airbagsysteme besitzen auch eine Sitzbelegungserkennung, wodurch eine unnötige Airbagauslösung bei nicht besetzten Sitzplätzen verhindert wird. Bei der Sitzbelegungserkennung handelt es sich um eine Matte, die mit Drucksensoren und einer Auswertungselektronik bestückt ist und die unter den Sitzbezügen untergebracht ist (Bild 37.12).

Bei einigen Systemen können auch durch in den Gurtschlössern integrierte Kontakte, die ebenfalls mit dem Airbagsteuergerät verbunden sind, die Auslöseschwellen – abhängig davon, ob der Gurt angelegt ist – variiert werden.

Die pyrotechnischen Gurtstraffer bzw. Gurtschlösserstrammer gehören ebenfalls zu den passiven Rückhaltesystemen, die durch das gemeinsame (Airbag-)Steuergerät ausgelöst werden.

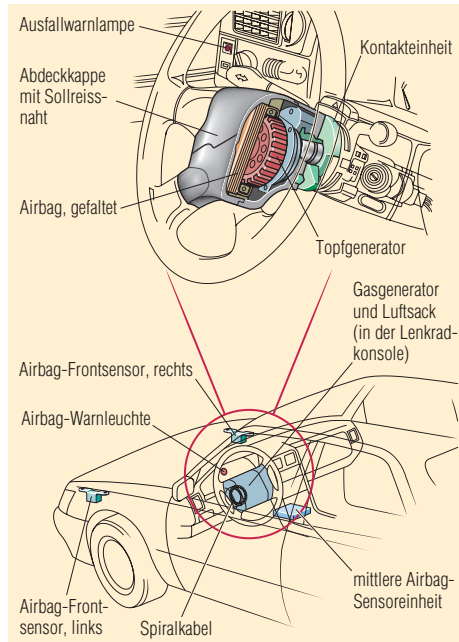


Bild 37.11 Komponenten eines Fahrerairbagsystems.

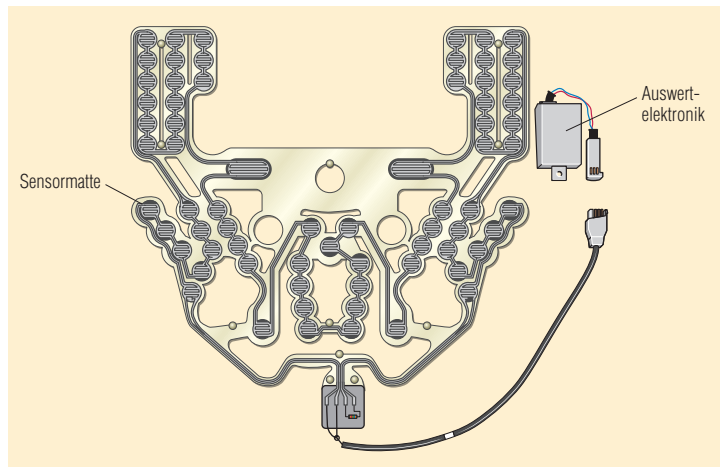


Bild 37.12 Sitzbelegungserkennung.

SRS: supplemental restraint system (engl.): zusätzliches Rückhaltesystem

In einem Fahrzeug können bis zu zehn verschiedene Airbags sowie bis zu fünf Gurtstraffer verbaut sein (Bild 37.13). Je nach Notwendigkeit werden die einzelnen Airbags und Gurtstraffer durch das zentral angeordnete Steuergerät aktiviert.

Der Fahrerairbag befindet sich unter der Prallplatte im Lenkrad und hat je nach Fahrzeugtyp und Hersteller ein Volumen von 30 l bis 80 l.

Der Beifahrerairbag ist in der Armaturentafel unter einer Abdeckung integriert und hat ein Volumen von bis zu 150 l.

Die Seitenairbags vorne und hinten, Fahrer- und Beifahrerseite können in den Fahrzeugsitzen, oder seitlich in den Sitzen platziert sein. Ihr Volumen beträgt zwischen 10 l und 20 l.

Die Kopfairbags als Ergänzung zu den Seitenairbags können in der A-, B-, C- oder D-Säule bzw. im Dachbereich befestigt sein. Die möglichen Volumina sind abhängig von den verschiedenen Systemen.

Sämtliche Airbagabdeckungen sind mit dem Schriftzug „Airbag“ oder „SRS“ gekennzeichnet.

Alle Airbagsysteme verfügen über eine Eigen-diagnose und einen Fehlerspeicher. Nach Herstellen der Spannungsversorgung (Zündung ein) leuchtet während der Systemüberprüfung eine Kontrolllampe. Erlischt diese nach einigen Sekunden, ist das System funktionsbereit.

Die Auslöseschwellen für Airbags sind in Europa entsprechend der bestehenden Gurtanlegepflicht ausgelegt. Die beste Schutzwirkung wird zusammen mit dem angelegten Dreipunkt-Sicherheitsgurt erreicht. Das Airbagsystem kann daher unter keinen Umständen das Anlegen des Sicherheitsgurtes ersetzen.

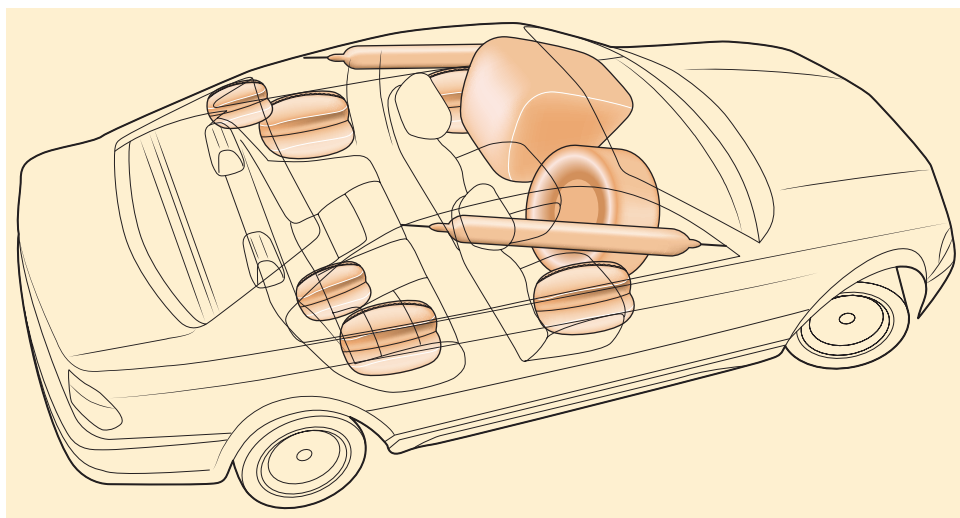


Bild 37.13 Ausrüstung eines Pkw mit zehn Airbags.

37.5.2 Ablauf einer Airbagzündung

Werden bei einem Unfall mit Frontaufprall (bis ca. $\pm 30^\circ$ zur Fahrzeuglängsachse) die für die Airbagauslösung definierten Verzögerungswerte überschritten, lösen Fahrerairbag und – soweit vorhanden – der Beifahrerairbag aus.

Die Auslösung des Fahrerairbags läuft wie folgt ab (Bild 37.14):

Ca. 10 Millisekunden nach dem Aufprall wird das Fahrzeug bereits stark verzögert, die Auslöseschwelle ist überschritten und der Airbag wird gezündet.

Nach ca. 20 Millisekunden beginnt sich der Airbag zu entfalten, der Körper des Fahrers bewegt sich bereits leicht nach vorne.

Nach ca. 30 Millisekunden ist der Airbag voll entfaltet. Die Vorwärtsbewegung des Fahrers wird noch durch den sich dehnenden Sicherheitsgurt verzögert.

Nach ca. 80 Millisekunden tauchen der Kopf und Oberkörper des Fahrers in den gefüllten Airbag. Durch die Öffnungsschlitze auf der vom Fahrer abgewandten Rückseite kann das Gas wieder entweichen, wodurch ein weiteres „sanftes“ Auffangen des Fahrers erreicht wird.

Nach ca. 120 Millisekunden ist der Airbag beinahe wieder entleert, der Körper des Fahrers fällt in den Sitz zurück.

Die angegebenen Zeitwerte variieren je nach Fahrzeug, Deformationsverhalten, Aufprallgeschwindigkeit, Airbagtyp und Einbaulage.

Bei einem Unfall mit Seitenaufprall und Überschreitung der entsprechenden Verzögerungswerte werden der Seitenairbag, der dem Anstoß zugewandt ist, und falls vorhanden der Kopf-airbag bzw. Windowbag ausgelöst. Dadurch sollen Verletzungen durch den Aufprall auf die Tür/Seitenscheibe verringert werden, aber auch eine rechtzeitige Beschleunigung/Bewegung des Insassen in Stoßrichtung erfolgen. Da bei einem Seitenaufprall fast kein Deformationsweg vorhanden ist, wird nach nur ca. 3 bis 5 Millisekunden der Airbag gezündet. Nach ca. 15 bis 20 Millisekunden ist der Seitenairbag positioniert, aufgeblasen und voll funktionsfähig.

37.5.3 Bauteile und ihre Funktion

Das meist zentral im Inneren der Karosserie befestigte Steuergerät überwacht ständig alle Funktionen und sich selbst. Dies gilt auch für die Signale der im Steuergerät integrierten Beschleunigungssensoren. Bei entsprechenden Verzögerungswerten (Unfall) gibt das Steuergerät einen Zündimpuls an den bzw. die entsprechenden Airbags. Die Übertragung des Zündimpulses geschieht beim Fahrerairbag sehr häufig über eine Wickelfeder (Spiralkabel). Durch den Zündimpuls wird im Gasgenerator mittels einer Zündpille der Festtreibstoff (Natriumacid NaN_3) entzündet. Das dabei entstehende Treibgas wird durch einen Metallfilter gereinigt, abgekühlt und befüllt den Luftsack.

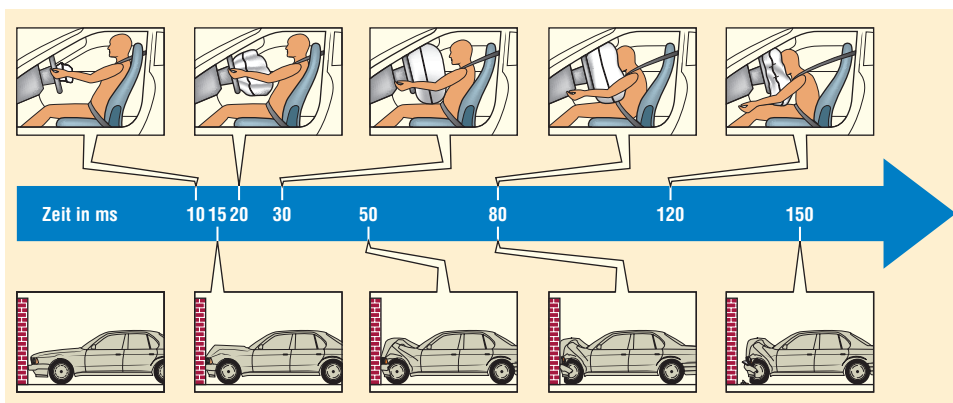


Bild 37.14 Zeitlicher Ablauf einer Airbagauslösung.

Als Gasgeneratoren werden für den Fahrer- und Beifahrerairbag meist Topfgasgeneratoren (Bild 37.15) verwendet. Alternativ gibt es für den Beifahrerairbag auch einen Rohrgasgenerator (Bild 37.16).

Für den Seitenairbag wird oft ein Kaltgasgenerator verwendet (Bild 37.17). Der Kaltgasgenerator ist ein mit bis zu 200 bar befüllter Druckgasbehälter, der durch eine Zündeinheit geöffnet wird. Das ausströmende Gas (Stickstoff) entfaltet und befüllt den Luftsack.

Zur sicheren und schnellen Erkennung der Schwere des Unfalls (und entsprechender Verzögerungswerte) werden z. T. ausgelagerte Sensoren verwendet. Die Stoßsensoren für die Auslösung der Seitenairbags befinden sich meist sehr nahe an den Seitenschwellern.

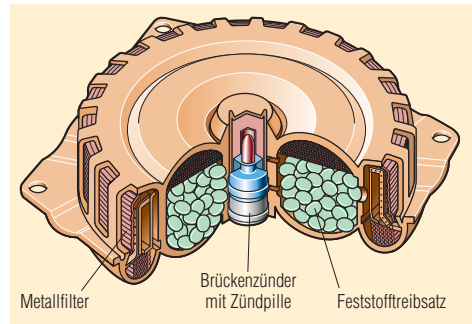


Bild 37.15 Schnittzeichnung eines (Topf-)Gasgenerators.

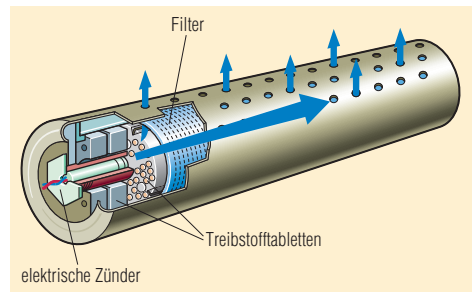


Bild 37.16 Rohrgasgenerator.

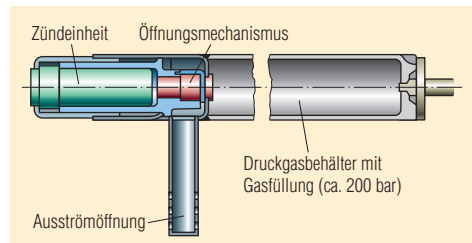


Bild 37.17 Kaltgasgenerator.

37.5.4 Gurtstraffer und Gurtschlossstrammer

Der angelegte Sicherheitsgurt soll bei einem Unfall u. a. dafür sorgen, dass der Insasse möglichst früh an der Fahrzeugverzögerung teilnimmt und damit Spitzenbelastungen verringert werden. Da in der Praxis der Gurt nicht immer eng anliegt und straff gezogen ist, ergibt sich eine so genannte Gurtlose. Um die Gurtlose bei einem Unfall zu verringern und den Gurt zu straffen, gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten:

- man kann die Gurtaufrollautomatik benutzen, um den Gurt zu straffen (Bild 37.18) oder
- das Gurtschloss zurückziehen (Bild 37.19) und damit den Gurt straffen.

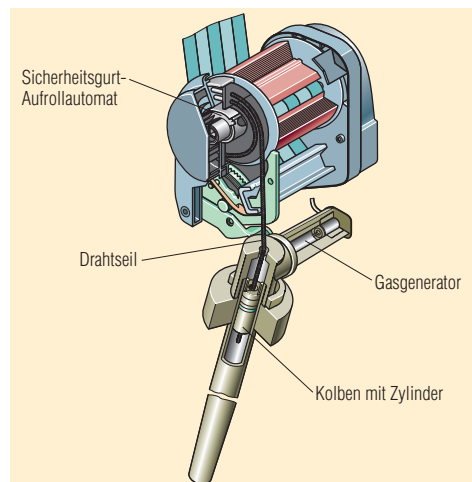


Bild 37.18 Pyrotechnischer Gurtstraffer.

Bei beiden Systemen wird bei der Auslösung durch die „Explosion“ ein Kolben in einem Zylinder bewegt. Ein am Kolben befestigtes Drahtseil versetzt den Aufrollautomaten in Bewegung bzw. zieht das Gurtschloss zurück. Bei beiden Systemen wird anschließend ein Einrastmechanismus aktiv.

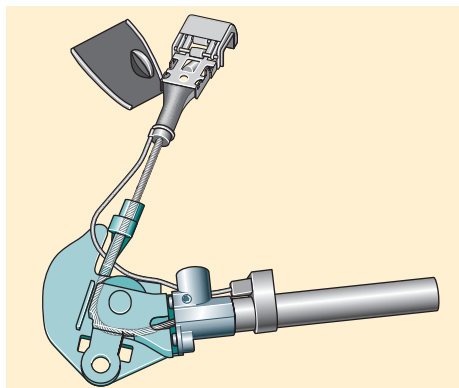


Bild 37.19 Pyrotechnischer Gurtschlossstrammer mit Gurtschlosserkennung.

37.5.5 Systemüberprüfung und Sicherheitshinweise

Die Überwachungselektronik zeigt über die Kontrolllampe, ob das Airbagsystem u.U. teilweise oder vollständig nicht funktionsbereit ist. In diesem Fall ist immer der Fehlerspeicher auszulesen und die entsprechenden Bauteile müssen ersetzt

werden. Da es sich bei allen Airbagsystemen um pyrotechnische Gegenstände handelt, unterliegt deren Umgang, Beförderung und Lagerung dem „Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe“ (Sprengstoffgesetz).

pyro (griech.): Feuer, Hitze;
Pyrotechnik: Bezeichnung für Herstellung und prakt. Anwendung von sprengstoffhaltigen Erzeugnissen.

37.6 Werkstattpraxis

Beim Einbau von Airbags gilt: Die Einbaulage (meist durch Pfeile gekennzeichnet) der ausgelagerten Sensoren und des Steuergerätes ist immer zu beachten.

Man sollte bei Reparaturen immer bedenken, dass ein Fehler schwer wiegende Folgen nach sich ziehen kann, die schlimmstenfalls auch tödlich enden könnten. Grundsätzlich sind bei allen Arbeiten folgende Hinweise zu beachten:

- alle Prüf-, Montage- und Demontearbeiten nur von geschultem Fachpersonal mit größtmöglicher Sorgfalt durchführen und die Anweisungen der Hersteller genauestens beachten,
- beim Ersetzen von Airbagbauteilen die Spannungsversorgung durch Abklemmen der Batterie unterbrechen, danach einige Minuten warten um sicherzustellen, dass sich der (die) Zündkondensator(en) im Steuergerät vollständig entladen hat (haben). Dies gilt auch für Richt- und Schweißarbeiten. Beschädigte, heruntergefallene, gebrauchte oder reparierte Systembauteile nicht mehr verbauen. Pyrotechnische Bauteile nicht unbeaufsichtigt liegen lassen,

- die Airbageinheiten im ausgebauten Zustand so ablegen, dass sie mit der gepolsterten Seite (Prallpolster) nach oben zeigen bzw. der Gasgenerator unten liegt,
- Airbagbauteile nicht mit Fett, Öl, Wasser, Reinigungsmitteln und dergleichen in Berührung bringen,
- Temperaturen über 100 °C (auch kurzzeitig) unbedingt vermeiden ebenso wie offenes Feuer oder Funken,
- ausgelöste Airbags immer ersetzen. Beim Wiederherstellen der Spannungsversorgung darf sich niemand im Fahrzeug befinden,
- vor der Verschrottung eines Fahrzeuges die Airbags nach Herstellervorschrift entweder zünden oder ausbauen und an den Hersteller zurücksenden.



Arbeitsaufträge

1. Wie funktioniert ein Airbag?
2. Welche Arten von Gasgeneratoren gibt es?
3. Welche Funktion hat eine Sitzbelegungserkennung?
4. Was ist der Unterschied zwischen einem Gurtstraffer und einem Gurtschlossstrammer?
5. Stellen Sie ein Merkblatt mit Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit pyrotechnischen Gegenständen zusammen und begründen Sie diese.
6. Ein Freund zeigt Ihnen einen Pkw mit einem Frontschaden und wundert sich, dass die Airbags nicht ausgelöst haben. Sie aber wissen, dass der Fahrer unverletzt blieb. Was antworten Sie ihm?

38 Fahrsicherheitssysteme

Die Fahrsicherheitssysteme verhindern

- beim Bremsen das Blockieren der Räder (Anti-Blockier-System),
- beim Anfahren und Beschleunigen das Durchdrehen der Räder (Antriebsschlupf-Regelung),
- im Schiebetrieb bei der Gaswegnahme einen zu hohen Bremsschlupf der Antriebsräder (Motorschleppmoment-Regelung),
- das Schleudern des Fahrzeuges (Fahrdynamik-Regelung),
- in Notsituationen eine zu geringe Ausnutzung der möglichen Bremskraft (Brems-Assistent) und halten die Räder stets im optimalen, stabilen Schlupfbereich, unabhängig vom Fahrbahnzustand (Bild 38.1).

Die Fahrsicherheitssysteme können aber die Grenzen der Fahrphysik nicht aufheben.

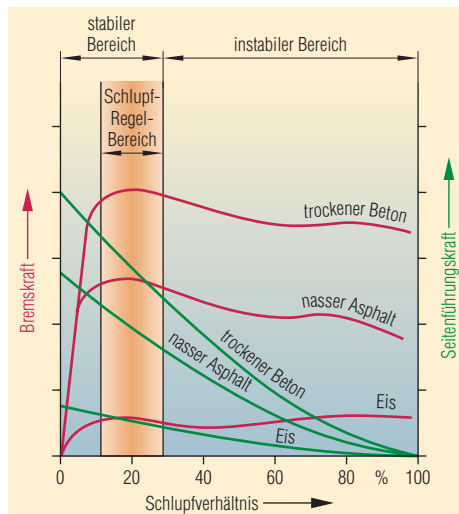


Bild 38.1 Schlupf-Regelbereich der Fahrsicherheitssysteme.

38.1 Anti-Blockier-System (ABS)

Das ABS regelt bei einer Vollbremsung den Bremsdruck so, dass kein Rad blockiert, die Lenkfähigkeit erhalten bleibt und der kürzest mögliche Bremsweg erzielt wird. Die wichtigsten Eingangssignale für das ABS-Steuergerät liefern die Raddrehzahlfühler (Bild 38.2).

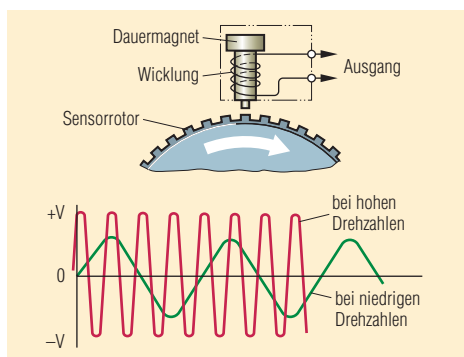


Bild 38.2 Raddrehzahlfühler.

Durch die Drehung eines mit der Radnabe verbundenen Impulsrades wird in der Wicklung des Drehzahlfühlers eine sinusförmige Wechselspannung erzeugt. Die Frequenz der Wechselspannung ist direkt proportional zur Drehgeschwindigkeit des Rades. Somit erkennt das Steuergerät die absolute Drehzahl sowie Drehzahländerungen. Zusätzlich errechnet das Steuergerät aus allen Raddrehzahlensignalen die

so genannte Referenzgeschwindigkeit, die annähernd der Fahrzeuggeschwindigkeit entspricht. Sind die Drehzahländerungen an einem oder mehreren Rädern so groß, dass die Gefahr des Blockierens eines oder mehrerer Räder besteht, werden in einem Hydroaggregat zur Regelung des Bremsdruckes die entsprechenden Magnetventile angesteuert. Die einzelnen Phasen der Bremsdruckregelung sind

- Druck aufbauen,
 - Druck halten und
 - Druck abbauen,
- die bis zu 10-mal pro Sekunde ablaufen können.

Erfolgt die Bremsdruckregelung für jedes Rad einzeln, spricht man von einem 4-Kanal-System. Werden nur die Vorderräder einzeln und die Hinterräder gemeinsam geregelt, handelt es sich um ein 3-Kanal-System. Dabei bestimmt das Hinterrad mit der geringsten Bodenhaftung den gemeinsamen Bremsdruck (select-low-Prinzip). 2-Kanal-Systeme, bei denen jeweils ein Vorderrad und das diagonal gegenüberliegende Hinterrad gemeinsam geregelt werden, werden nur selten (bei Kleinwagen) eingebaut.

Für die Bremsdruckregelung im Hydroaggregat gibt es Systeme mit 3/3-Magnetventilen und mit 2/2-Magnetventilen.

38.1.1 ABS mit 3 / 3 Magnetventilen

Druck aufbauen. Bei der Bremsdruckmodulation mit 3 / 3-Magnetventilen (3 Anschlüsse / 3 Stellungen) ist das Magnetventil in der Ruhelage stromlos. Der durch den Fahrer erzeugte Bremsdruck kann ungehindert auf den Radbremszylinder wirken. Der Druck wird aufgebaut (Bild 38.3).

Druck halten. Erkennt das Steuergerät eine zu große Radverzögerung im Vergleich zur Referenzgeschwindigkeit, wird das Magnetventil zuerst mit der Hälfte des Maximalstromes

(= 2,5 A) beaufschlagt. Dadurch verschließt es den Zulauf vom Hauptbremszylinder. Der Druck im Radbremszylinder kann nicht weiter steigen und wird gehalten (Bild 38.3).

Druck abbauen. Nimmt die Raddrehzahl nicht wieder zu bzw. sinkt weiter, wird das Magnetventil mit dem Maximalstrom (= 5 A) erregt. Dadurch wird der Rücklauf freigegeben und der Druck im Radbremszylinder kann sich über den Speicher abbauen (Bild 38.3).

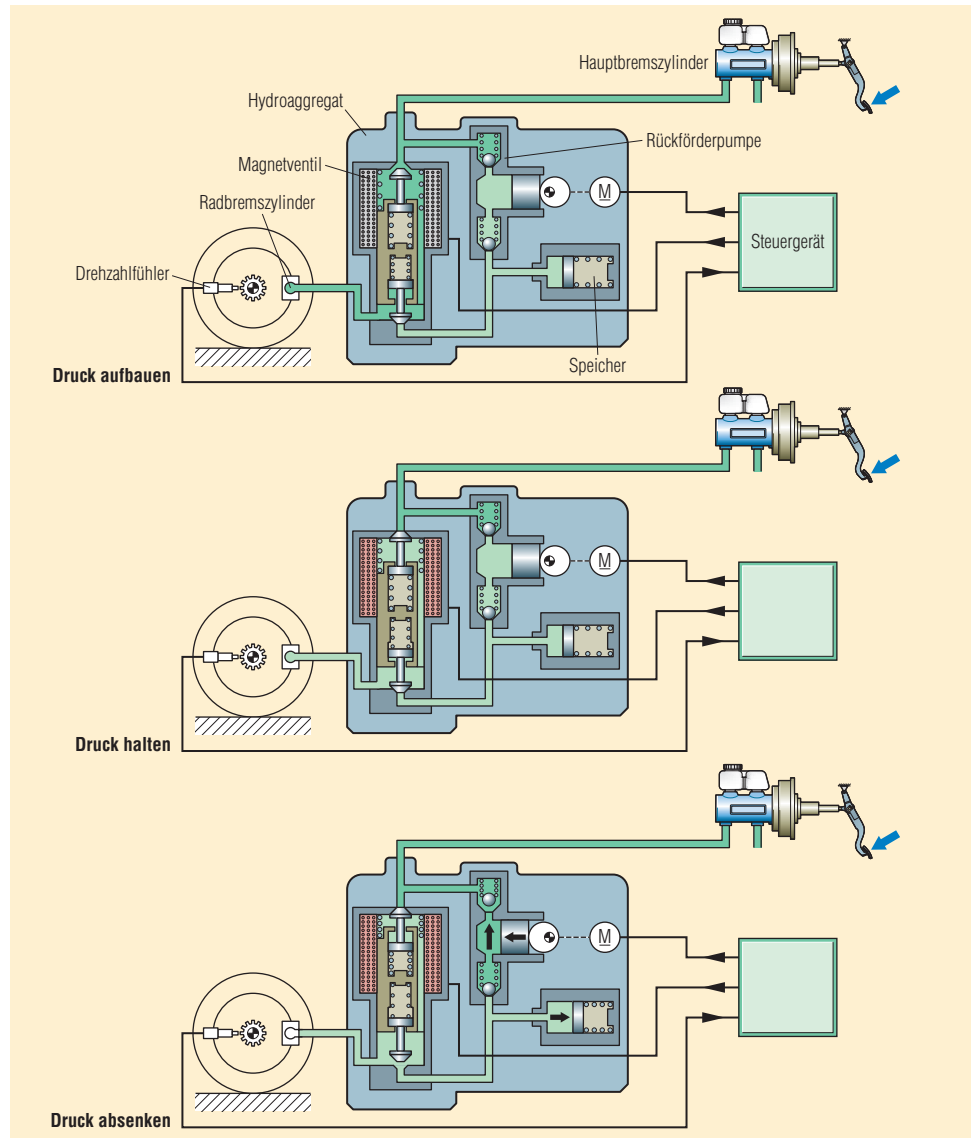


Bild 38.3 Bremsdruckmodulation mit 3 / 3-Magnetventilen.

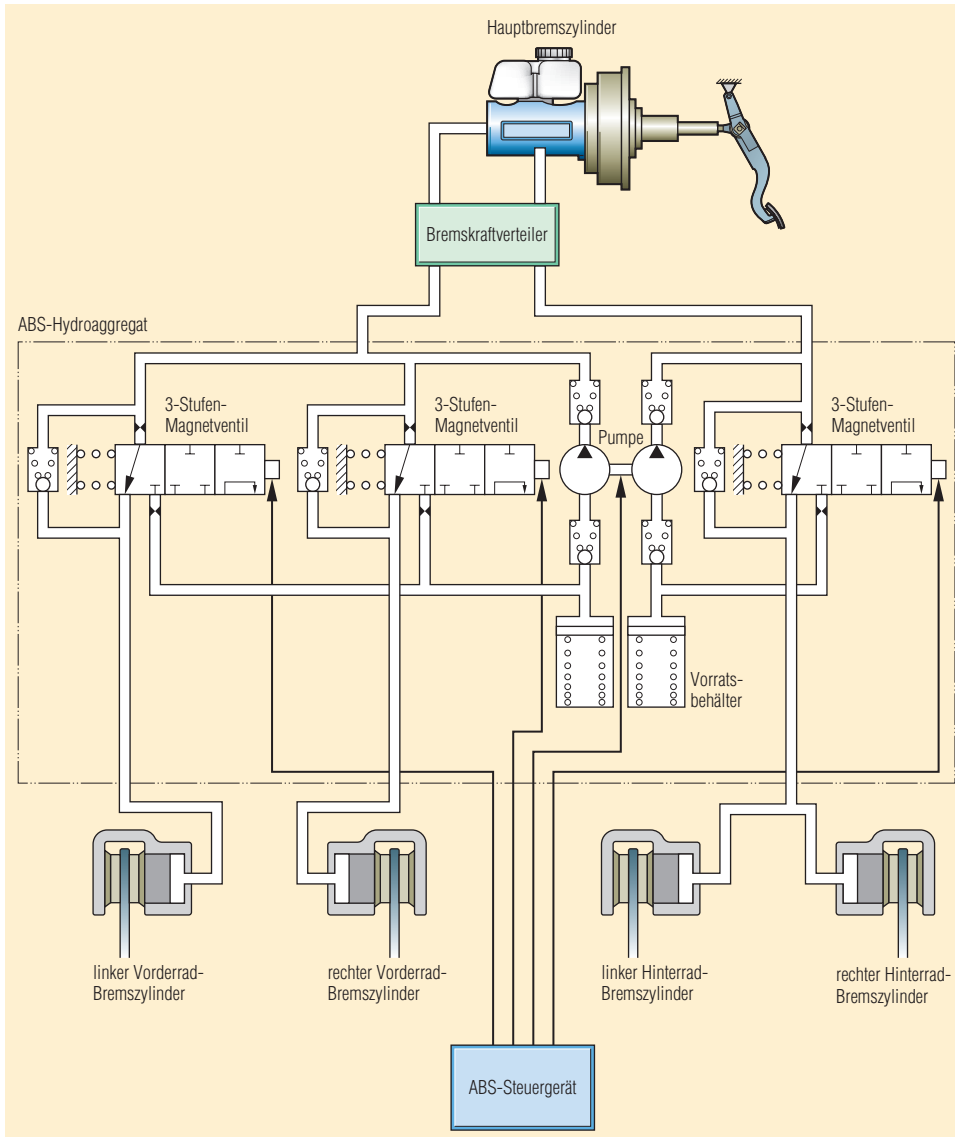


Bild 38.4 Hydraulikkreislauf eines 3-Kanal-Systems mit 3/3-Magnetventilen.

Wenn das Rad die Referenzgeschwindigkeit beinahe wieder erreicht hat, schaltet das Steuergerät das Magnetventil wieder stromlos und der Druck kann sich wieder aufbauen. Damit der Bremsdruck im Hauptbremszylinder bei einer ABS-Regelung nicht verloren geht und der Druck sich über den Speicher immer abbauen kann, wird durch die Rückförderpumpe die Bremsflüssigkeit vom Speicher in den Zulauf vom Hauptbrems-

zylinder gepumpt (Bild 38.4). Dieses System wird deshalb als geschlossenes ABS bezeichnet. Durch diesen Vorgang, der durch ein leichtes Pulsieren am Bremspedal bemerkbar ist, erkennt der Fahrer eine ABS-Regelung.

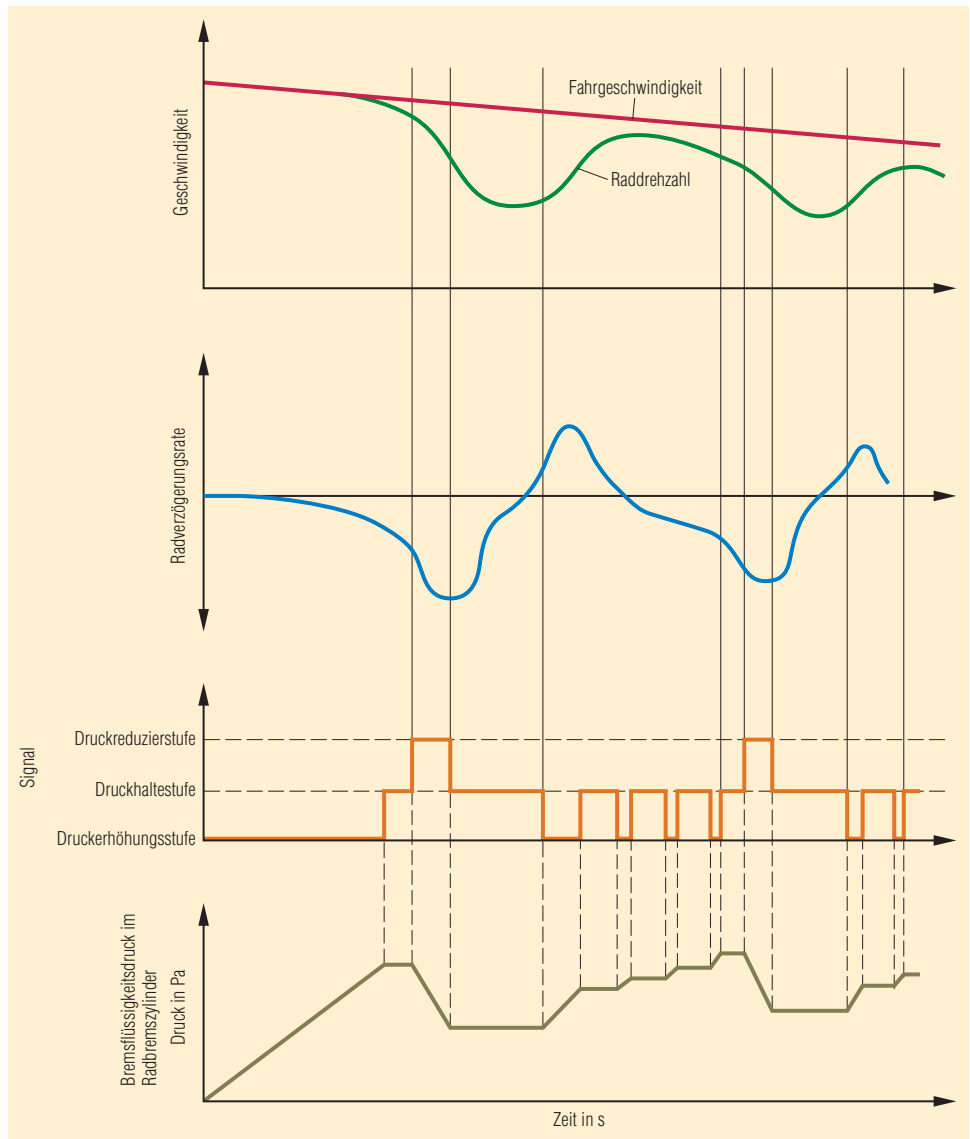


Bild 38.5 Ablauf einer ABS-Regelung mit 3/3-Magnetventilen.

Ausfall des ABS. Die Magnetventile bleiben stromlos. Somit steht die normale Funktion der Bremsanlage ohne ABS zur Verfügung. Dem Fahrer wird dies durch eine Warnlampe angezeigt. Ein möglicher Ablauf einer ABS-Regelung mit 3/3 Magnetventilen ist in Bild 38.5 dargestellt.

38.1.2 ABS mit 2 / 2-Magnetventilen

Beim ABS mit 2/2-Magnetventilen besitzt im Hydroaggregat jeder Kanal ein Ein- und Auslassventil. Stromlos sind die Einlassventile geöffnet, die Auslassventile geschlossen. Der durch den Fahrer erzeugte Bremsdruck kann auf die Radbremszylinder wirken. Zum Druck halten wird bei einer ABS-Regelung zuerst das Einlassventil bestromt und damit geschlossen. Zum Druck abbauen wird das Auslassventil ebenfalls bestromt und

dadurch geöffnet. Zum Druck aufbauen werden die Ventile wieder stromlos, d. h. Einlass offen, Auslass geschlossen. Der Pumpenmotor fördert auch bei diesem System bei einer ABS-Regelung die Bremsflüssigkeit aus dem Ausgleichsbehälter (Speicher) über die Ausgleichskammer zurück in den Zulauf vom Hauptbremszylinder (geschlossenes ABS, Bild 38.6).

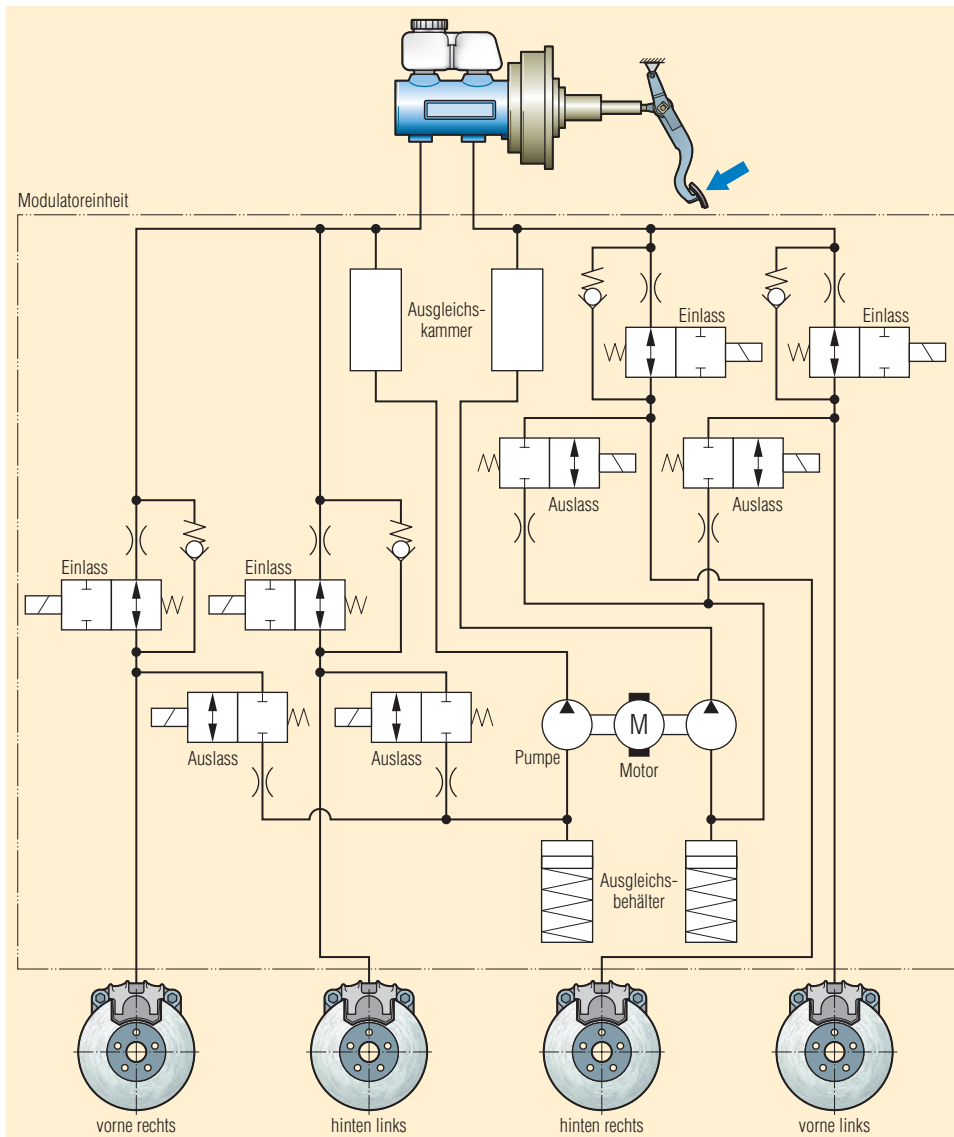


Bild 38.6 Hydraulikkreislauf eines 4-Kanal-Systems mit 2/2-Magnetventilen.

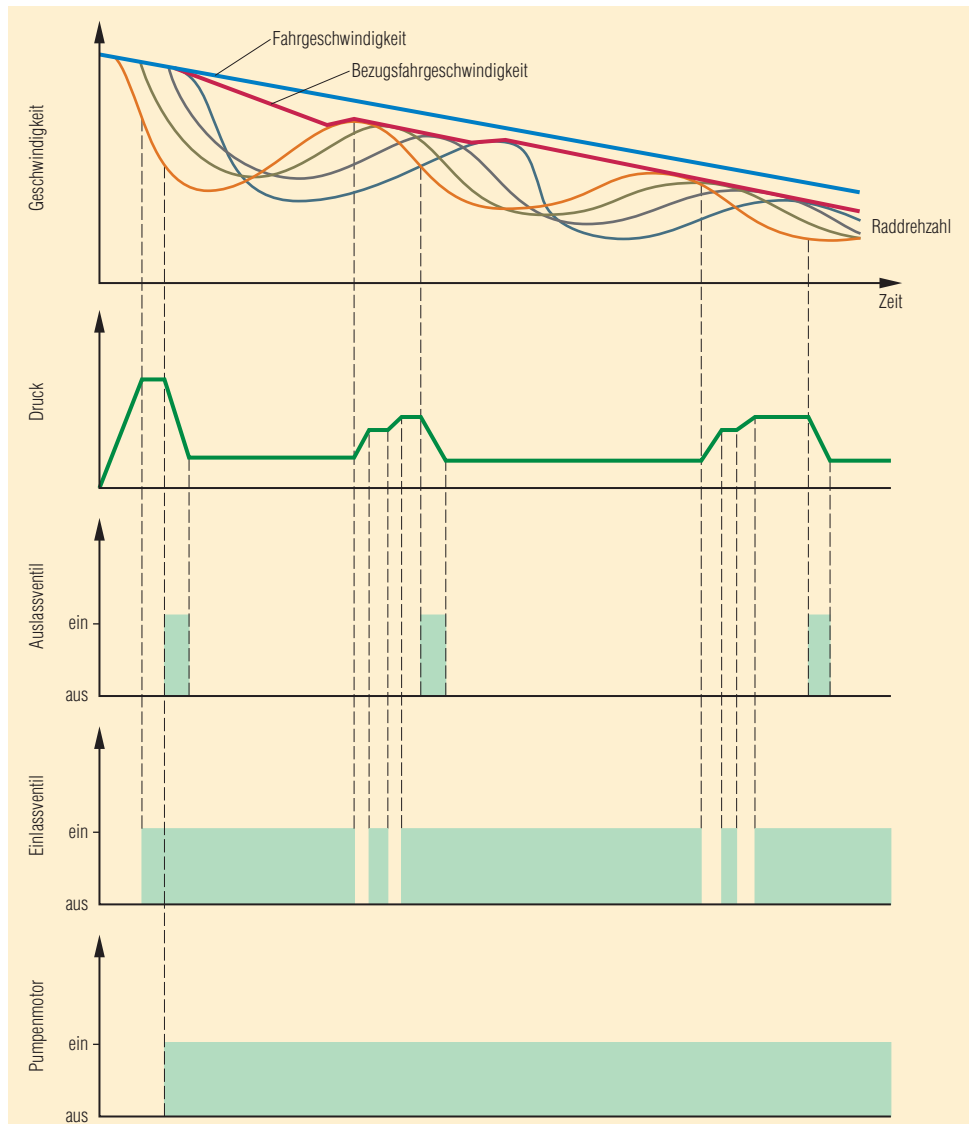


Bild 38.7 Ablauf einer ABS-Regelung mit 2/2-Magnetventilen.

Ein möglicher Ablauf einer ABS-Regelung mit 2/2 Magnetventilen ist in Bild 38.7 dargestellt.

Der Hydraulikkreislauf des ABS in Bild 38.8 wird als offenes System bezeichnet, weil die Bremsflüssigkeit beim Abbauen des Druckes drucklos in den Bremsflüssigkeitsbehälter entweicht. Wird über den Bremswegschalter bei einer ABS-Rege-

lung ein zu hoher Pedalweg erkannt, schaltet das Steuergerät den Pumpenmotor ein. Dieser pumpt dann die Bremsflüssigkeit mit hohem Druck wieder in den jeweiligen Bremskreis zurück, wodurch auch das Bremspedal wieder zurückgedrückt wird.

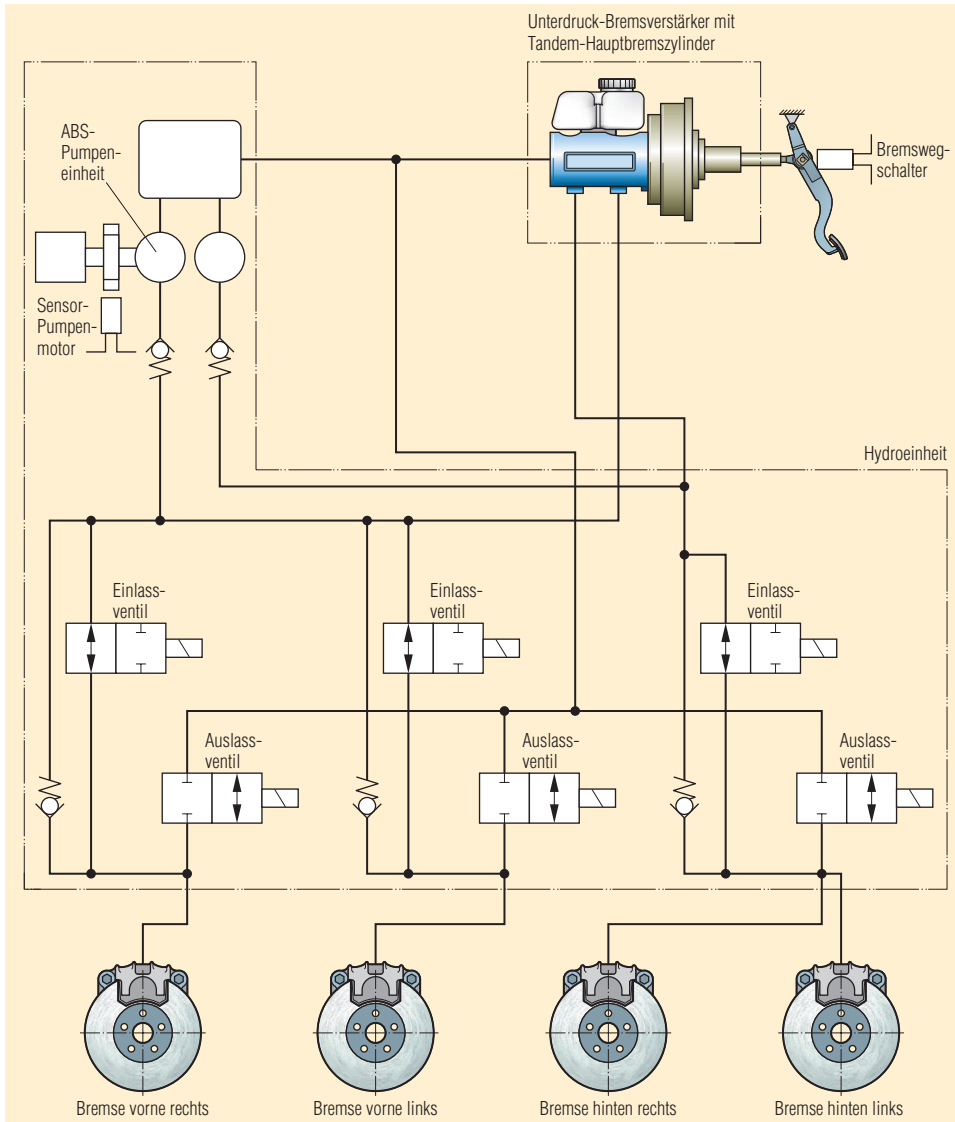


Bild 38.8 Hydraulikkreislauf eines offenen 3-Kanal-Systems.

38.1.3 Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)

Die Komponenten des ABS können auch für eine elektronische Bremskraftverteilung verwendet werden. Die Ventile können dazu wie bei einer ABS-Regelung angesteuert werden, ohne dass Blockiergefahr eines Rades besteht. Dadurch erreicht man selbst bei leichteren Bremsvorgängen elektronisch eine exakte Anpassung der Bremskraftverteilung (ohne mechanische Bremskraftregelung oder Druckminderventile) auf die

verschiedenen Beladungs- und Belastungszustände des Fahrzeuges. Dies ist besonders beim Bremsen in Kurven für ein höchstmögliches Maß an Fahrstabilität und Seitenführungskräften vorteilhaft. Bei Blockiergefahr eines Rades und damit notwendiger ABS-Regelung endet der Arbeitsbereich der elektronischen Bremskraftverteilung.

38.2 Antriebsschlupf-Regelung

Die Antriebsschlupf-Regelung (Bild 38.9) wertet ebenfalls die Signale der Raddrehzahlfühler aus und verhindert ein Durchdrehen der Antriebsräder. Dies dient im unteren Geschwindigkeitsbereich als Anfahrhilfe und über den gesamten Geschwindigkeitsbereich zur Erhöhung der Fahrstabilität. Die Antriebsschlupf-Regelung baut in den wesentlichsten Funktionen auf das ABS auf; deshalb haben diese Systeme häufig ein gemeinsames Steuergerät und Hydroaggregat. Da es unter bestimmten Umständen (z. B. Schneekettenbetrieb usw.) sinnvoll sein kann, dass die Antriebsräder durchdrehen, kann die

Antriebsschlupf-Regelung bei vielen Herstellern ausgeschaltet werden. Dies wird dem Fahrer mittels einer Kontrolllampe (permanent) angezeigt, ebenso wie ein Regelvorgang (blinkend). Der Ausfall des Systems wird ebenfalls durch die Kontrolllampe angezeigt.

Um die Antriebsräder im optimalen Schlupfbereich (2 % bis 10 %) zu halten, gibt es drei Möglichkeiten.

Zündwinkelrücknahme, Zünd- und Einspritzausblendung. Bei Benzinmotoren lässt sich die Motorleistung schnell reduzieren, indem der Zünd-

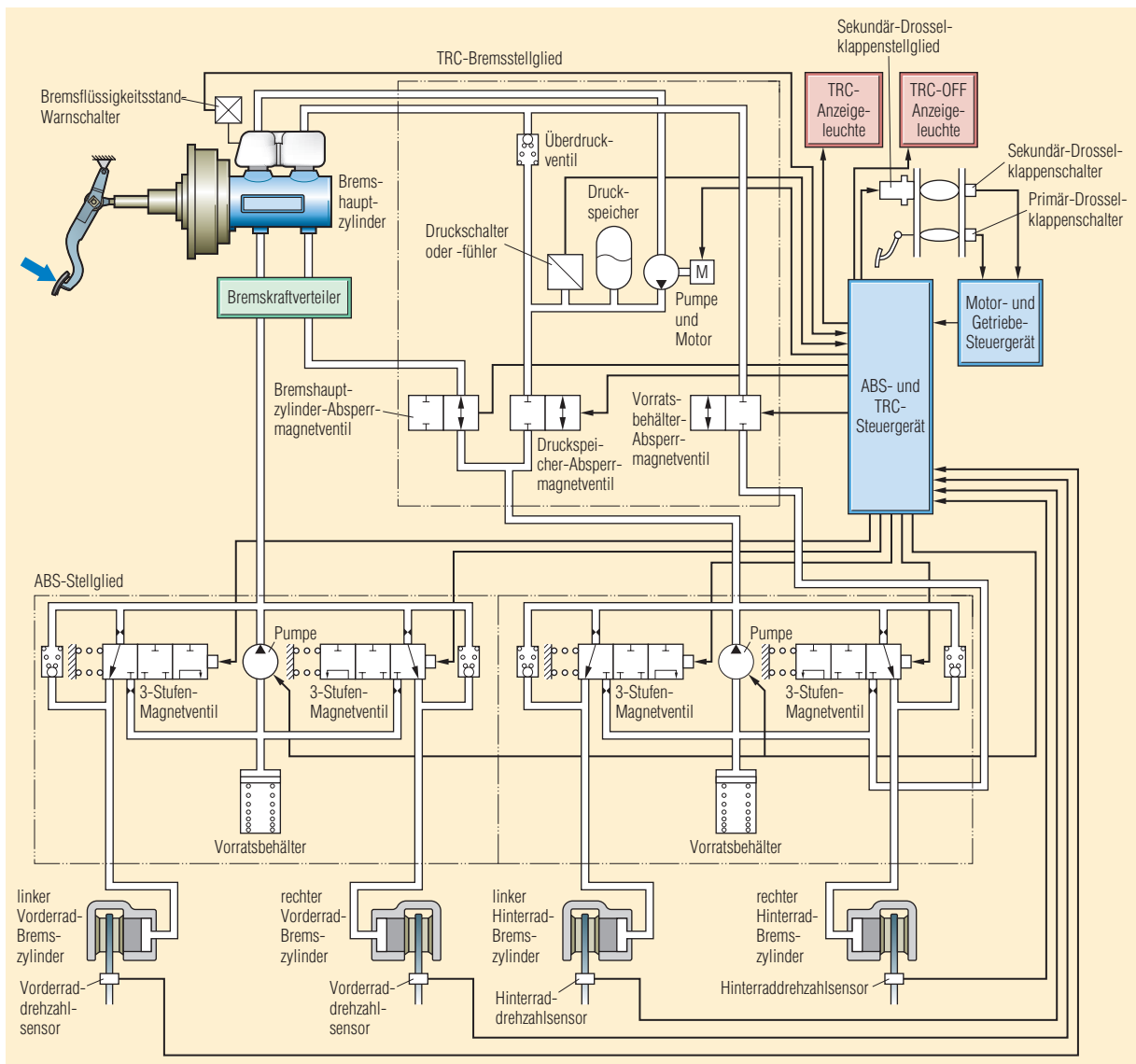


Bild 38.9 Systemübersicht Antriebsschlupf-Regelung mit 3/3-Magnetventilen.

winkel in Richtung spät verstellt wird. Wenn dies nicht ausreicht, kann auch die Zündung sowie gleichzeitig die Einspritzung ausgeblendet werden. Bei Dieselmotoren wird analog zuerst der Spritzbeginn verstellt und anschließend die Einspritzmenge reduziert. Dies wird durch ein Signal vom Steuergerät der Antriebsschlupf-Regelung zum Motorsteuergerät ausgelöst. Der Datenaustausch erfolgt meistens auf dem Bussystem des Antriebsstranges.

Drosselklappeneingriff. Um die Motorleistung weiter zu reduzieren, wird entgegen dem Fahrwunsch der Öffnungswinkel der Drosselklappe verringert. Dies kann durch

- eine zweite Drosselklappe, die sich vor der eigentlichen Drosselklappe befindet oder
- durch eine über eine Feder mechanisch vom Bowdenzug entkoppelte Drosselklappe oder
- im Rahmen der elektronischen Motorleistungsregelung (E-Gas)

verwirklicht werden. In allen Fällen wird die entsprechende Drosselklappe durch einen eigenen Stellmotor betätigt. Der Stellmotor kann (je nach System) direkt durch das Steuergerät der Antriebsschlupf-Regelung, aber auch durch das

Motorsteuergerät bzw. die elektronische Motorleistungsregelung angesteuert werden.

Bremseneingriff. Die schnellste und wirkungsvollste Regelmaßnahme ist der Bremseneingriff, bei dem das durchdrehende Rad (evtl. auch beide Antriebsräder) über den entsprechenden Radbremszylinder abgebremst wird.

Das Hydroaggregat des ABS wird dafür bei einem System mit 2/2-Magnetventilen um zwei Magnetventile erweitert (Bild 38.10). Das Absperr- oder Lademagnetventil, das stromlos geschlossen ist und erst bei einer Antriebsschlupf-Regelung mit Strom versorgt und geöffnet wird, ermöglicht der selbst ansaugenden Rückförderpumpe das Ansaugen der Bremsflüssigkeit aus dem Hauptbremszylinder. Durch das Umschaltmagnetventil (stromlos offen), das bei einem Bremseneingriff geschlossen wird, und durch die laufende Rückförderpumpe baut sich im Bremskreis der erforderliche Bremsdruck auf. Dieser wirkt auf den Radbremszylinder des durchdrehenden Rades. Bei dem Rad, das nicht abgebremst werden soll, wird das Einlassmagnetventil geschlossen.

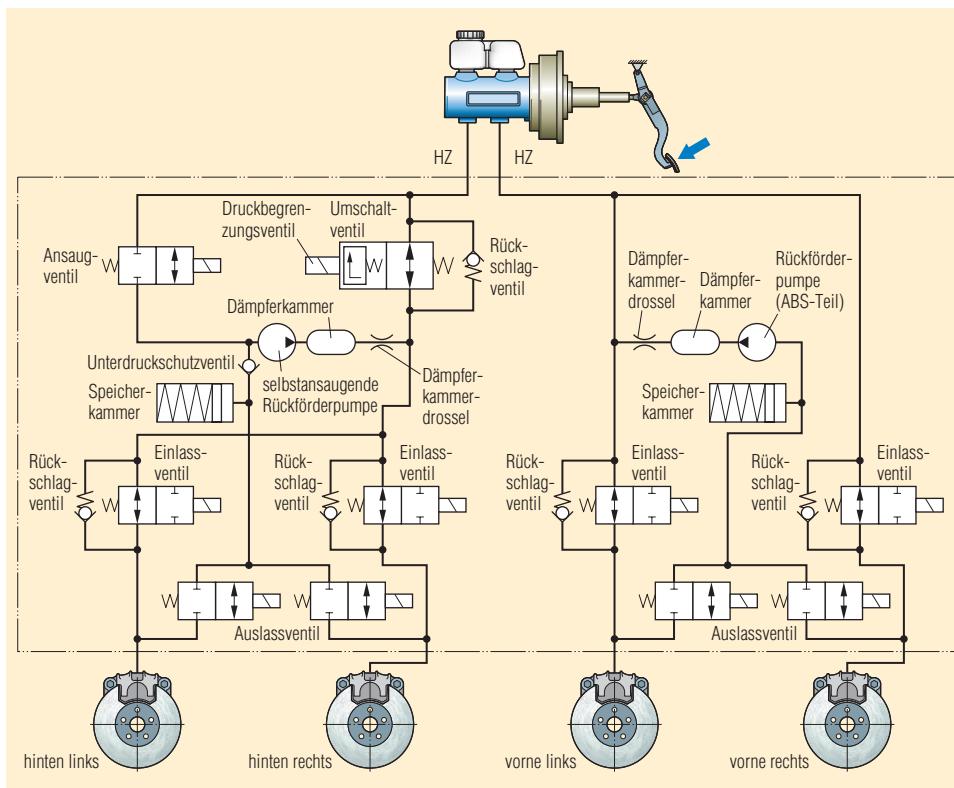


Bild 38.10 Hydraulikkreislauf einer Antriebsschlupf-Regelung mit 2/2-Magnetventilen.

Betätigt der Fahrer während einer Antriebschlupf-Regelung die Bremse, werden alle Magnetventile sofort stromlos, kehren in ihre Ruheposition zurück und die normale Funktion der Bremsanlage ist gewährleistet. Dies gilt auch für die Bremsdruckmodulation (Druck aufbauen, halten, abbauen) mit 3/3-Magnetventilen im Hydroaggregat (Bild 38.9, S. 576) und extra Druckerzeugung mit zusätzlicher Pumpe und eigenem so genannten Bremsstellglied. Den Ablauf einer Regelung aus Bild 38.9 mit Bremseingriff zeigt Bild 38.11.

Die Antriebsschlupf-Regelung arbeitet nach verschiedenen programmierten Regelstrategien, die je nach Erfordernissen (Geschwindigkeit, Haftung usw.) ausgewählt werden. Erkannt werden können je nach System auch zusätzliche für die Fahrstabilität kritische Situationen wie Aquaplaning oder auch Kurvenfahrten usw. Entsprechende Regelmaßnahmen können dann ergriffen werden. Die Verwendung der am Markt befindlichen Systeme ist sehr unterschiedlich und nicht alle Hersteller nutzen alle drei Möglichkeiten des Systemeingriffes.

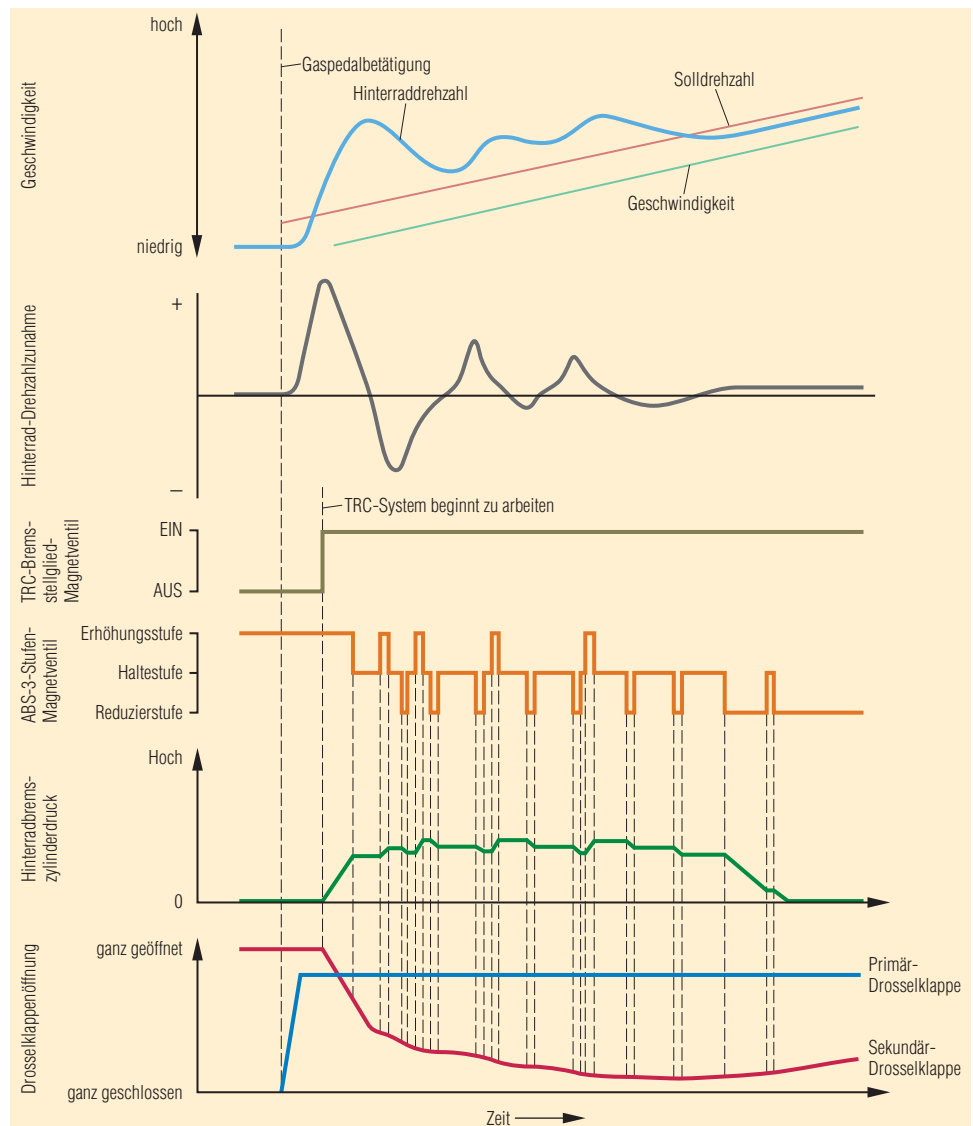


Bild 38.11 Möglicher Ablauf einer Antriebsschlupf-Regelung.

Motorschleppmoment-Regelung. Häufig kombiniert mit der Antriebsschlupf-Regelung ist eine Motorschleppmoment-Regelung. Beim Gaswegnehmen kann es durch das Motorbremsmoment zu einem erhöhten Schlupf kommen, wodurch die Fahrzeugstabilität ebenfalls gefährdet sein könnte. Über die Raddrehzahlfühler erkennt das

Steuergerät den erhöhten Schlupf. Durch ein Signal bzw. Datentelegramm zum Motorsteuergerät werden die Drosselklappe oder der Leerlaufsteller geöffnet und dadurch die Motordrehzahl etwas erhöht. Dadurch verringert sich das Motorbremsmoment.

38.3 Fahrdynamik-Regelung

Aufbauend auf das ABS und die Antriebsschlupf-Regelung sorgt die Fahrdynamik-Regelung für ein stabilisiertes Fahrverhalten bei kritischen Fahrzuständen – unabhängig davon, ob die Bremse oder das Gaspedal oder keines von beiden betätigt wird. Vor allem bei

- schnellen Ausweichmanövern,
- Panikreaktionen,
- unter- bzw. übersteuerndem Fahrzeug und eventuell
- wechselnden Fahrbahnreibungszahlen

hilft die Fahrdynamik-Regelung durch radindividuelles Bremsen und durch Eingriffe in die Motorsteuerung. Während das ABS und die Antriebsschlupf-Regelung überwiegend in die Längsdynamik des Fahrzeuges eingreifen, muss die Fahrdynamik-Regelung zusätzlich das Fahrzeug um seine Hochachse stabilisieren. Hierbei spricht man auch von einer Giermomentregelung (Bild 38.12).

Giermoment:
Drehung um die Fahrzeughochachse.

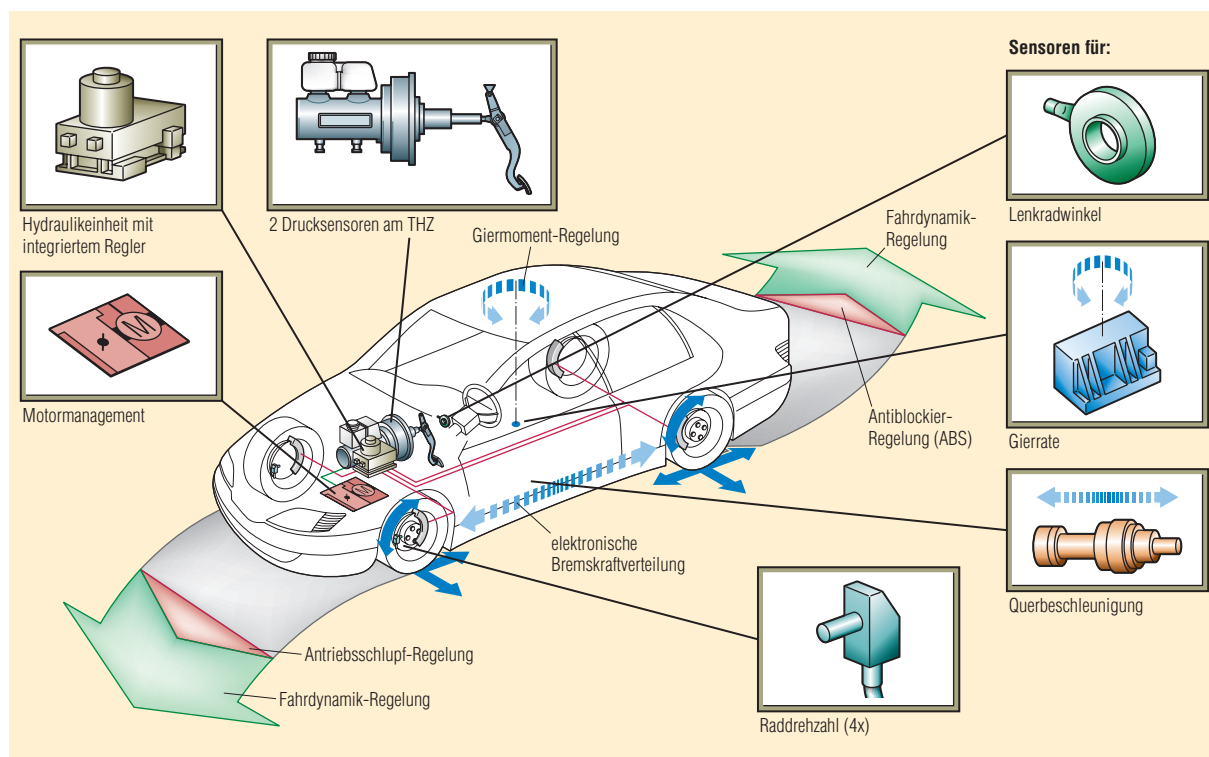


Bild 38.12 Aufgabe und Komponenten der Fahrdynamik-Regelung.

Die Fahrdynamik-Regelung hat zusammen mit dem ABS und der Antriebsschlupf-Regelung ein gemeinsames Steuergerät und ein Hydroaggregat. Als Eingangssignale werden neben den Raddrehzahlfühlern noch zusätzlich die Signale von einem Lenkradwinkelsensor, Drehratensensor (Gierrate) und einem Querschleunigungssensor sowie Informationen (Motordrehmoment usw.) von der Motorsteuerung verarbeitet. Zur Funktionsüberwachung dienen außerdem noch zwei Drucksensoren am Hauptbremszylinder oder ein Vordrucksensor, eventuell ein Bremsflüssigkeitsniveauschalter und das Signal des Bremslichtschalters. Funktionsausfälle werden

dem Fahrer durch eine Kontrolllampe (permanent) angezeigt; Regeleingriffe durch die blinkende Kontrolllampe.

Ausgangsseitig nutzt die Fahrdynamik-Regelung die gleichen Strategien zur Motorleistungsreduzierung wie die Antriebsschlupf-Regelung (Zündwinkelrücknahme, Zünd- und Einspritzausblendung, Drosselklappeneingriff, Bremseneingriff). Der Hydraulikkreis im Hydroaggregat ist um ein weiteres Absperr-/Lademagnetventil und Umschaltmagnetventil für den Bremskreis der nicht angetriebenen Achse erweitert (Bild 38.13).

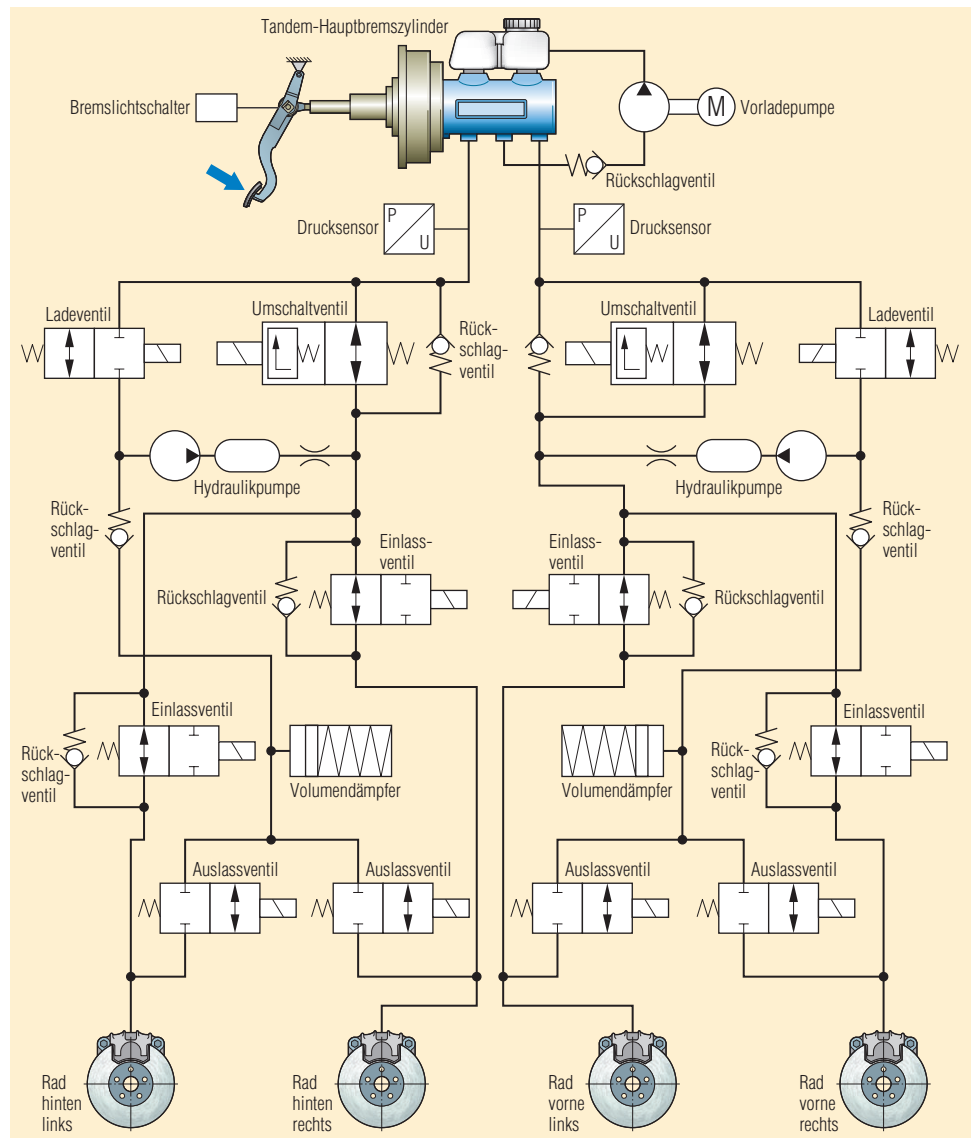


Bild 38.13 Hydraulikkreis der Fahrdynamik-Regelung mit 2/2-Magnetventilen.

Bei einem Bremseneingriff werden das Umschalt- und das Lademagnetventil des entsprechenden Bremskreises bestromt und damit geschlossen (Umschaltmagnetventil) bzw. geöffnet (Lademagnetventil). Gleichzeitig werden die Vorlade- und die Rückförderpumpe angesteuert und der dabei entstehende Druck kann über das offene Einlassventil (Auslassventil geschlossen) auf den Radbremszylinder (z. B. vorne links) wirken. Damit der Bremsdruck nicht unerwünscht auf die anderen Radbremszylinder wirken kann, wird im gleichen Bremskreis das andere Einlassventil (z. B. vorne rechts) geschlossen und das Auslassventil sicherheitshalber geöffnet. Im anderen Bremskreis (z. B. für hinten) wird das Umschaltmagnetventil geschlossen. Der Bremseneingriff bei der Fahrdynamik-Regelung besteht aus den Phasen Druck aufbauen, Druck halten und Druck reduzieren. Über die Signale der Raddrehzahlsensoren wird überwacht, dass beim Bremseneingriff kein blockierendes Rad erzeugt wird bzw. dieses sich im optimalen Schlupfbereich befindet. Wenn notwendig, können bei einer Regelung auch mehrere Räder gleichzeitig abgebremst werden. Der notwendige Bremseneingriff ist in Bild 38.14 am Beispiel eines übersteuernden und eines untersteuernden Fahrzeuges verdeutlicht.

Beim Übersteuern (Fahrzeug bricht mit dem Heck aus) wird das kurvenäußere Vorderrad stark, das kurvenäußere Hinterrad leicht abgebremst. Beim Untersteuern (Fahrzeug schiebt über die Vorderräder geradeaus) wird das kurveninnere Vorderrad leicht, das kurveninnere Hinterrad stark abgebremst.

Bremsassistentfunktion. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten. Ist die Funktion direkt im Steuergerät der Fahrdynamik-Regelung integriert, erfolgt die Erkennung der Notbremsung über die Drucksensoren (schneller Druckanstieg) am Hauptbremszylinder (Bild 38.13). Zur Bremskraftunterstützung wird die Vorladepumpe eingeschaltet. Besitzt die Bremsassistent-Funktion ein eigenes Steuergerät, wird ein im Bremskraftverstärker untergebrachtes Magnetventil geschaltet, wodurch die Arbeitskammer belüftet wird und die volle Bremskraftunterstützung erzeugt wird (Bild 38.15). Die Erkennung der Notbremsung erfolgt über einen Wegsensor, der die Pedal- bzw. Membranbewegung erfasst.

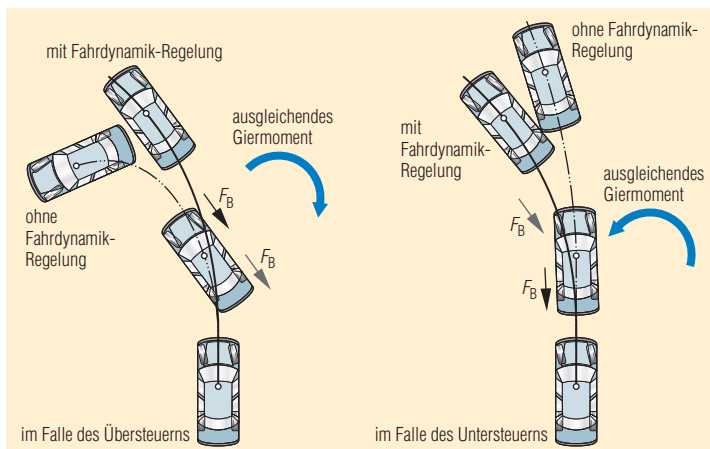


Bild 38.14 Giermoment-Regelung bei übersteuerndem und untersteuerndem Fahrzeug.

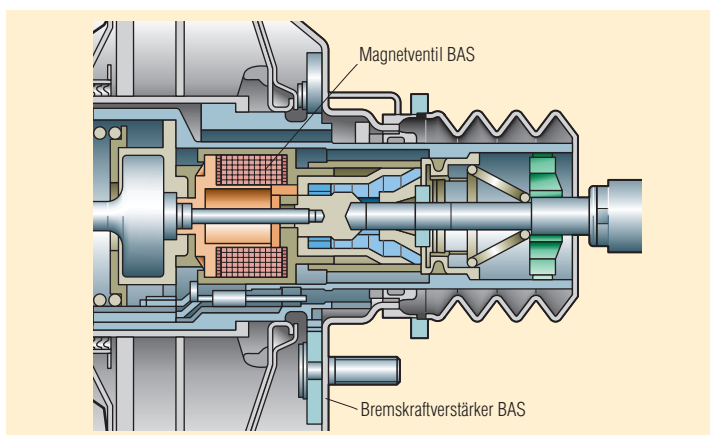


Bild 38.15 Bremskraftverstärker mit Bremsassistent-Magnetventil.

Bremsassistent
→ S. 448

Arbeitsaufträge

1. Was sind die Unterschiede und Gemeinsamkeiten eines 3-Kanal- bzw. 4-Kanal-ABS?
2. Erläutern Sie die Phasen der Bremsdruckmodulation bei einer ABS-Regelung.
3. Beschreiben Sie die Bremsdruckmodulation bei einem System mit 3/3-Magnetventilen und mit 2/2-Magnetventilen.
4. Wodurch unterscheiden sich beim ABS offene und geschlossene Systeme?
5. Überlegen Sie sich verschiedene Situationen, bei denen eine elektronische Bremskraftverteilung sinnvoll ist.
6. Welche Möglichkeiten des Eingriffes hat eine Antriebsschlupf-Regelung?
7. Welche Magnetventile im Hydraulikkreislauf von Bild 38.9 (S. 576) müssen für einen Bremseneingriff bestromt werden, wenn das Rad hinten links durchdreht?
8. Welche Funktionen bietet die Fahrdynamik-Regelung?
9. Sammeln Sie die verschiedenen Bezeichnungen und Abkürzungen, die für die Antriebsschlupf-Regelung und für die Fahrdynamik-Regelung von den verschiedenen Herstellern verwendet werden.
10. Erklären Sie mit den Beispielen in Bild 38.14 (S. 581) den Eingriff der Fahrdynamikregelung. Welche Magnetventile in Bild 38.13 (S. 580) werden dabei geschaltet und wie baut sich der Bremsdruck auf?
11. Wozu dient der Bremsassistent und welche Möglichkeiten dafür gibt es?

Abkürzungen und (englische) Fachbegriffe

Abkürzung, Begriff

ABC, active body control
 ABS
 AC, Alu casting
 ACC, adaptive cruise control
 Acknowledge
 Advanced key

 ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line

 Airbag

 ALU, Arithmetic Logic Unit

 ANSI, American National Standards Institute

 API, American Petroleum Institute
 Aquaplaning

 Arbitration (Field)
 ASCII, American Standard Code for
 Information Interchange
 Assembler, (to assemble)

 ATF, Automatic Transmission Fluids
 AW, Alu wrought material

 Bake-Hardening(-Blech)
 Bias belted
 BIOS, Basic Input Output System

 Bit, Binary Digit

 Blow-by
 Body
 Booten, (to boot)
 Bremsfading

 Bypass
 Byte

 Cache
 CAN, Controller Area Network
 CARB-Stecker (California Air Resources Board)

 Catch-Tank
 CBS, Combination Braking System

Übersetzung, sinngemäße Übertragung

aktive Fahrwerkskontrolle
 Anti-Blockier-System
 Aluminium-Gusslegierung
 adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung
 Anerkennung, Bestätigung
 weiterentwickelter Schlüssel,
 Komfortzugang zum Fahrzeug
 asymmetrische (= Informationsaustausch
 in einer Richtung schneller) digitale
 Anschlussleitung
 (aufblasbarer) Luftsack, passive Sicherheit
 für Kfz-Insassen
 arithmetische Logikeinheit, Rechenwerk,
 Funktionsblock eines Prozessors
 Amerikanisches Institut für nationale Standards
 (Normung)
 Amerikanisches Erdölinstitut
 Aufschwimmen des Reifens auf einem
 Wasserfilm (z. B. bei nasser Fahrbahn durch
 hohe Fahrgeschwindigkeit)
 Entscheidung (-sfeld)
 Amerikanischer Standardcode für
 Informationsaustausch
 Zusammenfügen, -bauen;
 maschinenorientierte Programmiersprache
 Automatikgetriebeöle
 Aluminium-Knetlegierung

 Bleche, die durch „Backen gehärtet“ wurden
 Diagonal-Gürtelreifen
 Systemprogramm des Computers, das
 unmittelbar nach dem Einschalten abläuft
 kleinste Informationseinheit mit den Werten
 1 und 0
 Gasdurchtritt bei undichten Brennräumen
 (amerikanisch für) Karosserie
 Laden des Betriebssystems eines Rechners
 Bremsschwund, -verlust, Nachlassen der
 Bremswirkung
 Parallelleitung, -strecke, Umleitung
 Zusammenfassung von 8 Bit, dadurch können
 256 Zeichen dargestellt werden

 Zwischenspeicher für Daten und Programme
 besondere Art eines Bussystems
 Diagnosestecker für abgasrelevante
 Baugruppen (benannt nach kalifornischen
 Abgasnormen)
 Tank(-teil) der immer geflutet ist, Schwalltopf
 Kombi-Bremssystem

Abkürzung, Begriff

Chatten, (to chat)
CIH, Camshaft in Head
Closed-Deck
CoC, Certificate of Conformity
Code
codieren, decodieren
Coils
Common-Rail
Compiler
CPU, Central Processing Unit

Cracken, (to crack)

Crash
CU, Control Unit
CVT, Continuous Variable Transmission
Cyclic Redundancy Check

Data-Frame
Diffusion, diffundieren

DIN
Display
DOHC, Double Overhead Camshaft
DOS, Disk Operation System
DOT, Department of Transportation
Dozer
DSL, Digital Subscriber Line

E-Gas
ECE, Economic Commission Europe
EDC, Electronic Diesel Control
EEPROM, Electrically Erasable Programmable
Read Only Memory
Emission

EMV
EOBD
ESP
ETRTO, European Tyre and Rim
Technical Organisation

Field
Fuel-Cell
FWD, Four Wheel Drive

Übersetzung, sinngemäße Übertragung

Plaudern, Austauschen
(insbesondere über das Internet)
Nockenwelle im Zylinderkopf
eingelassen
geschlossene Gestaltung der Zylinderblock-
oberseite
EU-Übereinstimmungsbescheinigung;
Fahrzeugpapiere
Vorschrift für die Darstellung von
Informationen
verschlüsseln, entschlüsseln
Rollen, aufgewickelte Bleche
gemeinsames Verteilerrohr
Umwandlungsprogramm in Maschinensprache
zentrale Recheneinheit, Prozessor eines
Computers
brechen, zerbrechen, aufspalten
(von Molekülen bei der Erdölraffinierung)
Zusammenprall, Zusammenbruch
Kontrolleinheit
stufenloses Übersetzungsgetriebe
zyklische Redundanzprüfung für Fehler-
korrekturverfahren

Datenrahmen
hindurchtreten, ausbreiten, z. B. beidseitig
einer Membran
Deutsches Institut für Normung
Anzeige, Anzeigegerät, -einheit
doppelte obenliegende Nockenwelle
Disketten-(Platten-)Betriebssystem
US-amerikanisches Verkehrsministerium
Ziehbalken (nach der amerikanischen Firma)
digitale Anschlussleitung

elektronisches Gaspedal
UN-Wirtschaftskommission für Europa
elektronische Dieselregelung
elektrisch löscht- und programmierbare
Festwertspeicher
Aussenden, Absondern von ...
(z. B. Umweltgiften)
elektromagnetische Verträglichkeit
europäische On Board Diagnose (s. dort)
elektronisches Stabilitätsprogramm
Europäische Organisation zur Erfassung
von Reifen und Felgen

Feld (z. B. Datenfeld)
Brennstoffzelle
Vierradantrieb

Abkürzung, Begriff

Gateway

GPS, Global Positioning System

Gyrometer

HA

Handling, (to handle)

HTHS-Viskosität, High Temperature High Speed-

Hump

Hybrid-Auto, -Schaltung, -Technik

Immission

inert

Injektion

Inline-Pumpe

Input, Output

Interface

IP, Internet Protocol

ISDN, Integrated Service Digital Network

Jetronic (Kunstwort)

Joystick

LAN, Local Area Network

LCD, Liquid Crystal Display

LED, Light Emitting Diode

LI, Load Index

LRD, Load-Responses-Drive-Funktion

LRS, Load-Responses-Start-Funktion

Mainbord

Map Matching

Matchen, (to match)

Mikrofiche

MIL, malfunction indicator light

Modem (Kunstwort aus Modulator und Demodulator)

Monitor

Motherboard

MOZ

Multi-Master

Multipoint Injektion

NTC, Negative Temperature Coefficient

Übersetzung, sinngemäße Übertragung

Verbindungsstelle zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Netzwerken

weltweites satellitengestütztes Ortungssystem

Tourenschreiber, Drehgeschwindigkeitsmesser

Hinterachse

Handhabung, wie etwas gehandhabt wird

Viskositätsangabe für Öle für hohe Geschwindigkeiten und Drehzahlen

Höcker, Buckel (in einer Felge)

hybrid (griech.): zusammengesetzt, gemischt, gekreuzt

Einwirkung (z. B. von Umweltgiften auf Lebewesen)

träge, nicht reaktionsfähig

Einspritzung

Pumpe in der Kraftstoffleitung zwischen Tank und Motor

Eingang, Ausgang (-sgrößen)

Schnittstelle

Internetprotokoll

digitales Netz für integrierte Dienste

elektronische Benzineinspritzung

Steuerknüppel, Eingabemöglichkeit für Computer

lokales Netzwerk

Flüssigkristallanzeige

Licht aussendende Diode

Lastzahlindex

Regelungen bei Multifunktionsreglern (Spannungsreglern)

Hauptplatine eines Computers, siehe Motherboard

Planabgleich, Vergleich mit vorgegebenen Daten

Unwuchtausgleich eines Teils durch ein zweites Teil, z. B. Rad und Reifen

Folie mit stark verkleinerten Abbildungen für Lesegeräte, Mikrofilm

Störungsanzeigelicht (bei EOBD)

Signalumsetzer für die Datenübertragung

Bildschirm

Hauptplatine eines Computers

Motoroktanzahl

gleichberechtigte Funktionen (z. B. bei Steuergeräten)

Mehrpunkt-(Einzel-)Einspritzung

Widerstand, der mit steigender Temperatur sinkenden Widerstand aufweist

Abkürzung, Begriff

OBD, On Board Diagnose

OHC, Overhead Camshaft

OHV, Overhead Valves

Online

Open-Deck

OT

PCU, Pump Control Unit

PDE

PEM, Proton Exchange Membrane

Plotter

Ply-rating (PR)

Printer, (to print)

Provider

PTC, Positive Temperature Coefficient

PVD, Physical Vapor Deposition

RAM, Random Access Memory

RDKS

RDS, Radio Data System

Recycling

regroovable

Remote (Control)

Research-OZ

Ressourcen

Retarder

ROM, Read Only Memory

Rootskompressor, -gebläse

ROZ, Research Oktanzahl

Run flat

SAE, Society of Automotive Engineers

Scanner, (to scan)

SCR, selective catalytic reduction

SI, Speed Index

Side facing inwards

Singlepoint

Splitter

SRS, Supplement Restraint System

SST, self supporting tire

Übersetzung, sinngemäße Übertragung

Feststellung von Fehlern im elektronischen

Motormanagement im Kfz

obenliegende Nockenwelle

hängende Ventile

angeschlossen, mit Datenverbindung

offene Gestaltung der Zylinderblockoberseite

oberer Totpunkt

Pumpensteuergerät

Pumpe-Düse-Element

Membran zum richtungsgebundenen Durchlass
von Wasserstoffionen (Protonen)

computergesteuertes Zeichengerät

Lagen in einem Gürtelreifen (Gewebeeinbau)

Drucker, drucken

Anbieter von Leistungen, insbes. Zugang
zum Internet

Widerstand, der mit steigender Temperatur
ansteigt

(physikalische) Abscheidung aus der
Dampfphase

flüchtiger Schreib-, Lesespeicher, Arbeits-
speicher

elektronisches Reifendruckkontrollsystem

Übertragungssystem von Daten per Radio

Wiederverwenden, -verwerten, weiter-
verwenden

nachschneidbar (bei Reifen)

entfernt, mittelbar, Fernbedienung

Prüf-(Untersuchungs-)Oktanzahl

Vorräte, vorhandene Reserven

Verzögerer

Festwertspeicher

spezieller Kompressor, spezielles Gebläse
(Flügelpumpe)

Prüf-(Untersuchungs-)Oktanzahl

Notlaufeigenschaften von Reifen

Vereinigung amerikanischer Automobil-
Ingenieure

Sucher, absuchen, Bildabtaster

selektive (ausgewählte) katalytische Reduktion
(No_x -Reduktion bei Diesel-Katalysator)

Geschwindigkeitsindex

(nach innen zeigende) Reifenseite

Einpunkt-(Einzel-)Einspritzung

trennt Telefonsignale (Sprache) von
DSL-Signalen (Daten)

zusätzliches Sicherheits-Rückhaltesystem
selbst abstützende Reifen

Abkürzung, Begriff

Streamer

SV, Side Valves

Tailored Blanks

TCP, Transmission Control Protocol

TCS, Traction Control System

THZ

TMC, Traffic Message Channel

to identify

Torsen (Kunstwort aus: Torque sensing)

Touch-Screen

Traction

Transponder

Traversen

Tube-type

tubeless

Tuning

TWI, Treat Wear Indicator

Upside-Down (Gabel)

URL, Uniform Resource Locator

USB, Universal Serial Bus

UT

Utilities

VA

Valvetronic (Kunstwort aus Valve und
electronical)

virtuell

VTG, Variable Transmission Gear(-box)

WAN, Wide Area Network

Wash-Coat-Schicht

Web-Cam

Word

WUC, warm up cycles

Übersetzung, sinngemäße Übertragung

Bandgerät zum Speichern großer Daten-
mengen (Sichern)

seitlich angeordnete Ventile,seiten-
(unten-)gesteuert

„maßgeschneidertes“ Halbzeug

Übertragungsprotokoll des Internets

Antriebskontrollsystem

Tandemhauptzylinder

Verkehrsnachrichtenkanal

erkennen, identifizieren

drehmomentführend

Bildschirm mit Berührungseingabe

Antriebskraftübertragung (wörtlich: ziehen)

Baugruppe, die einen Code nach Abfrage
bestätigt; Kunstwort aus Transmitter =
Messumformer und Responder =
Antwortgeber

Querverbindungen, Verbindungsstreben

mit Schlauch ausgerüsteter Reifen

schlauchlos (bei Reifen)

Abstimmen, verbessernd eingreifen

Reifenabnutzungskennzahl

das Unterste zu oberst; beim Kraftrad

Wechsel des Trag- und Gleitrohrs von oben
nach unten

(genaue) Internetadresse,

z. B. www.handwerk-technik.de

serielle Datenleitung (für Mehrfachanschluss)

unterer Totpunkt

„Nützlichkeiten“, kleine Hilfsprogramme

z. B. zum Beheben von Fehlern

Vorderachse

elektronisch gesteuerte Ventile

scheinbar

Automatikgetriebe

(welt-)weites Netzwerk

(im übertragenen Sinn:) beim Katalysator
zerklüftete Außenseite der Keramik als
Träger der katalytisch aktiven Schicht

„Internet“-Kamera zur Bildübertragung

Wort, synonyme Bezeichnung für Text-
verarbeitungsprogramm

Aufwärmzyklen (bei EOBD)

Sachwortverzeichnis

- 42-Volt-Netz 518
- A/D-Wandler 143
- Abbiegelicht 528
- Abblendlicht 526
- Abblendscheinwerfer 524
- ABC-Federung 414
- Abfallklassifizierung 28
- Abgasanlage 237, 287 ff.
- Abgasbestandteile des
Ottomotors 289
- Abgasrückführung 225
- Abgasturbolader 222 f.
- Abgasvermeidung 289
- Abgasvorschriften 297
- Ablaufsteuerung 146
- Abmaße 56
- Abregeldrehzahl 246
- ABS 569 ff.
- Absorption 288
- ABS-Regelung (Ablauf) 572, 574
- Abwasser 28
- ACC-Sensor 550
- ACEA 316
- Acetylen-Sauerstoff-Flamme 80
- Achseinstellwerte 389, 395
- Achsgetriebe 369
- Achslastverteilungen 384
- Achsschenkellenkung 428
- Achsvermessungsanlage 394
- Achsversatz 395
- Achswelle 378
- Ack Field 538
- Active Body Control 414
- adaptive Fahrgeschwindigkeits-
regelung 550
- adaptives Dämpfungssystem 414
- AdBlue 296
- Additive 209, 315
- Adhäsionskraft 35
- ADSL 172
- advanced key 560
- Aggregatzustände 36
- Airbags 563 f.
- Airbagauslösung 565
- Airbags (Einbau) 567
- Akkumulator 103
- aktives Fahrwerk 414
- Aktivkohlebehälter 214
- Aktivlenkung 433 f.
- Aktoren 144
- Akzeptanzprüfung (CAN-Bus) 537
- ALB-Regler 466
- Allradantrieb 385 f.
- Allradlenksysteme 434
- alternative Fahrzeugantriebe 205
- alternative Kraftstoffe 210
- Altlasten 29
- Aluminium 490
- Aluminiumlegierungen 51
- Ampère 90
- analog 143
- Analog/Binär-Wandler 144
- analoge Messgeräte 93, 127
- Anbaugruppen einer
Rohkarosserie 487
- Anhängerbremsanlage 469
- Anhänger-Zugmaschine 483
- Anker 520, 523
- Anreißen 57
- Ansaugrohr 222
- Anschlusspläne 135 f.
- ANSI-Zeichensatz 163 f.
- Anti-Blockier-System 569 ff.
- Antioxidantien 315
- Antischaumwirkstoffe 315
- Antriebe von Krafträdern 386
- Antriebsschlupf-Regelung 576 ff.
- Antriebssysteme
(Anforderungen) 382
- Aquaplaning 421
- Aramid 358
- Aräometer 515
- Arbeiten an elektrischen
Anlagen 111
- Arbeitsdiagramm 176
- Arbeitsspiel 174
- Arbeitstechniken 23
- Arbitration Field 537
- ASCII-Zeichensatz 163 f.
- astabile Kippschaltung 126
- asymmetrische Lichtverteilung 527
- ATF-Öle 317
- atmosphärischer Druck 148
- Atommodell 88
- AU (Abgasuntersuchung) 301 f.
- Aufbohren 69
- Aufladevorgang eines
Kondensators 105
- Aufladung 222
- Auflaufbremse 437
- Ausbeulhammer 499
- Ausgabegeräte 165
- Ausgleichsgetriebe 370 f.
- Ausgleichssperren 371 ff.
- Ausgleichswellen 192
- Ausparkhilfe 553
- Auspuffklappenbremse 473
- Auspuffkrümmer 291
- Ausrückgabel (-lager) 325
- Außengelenk 379
- Außengewinde 67 f.
- Außenspiegel 544
- Außenzahnradpumpe 313
- Austrennen 500
- automatische Getriebe
(Einteilung) 346
- automatisches Sperrdifferenzial 374
- automatisierte Schaltgetriebe 346 f.
- Axialkolbenpumpe 249
- Axialkolben-Verteiler-
einspritzpumpe 247
- Axiallager 187
- Bake-hardening-Bleche 489
- Bandbremse 357
- Bandräder 417
- Bar 148
- BASIC 169
- Basis (Transistor) 119 f.
- Basiseinheiten 53 f.
- Batterie 512 ff.
- Baud 535
- Baumstruktur 535
- Beanspruchungsarten 35
- Befestigungsschrauben 76
- Beifahrerairbag 564
- Belagfederung 326
- Benzindirekteinspritzung 235 f.
- Benzineinspritzung 229 ff.
- Bereichsgruppengetriebe 343
- Bereifungsstandard 423
- Betriebsbremsanlage 460
- Betriebsbremse am Kraftrad 438
- Betriebsbremse 468
- Betriebsbremsventil 465
- Betriebssystem 168
- Bewegungsmöglichkeiten
(Fahrzeug) 388
- Bewegungsschrauben 76
- Bidruckpumpe 556
- Biegeumformen 62
- Bildzeichen (analoge Messgeräte) 128

- binär 143
- bipolare Transistoren 119
- Bit 162, 535
- Blattfedern 406
- Blechbearbeitungsverfahren 63
- Blockdiagramm, -schaltplan 135
- Bluetooth 536, 539
- Bodengruppe 486
- Bodenrahmen-Richtanlage 496 f.
- Bohr'sches Atommodell 88
- Bohren 68
- Bolzen 79
- Bördeln 63
- Bordnetz 516 f.
- Borg-Warner 338
- Boxer-Motor 175
- Brainstorming 23
- Brandschutzzeichen 26
- Breitbandsonde 293 f.
- Bremsanlage 458
- Bremsassistentfunktion 581
- Bremsbacken 451
- Bremsbelag-Verschleißanzeige 453
- Bremsdruckmodulation 570
- Bremsdruckregelung 569
- Bremsdruckverlauf 449 f.
- Bremsen (Auslegung) 479
- Bremsen (mit Fuß und Hand) 457
- Bremseneingriff 577
- Bremsenkennwerte 451
- Bremsflüssigkeit 441
- Bremskraftbegrenzer 449
- Bremskrafterzeugung 453
- Bremskraftregler 449, 466
- Bremskraftübertragung 449
- Bremskraftverstärker 446, 448, 581
- Bremskraftverteilung 449, 575
- Bremskreisaufteilung 442 f.
- Bremsleuchte 525
- Bremsprüfstand 480
- Bremsscheiben 453
- Bremsvorgang 440
- Bremsweg 439
- Brennbarkeit 38
- Brennstoffzelle 204
- Brückenschaltung 95 f.
- B-Säulen (Rohkarosserie) 486
- BügelMESSschraube 56
- Bus 533
- Busabschluss 537
- Busstrukturen 534
- Bussysteme 535, 540
- Bustopologie 540
- Byte 162
- Byteflight 536
- CAN-Bussysteme 535 f., 537 f.
- CARB-Stecker 298
- CBS-System (Kraftradbremse) 457
- Cetanzahl 208
- chemische Korrosion 37
- Chip 125
- Closed-Deck-Ausführung 182
- CMOS-Transistor 123
- CoC 16
- Codierung 164
- Common-Rail-Einspritzsystem 252 f.
- Control Field 538
- Coupé 483
- Cracken 207
- Crawler 343
- CRC Field 538
- CVT 364
- D2B optical 536
- Dach 486
- Dachantriebe 543
- Dämpfungskennlinien 413
- Dämpfungsverfahren (Schalldämpfer) 288
- Darlington-Schaltung 122
- Data Field 538
- Datenbussysteme 536
- Dauerbremsanlage (Ausführungen) 473
- Dauerbremsanlage 460
- Dauermagnete 98
- Dauerschwingversuch 46
- Dauerstrombelastung 107
- Decklackierung 502
- degressive Kennlinie 405
- Dehngrenze 46
- Dehnschraube 79
- Depositmodifier 209
- Destillation 207
- Detektionsbereich 550, 560
- Detergens 315
- Dezimalsystem 163
- Diagonal-Gürtelreifen 422
- Dichte 34
- Dichtungsschrauben 76
- Diebstahlschutz 555
- Diebstahlwarnanlage 561
- Diesel-Katalysator 295
- Dieselmotorkraftstoff 208 f.
- Dieselmotor 176
- Differenziale 370, 374
- Differenzialsperre 371, 375
- Differenzwinkeleinheit (Aktivlenkung) 433
- Diffundieren 83
- Digit 129
- digital 143
- Dioden 115 ff.
- Diodenprüfung 133, 134
- Direktannahme 14
- Direktantrieb 387
- Direkteinspritzung (Diesel) 240
- direkter Gang 334
- DOHC-Motor 194
- Doppelgelenk 380
- Doppel-Konus-Sperrsynchronisierung 341
- Doppelkupplungsgetriebe 366 ff.
- Doppelquerlenker-Achse 389, 398 f.
- Doppelschlussmotor 521
- Doppelzündung 276
- Dotieren 113
- DOT-Klassen 442
- Dozer 496
- Drain 120
- Drehen 69 f.
- Drehmomentverlauf 332
- Drehmomentwandler 349 f.
- Drehmomentwandlung 333
- Drehrichtungsänderung 333
- Drehschemellenkung 428
- Drehtrieberventil 432
- Drehstabfederung 399, 407
- Drehstellwerk 249
- Drehstrom 91, 506
- Drehstromgenerator 504, 506
- Drehstromspannungen 506
- Drehwiderstände 108
- Drehzahlregler 245, 249
- Drehzahlwandlung 332 f.
- Dreiecks-Ellipsoid-Reflektor 527
- Dreieckslenker 399
- Dreikanal-Oszilloskop 130
- Drei-Konus-Sperrsynchronisierung 341
- Drei-Phasen-Wechselstrom 91
- Dreizeige-Katalysator 289
- Drosselklappeneingriff 577
- Drosselklappenstellelement 549
- Drosselklappensteuerung 233
- Druck im Brennraum 178
- Druck 35, 148
- Druckluftbehälter 465

- Druckluftbremsanlage 459, 470
Druckluftherzeugung 149 f.
Druckregler 459, 463
Druckumlaufschmierung 311
Druckventile 151, 244
Dualsystem 163
Duo-Servo-Bremse 452
Duplex-Bremse 452
Durchbruchspannung 115, 262
Duomere 43 f.
Düsenhalter 243
- EBV 575
EDC 246, 249 f., 254
EDV 161
EEPROM 273
E-Gas 233
Eigenfrequenz 404
Einarmschwinge 403
Ein-Batterie-Bordnetz 516
Einbereichsöl 316
einfache Synchronisierung 338
Eingabegeräte 165
Eingebersystem 274
eingeschlossene Luft 420
eingeschlossener Winkel 391
Einklemmschutz 542
Einleitersystem 107
Einmetallkolben 186
Einparkhilfe 553
Einpresstiefe 418 f.
Einpulsschaltung 115 f.
Einrohr-Schwingungsdämpfer 413
Einrückrelais 522
Einscheibenkupplung 321 f.
Einspritzdüsen 242 f.
Einspritzpumpenelement 244
Einspritzventile 232, 242
Einspurfeder 523
Einspurgetriebe 522
Einstellwinkel 70
Einzelfunkenzündspulen 277
Einzelradaufhängungen 398, 429
Einzelzylinder 181
Eisen- und Stahlerzeugung 41
Eisengusswerkstoffe 42
Eisenmetalle 39 f.
ELAB 249
elastischer Bereich 177, 332
Elastizität 36
Elastomere 43 f.
elektrische Arbeit 97
elektrische Kapazität 105
elektrische Leistung 97
elektrische Leiter 89
elektrische Leitfähigkeit 36
elektrische Schalter 106
elektrische Spannung 90
elektrische Steuerungen 157 f.
elektrische Verbraucher 505
elektrischer Strom 98
elektrischer Stromkreis 92
elektrischer Widerstand 90 f.
elektrochemische Korrosion 38
elektrochemische Spannungsreihe 102
Elektrodenformen 279
elektrohydraulische Bremse 455
elektro-hydraulische Getriebe-
steuerung 360
elektrohydraulische Steuerung 158
Elektrolyse 101 f.
Elektromagnetismus 99
Elektromotor 205, 520 f.
Elektronenstromrichtung 92
elektronischer Bremsassistent 448
elektropneumatische Steuerung 158 f.
Elementarmagnete 98
Ellipsoidreflektor 526 f.
Emission 27
Emitter 119 f.
Emulsion 28
End of Frame 538
Energiequellen für Fahrzeug-
antriebe 203
Energieübertragung durch
Flüssigkeit 348
energieumsetzende Systeme 86
Energiewandler 92
Entladen (Batterie) 513
Entladevorgang (Kondensator) 106
Entzinkung 37
EOBD-Auslesegerät 301
EOBD-Diagnose-Stecker 298
EOBD-Funktion 299 f.
Erdgas 210
Erdöldestillation 207
Ergonomie 484
Erregerfeld 520
Erregerstromkreis 507
ETN-Nummer 514
Europäische On Board Diagnose 298
Eutektikum 182
EVA-Prinzip 161
extreme Pressure 315
Extrudieren 61
- Fahrachswinkel 395
Fahrtdiagramm 333
Fahrdynamik-Regelung 579 f.
Fahrerairbagsystem 563 f.
Fahrerinformationssysteme 551
Fahrgeschwindigkeitsregelung 549 f.
Fahrschemel 398
Fahrsicherheitssysteme 569 ff.
Fahrtrichtungsanzeige 524, 531
Fahrwerk 388 ff.
Fahrwerksvermessung 393, 395
Fahrwiderstände 332 f.
Fahrzeugdaten, -dokumente 16 ff.
Fahrzeugdiagnose 14
Fahrzeugfederung 405 f.
Fahrzeuglackierung 491, 493
Fahrzeuglängsmittlebene 390
Fahrzeugleichtbau 489
Fahrzeugschein 16
Fahrzeugsicherheit (Übersicht) 482
Fahrzeugstabilisatoren 408
Fahrzeugübergabe 19, 31
Fallbremse 438
Fallstromkühler 309
Faltdach 543
Faltenbalg 409
Falzen 63
Farad 105
faserverstärkte Kunststoffe 491
Fast-off 363
Faustsattelbremse 453
Feder- und Dämpferbeine 399
Federarten 405
Federbein-Stützlager 399
Federdämpfer 413
Feder-Dämpfer-Einheit 410
Federkennlinien 405
Federung 409 f.
Fehlercode nach SAE J2012 299
Fehlersuche mit dem Oszilloskop 286
Feilen 65
Feilhammer 499
Feldeffekt-Transistoren 122
Feldlinienverlauf 98 f.
Feldplatten 110
Felgensysteme 416 f.
FEM 489
Fensterantriebe 542
Fernbedienungssystem 559, 562
Fern-Infrarotsystem 529
Fernlicht 526
Fernscheinwerfer 524
Fersenpunkt 484

- Fertigungsverfahren 59 ff.
 Festgelenke 380
 Festigkeit 35
 Festigkeitsklassen 78
 Festkörperreibung 188 f.
 Festsattel 454
 Festsattel-Scheibenbremse 472
 Feststellbremsanlage 460
 Feststellbremse 436 f., 468, 470
 Festwiderstände 108
 fettes Gemisch 227
 Feuerverzinken 73
 Fingersonde 291 f.
 Flachbettfelgen 418
 Flächenkorrosion 37
 Flachrippenkühler 309
 Flammfrontgeschwindigkeit 227
 Flammkerze 242
 Flammpunkt 38
 Flattern 404
 Fliehkraftkupplung 321
 Fliehkraftregler 356
 Fliehkraftversteller 268
 Fließverbesserer 209
 Flip-Flop 127
 Flottenverbrauch 205
 Flüssigkeitsdruck 154
 Flüssigkeitskühlung 304
 Flüssigkeitsreibung 189
 Flussmittel 83
 Formtoleranzen 54 f.
 FORTTRAN 169
 Fotodiode 119
 Fotoelemente 110, 119
 Föttinger-Kupplung 321
 Fräsen 70
 Fräswerkzeuge 71
 Freiformreflektor 526
 Freiheitsgrade 389, 404
 Freilauf 350, 358, 523
 Freilaufdiode 117
 Freiwinkel 70
 Fremdkraftbremsanlage 459 f.
 Frequenz 91
 Frontalkräfte 488
 Frontantrieb 379
 Frontschäden 499
 Fuel-Cell 204
 Füllungsart 174
 Füllungsgrad 174
 Fünfgang-Schaltklauengetriebe 335
 Fünf-Lochdüse 243
 Funkenlage 281
 Funkenstrecke 281
 Funktionsprüfung einer Diode 133
 Funktionsschaltpläne 545
 Funktionstabelle 146
 Fußbremse 457
 galvanisches Element 102
 Galvanisieren 73
 Gasdruckdämpfer 413
 Gasentladungslampe 100, 525, 530
 Gasfederung 409
 Gasgeneratoren 566
 Gasschmelzschweißen 80
 Gasungsspannung 514
 Gaswechsel 174
 Gaswechselsysteme 201 f.
 Gate 120
 Gateway 535
 Geberzylinder 439
 Gefahrstoffe 29
 gefederte Masse 405
 Gegenhalter 500
 Gelenkgetriebe 542
 Gelenkwellen im Antriebsstrang 378
 Gemischbildung 174
 Generator 505, 510
 Generatorprinzip 102
 Generatorstromkreis 507
 geometrische Fahrachse 390
 Geräteanschlussziffern (Druck-
 regler) 459
 Gesamtvorspurwinkel 392
 Geschwindigkeits-Indizes 425
 gestufter Tandem-Hauptzylinder 446
 Getriebeöle 317
 Getriebesteuergerät 361 f.
 Gewichtskraft 35
 Gewindearten 77
 Gewindebohrersatz 67
 Gewindeschneiden 66
 Gieren 388, 404
 Giermoment 579
 Giermoment-Regelung 581
 Gierratenregelung 434
 Gießbarkeit 38
 Gießen 59 f.
 Giftigkeit 38
 Gleasonverzahnung 369, 377
 gleichachsige Getriebe 336
 Gleichdruckverbrennung 176
 Gleichlauf 378
 Gleichlauf-Festgelenk 380
 Gleichlauf-Verschiebegelenk 381
 Gleichraumverbrennung 176
 Gleichrichterdiode 115
 Gleichstrom 91
 Gleichstrommotoren 520 f.
 Gleichstromspülung 201
 Gleitfunkenstrecke 281
 Gleitlager 188
 Gleitreibung 76
 Gleitreibungsarten 189
 Glühen 74
 Glühlampe 100, 525
 Glühstiftkerze 241
 Glühzeitsteuerung 241
 GPS (Global Positioning System) 552
 Grenzmaße 54
 Grundöle 315
 Grundrahmen (Richten) 497
 Gruppengetriebe 342
 Gummifedern 410
 Gürtel (Reifen) 422
 Gurtverschlussstrammer 567
 Gurtstraffer 566
 Gusseisen 42
 Haftgrenze eines Reifens 421
 Haftreibung 76
 halbautomatische Getriebe 346
 Halbleiter 90
 Halbleitertechnik 112 f.
 Haldex-Kupplung 375 f.
 Hallgeber 271 f.
 Halogenlampen 525, 530
 Handbremse 457
 Hangabtriebskraft 77
 Harnstoff 296
 Härbarkeit 38
 Härte 36
 Härten 74
 Härteprüfung 46 f.
 Hartlöten 83
 Hauptabmessungen (Pkw) 484
 Hauptstromfilter 314
 Haupttellerfeder 329
 Hauptwelle 334
 Hauptzylinder 444 f.
 Heben 388
 Heck 486
 Heckantrieb 379
 Heckmotorantrieb 384
 Heißeiter 109
 Heizungs-Klima-Aggregat 548
 Heizungsregelung 546
 Hell-Dunkel-Grenze 530

- Hertz 91
 Hexadezimalsystem 163
 hexagonal 39
 high-Signale 535
 Hilfsbremsanlage 460
 Hilfsbremsventil 468
 Hilfskraftlenkungen 431 ff.
 Hilfsrahmen 398
 Hinterradantrieb 383
 Hinterradföhrung (Motorrad) 403
 Hochachse 388, 404
 Hochdruck-Waschanlage 530
 Hochspannungs-Kondensator-
 zündung 278
 Hochzeit 487
 Höhengschlag 425
 Hohlrad 352, 354
 Homogenbetrieb 235 f.
 homokinetisch 379
 Honen 72
 HTHS-Viskosität 317
 Hubkolbenverdichter 150
 Hubraumleistung 177
 Hubschwingungen 404
 Humpausföhrungen 417
 Hupe 532
 Hybridfahrzeug 205 f.
 Hybrid-Schaltung 124
 Hybridtechnik 269
 Hydraulikkreislauf (ABS)
 571, 573, 575
 hydraulische Bremsanlage
 439, 459, 461
 hydraulische Getriebesteuerung 359 f.
 hydraulische Kraftübertragung
 (Bremsen) 440
 hydraulische Steuerung (Getriebe) 355
 hydraulische Steuerungen 154
 hydraulischer Koppler 256
 hydrodynamische Kupplung 321, 348
 hydrodynamische Schmierung 189
 Hypoidantrieb 369

 Immission 27
 Impuls-Echo-Verfahren 48
 Impulsformer 274
 Induktion 102
 Induktionsgeber 270
 Induktiv-Geber 274
 Induktivverfahren 47
 inerte Gase 81
 Infrarot-Fernbedienung 559
 Infrarot-Nachtsicht-Hilfe 528

 Injektor 255
 Innengelenk 379
 Innengewinde 67
 Innenraumüberwachung 562
 Innenseele 422
 Innenzahnradpumpe 313
 Inspektion 30 f.
 In-Tank-Pumpen 212
 integrierte Schaltungen 124
 Interferenz 288
 interkristalline Korrosion 37
 intermittierende Benzin-
 einspritzung 231 ff.
 Internet-Protokoll 171
 Ion 89
 Isolator 279
 Isolierschicht-Feldeffekt-
 Transistor 122
 Istmaß 56

 Kabriolett 483
 Kalandrieren 61
 Kältemittel 546, 548
 Kälteprüfstrom 513
 Kaltgasgenerator 566
 Kaltleiter 109
 Kamm'scher Kreis 385, 421
 Kapazität 105, 512
 Kapillarverfahren 47
 Kapillarwirkung 83
 Kardantrieb 387
 Kardanwelle 378, 380
 Karkasse 422
 Karosseriebauweisen 487
 Karosseriefertigung 485
 Karosseriereparatur 495 ff.
 Karosserieschäden (Übersicht) 495
 Karosserievermessung 496, 498
 Karosseriewerkstoffe 488 ff.
 Karosseriezusammenbau 487
 Katalysator 290
 Kegelrad 376 f.
 Kegelrad-Achsgetriebe 369
 Kegelradantrieb 386
 Kegelrad-Ausgleichsgetriebe 370
 Kegelrad-Verteilergetriebe 376
 Kegelzahnräder 194
 Keil 63 f.
 Keilriemenantrieb 386
 KE-Jetronic 229 f., 238
 Kennbuchstaben (elektrische
 Bauteile) 158
 Kenndaten eines Motors 177

 Kennfeldzündung 273
 Kennzeichenleuchte 525
 Keramik-Katalysator 290
 Kerbstifte 79
 Kettenantrieb 386
 Kettenspanner 195
 keyless go 560
 Kfz-Batterie 512
 Kick-down 363
 Kick-down-Druck 356
 Kinematik 429
 kinetische Energie 440
 Kipphebel 197
 Kippstufen 126 f.
 Klasseneinteilung der
 Kraftfahrzeuge 478
 Klebeverbindung 84 f.
 Klemmenspannung 512
 Klemmkörperfreilauf 358
 Klimaanlage 546
 Klingelbergverzahnung 369, 377
 klopfende Verbrennung 265
 Klopffestigkeit 208
 Klopfregelung 275
 Knicklenkung 428
 Knickung 35
 Kohäsionskraft 35
 Kohlenwasserstoffe 207, 290, 315
 Kolben 184 ff.
 Kolbenbauarten 185 f.
 Kolbenkühlung 186
 Kolbenringe 186
 Kolbensteuerung 202
 Kolbenzellenpumpe 212
 Kollektor 119 f.
 Kombibremsszylinder 467
 Komfortsysteme (Übersicht) 542
 Komfortzugang 560
 Kommunikation 20 ff.
 Kommutator 520
 Komplettrad 416
 Kompressoren 150, 462 f.
 Kondensator 105 f.
 Königswelle 194
 Kontaktabstand 268
 Kontaktfeuer 267
 Kontaktkorrosion 37
 kontinuierliche Benzinein-
 spritzung 229
 Körner 58
 Korrosion 37 f.
 Korrosionsschutz 492
 Korrosionsschutzzusätze 209

- Kräfte am Rad 397
- Kräfte am Reifen 420
- Kraftfahrzeugklassen 478
- Kraftradbremse 457
- Krafträder 386
- Kraftschlussgrenze 385
- Kraftstoffbehälter 211
- Kraftstoffdämpfe 214
- Kraftstoffe 207 ff.
- Kraftstofffilter 213 f.
- Kraftstoffförderpumpe 211
- Kraftstoffgewinnung 207
- Kraftstoff-Luftgemisch 227
- Kraftstoffverdampfungssystem 214
- Kreuzgelenke 379 f.
- Kriechen 349, 410
- Kristallgitter 39
- Kristallpressung 104
- Kugelgelenke 380 f., 398
- Kugellager 188
- Kugelumlaufnuten 430 f.
- Kühlerbauarten 309
- Kühlerdeckel 306
- Kühlerfrostschutzmittel 306
- Kühlmittelverteilergehäuse 307
- Kühlsystem 306, 308
- Kühlwasserthermostat 305
- Kulissen 335
- Kundengespräche 24
- Kundenzufriedenheit 12
- Kunststoffe im Pkw 494
- Kunststoffe 51
- Kupplungsbauarten 321
- Kupplungsbeläge 327
- Kupplungsbetätigung 323 ff.
- Kupplungsdruckplatte 323
- Kupplungsköpfe 469
- Kupplungsscheibe 323, 326
- Kupplungsstörungen 330
- Kupplungssysteme 327 f.
- Kurbelachse 399
- Kurbelgehäuse 181
- Kurbelwelle 191 f.
- Kurbelwellen-Ölförderpumpe 313
- Kurvenlicht 527
- Kurzhub 177
- Kurzstrecken-Funksystem 539
- labiler Fahrzustand 384
- Lackaufbau 492
- Lackieren 73
- ladedruckabhängiger Voll-
lastanschlag 250
- Ladedruckregelung 223
- Ladeluftkühlung 223
- Laden (Batterie) 513 f.
- Lagenzahl 422
- Lager 187 f.
- Lagetoleranzen 54 f.
- Lambda 227
- Lambdasonde (λ -Sonde) 291 ff.
- Lamellenbremsen 357
- Lamellenkupplung 321, 357
- Laminieren 61
- Langhub 177
- Längsachse 388, 404
- Längsdifferenziale 370
- Längslenker 397
- Längslenkerachse 399
- Längssperre 372
- Längswellen 378, 380
- Läppen 72
- Lärmemissionen 30
- Lastaufschaltung LRD 510
- Last-Index 424
- Lastkraftwagen 483
- Laststeuerung 175
- Lastwechsel 383
- Laufbuchsen 181
- Läuferwelle 506
- Laufflächen (Pkw-Reifen) 423
- LDA 250
- Leerlauf-Enddrehzahlregler 245
- Legierungen 43
- Lehren 53, 56
- Leichtmetallräder 417
- Leistungsgewicht 177
- Leiterschleifen 520
- Leiterwiderstand 90
- Leitfähigkeit 36
- Lenkachse 429
- Lenkdreieck 429
- Lenker 397
- Lenkerarten 398
- Lenkerlagerungen 398
- Lenkgestänge 429
- Lenkgetriebe 430
- Lenkradverstellung 544 f.
- Lenkrollhalbmesser (-radius) 391 f.
- Lenksäulen 434
- Lenksäulenverstellung 544
- Lenktrapez 429
- Lenkungsarten 428
- Lenkviereck 429
- Lenkwinkelsprung 428
- Leuchtdiode 119
- Leuchtstofflampe 100
- Leuchtweitenregulierung 529
- Lichtanlage 524
- Lichtstärke 54
- Lichtwellenleiter 538 f.
- Liefergrad 174, 216, 220 ff.
- Limousine 483
- LIN 536
- lineare Kennlinie 405
- lineare Struktur 534 f.
- Linearmagnet 246
- L-Jetronic 231, 238
- Lochdüsen 242
- Lochkorrosion 37
- logische Verknüpfungen 145
- lokales Netz 171
- Losgröße 485
- Löten 83
- low-Signale 535
- Lüfter (Kühlsystem) 308
- Lüfterantrieb 309
- Luftfeder-Dämpfer-Einheit 409
- Luftfederung 409
- Luftfilter 216 f.
- Luftfunkenstrecke 281
- Luftgleitfunkenstrecke 281
- Luftkühlung 310
- Luftmassenmesser 218 f.
- Luftmengenmesser 217 f.
- Luftsammler 222
- Lüftspiel (Bremsen) 452
- Lüftspiel 454
- Lufttrockner 464
- Luftverunreinigungen 29
- Luftzahl λ 227
- Lumineszenzdiode 119
- Magerbetrieb 235 f.
- mageres Gemisch 227
- Magnetfeld 99, 520
- Magnet-Hochspannungs-
Kondensatorzündung 278
- Magnetpulverkupplung 330
- Magnetventil-Injektor 255
- Magnetverfahren 47
- MAG-Schweißen 81
- manuelle Wechselgetriebe
(Einteilung) 332
- Maschinengewindebohrer 66
- Maschinensprache 169
- Maßabweichungen 56
- Masse 34, 54
- Masseelektrode 279

- ul style="list-style-type: none; padding-left: 0;">
- maßgeschneiderte Bleche 490
- Maßtoleranzen 54
- Maßverkörperungen 56
- Master 534 f.
- Matchen 426
- McPherson-Achse 399
- mechanische Bremssysteme 436
- mechanische Lader 224
- mechanische Steuerungen 147 f.
- Mehrbereichsöl 316
- Mehrkonus-Synchronisier-
einrichtungen 341
- Mehrlenkerachse 400
- Mehrscheibenkupplung 321
- Mehrzweck-Personenkraftwagen 483
- Meißel 65
- Membranfederkupplung 320 ff.
- Membransteuerung 202
- Membranverdichter 150
- Membranzylinder 467
- Mengenstellwerk 246
- Messen 53
- Messgeräte (digitale) 93, 128 f.
- Messschieber 56
- Messzelle 294
- Metall-Aktivgas-Schweißen 81
- Metallbindung 89
- Metalle 39
- Metall-Inertgas-Schweißen 81
- Metall-Katalysator 290
- Metalllagen-Dichtung 184
- Metall-Weichstoff-Dichtung 184
- Methan 210
- Methanol 205, 210
- MIG-Schweißen 81
- Mikrofiche 170
- Mikroprozessor 166
- MIL-Warnlampe 298
- Mimik 22
- Mind Map 23 f.
- Mindestabbremsung 479 f.
- Mindestdrehzahl 522
- Miniblock-Feder 406
- Mischbereifung 426
- Mitnehmer 523
- Mittелеlektrode 279
- Mittelmotorantrieb 384
- MNSFET 122
- Modem 172
- Modulierdruckgeber 356
- Molekülstrukturen 44
- Momentennachführung 328
- Mondsichelpumpe 356
- Mono-Flop 126
- monolithisch integrierte
Schaltung 124
- Montage von Reifen 426
- MOSFET 122
- MOST 536
- MOST-Bus 538
- MOST-Steuergerät 538
- Motherboard 165
- Motorbremse mit Konstant-
drossel 474 f.
- Motordrehmoment 177
- Motoren (Einteilung) 174
- Motorkühlung 304
- Motorleistung 177
- motornaher Katalysator mit
OBD-Sonde 300
- Motoröle 315
- Motorölwechsel 32
- Motorräder 403
- Motorschleppmoment-Regelung 579
- Motorschmierung 311 f.
- Motorsteuergerät 251
- Motortester 161
- Motorventil 196
- Motronic 233 f.
- MOZ 208
- Muldenkorrosion 37
- Multifunktionsregler 509
- Multi-Master-Prinzip 537
- Multiplex-System 108
- Multipoint 231
- Multipoint-Benzineinspritzung 253
- Muttern 77
- μ-Split-Bremsung 434
- Nabenverbindungen 79
- Nachlauf 393, 395
- Nachsaltgruppe 343
- Nachspur 392
- Nachstellvorrichtungen (Bremsen) 452
- Nadelbewegungsmelder 243
- Nageln 240
- Nahbereich-Infrarotsystem 529
- Nasselement 103
- Navigationsystem 551
- Nebelscheinwerfer 524
- Nebelschlussleuchten 524
- Nebenschluss-Gleichstrommotor 521
- Nebenstromfilter 314
- negativer Lenkrollhalbmesser 392
- negativer Sturz 391
- Nehmerzylinder 439
- Neigungswinkel 70
- NE-Metalle 50
- Nennkapazität 513
- Nennmaß 54
- Nennspannung (Batterie; Zelle) 512
- Netzknoten 534
- neutrales Fahrverhalten 383
- Nichteisenmetalle 42
- NICHT-Funktion 145
- Nichtleiter 89
- Nickachse 389
- Nicken 388, 404
- Nitrieren 74
- n-Leiter 113
- NMOS-Transistor 123
- Nockenform 193
- Nockenwelle 192 ff.
- Nockenwellenverstellung 195
- Nonius 56
- Normalgewinde 77
- Normaloszillogramme 134, 283 f.
- Normung von Stählen 49
- Notlaufsysteme (Reifen) 424
- NO_x-Reduktion 296
- NO_x-Sensor 294
- NO_x-Speicherkatalysator 237
- NPN-Transistor 121
- Nutzkraftwagen 483
- ODER-Funktion 145
- Öffnungswinkel 267
- Ohm 30
- Ohm'sches Gesetz 94
- Oktanzahl 208
- Ölabstreifringe 186
- Ölbadluftfilter 217
- Ölfiltersysteme 314
- Ölförderpumpen 313
- Ölnormen 317
- Ölpumpen 313, 356
- Ölwechsel 31 f.
- Omega-Kolben 240
- Omnibus 483
- ONLINE-Programmierung 485
- Open-Deck-Ausführung 182
- optische Abstandswarnung 553
- optische Datenbussysteme 538
- Organigramm eines Betriebes 13
- Oszillogramme bei Diodenfehler
des Generators 134
- Oszilloskopdarstellung einer CAN-
Bus-Datenübertragung 538
- Oszilloskope 130 f.

- Ottokraftstoff 208
- Otto-Viertaktmotor 176
- Overhead-Projektor 23
- Oxid 37

- Panhardstab 398
- Panzerung 196
- Parabelfeder 406
- paraboloidförmiger Reflektor 526
- Paralelschwinge 403
- Parallelschaltung 95
- Parkbremse 455 f.
- Parkleuchten 525
- Partikel 225, 295
- PASCAL 169
- Passfeder-Verbindung 79
- passive Sicherheit 486
- passives Sicherheitssystem 563
- PDE 257
- Pendelsattel-Scheibenbremse 472
- permanenter Allradantrieb 386
- permanentregter Gleichstrom-
motor 521
- Personenkraftwagen 483
- physikalische Stromrichtung 92
- physiologische Wirkung des
elektrischen Stromes 111
- Piezoaktor 255
- Piezoeffekt 104
- Piezo-Inline-Injektor 256
- Piezokeramik 275
- Pkw-Stabilisatoren 408
- Planarsonde 292
- Planartechnik 124
- Planetengetriebe 352
- Planetenräder 352
- Planetenradträger 354
- Planeten-Verteilergetriebe 376
- Plasmaschweißen 82
- Plastizität 36
- Plastomere 43 f.
- Plattenkondensator 105
- Play-back-Programmierung 485
- PLD 260
- p-Leiter 113
- Pleuelstange 189 f.
- PMOS-Transistor 123
- pneumatische Steuerungen 148
- pneumatische Türöffnung 153
- pneumatischer Bremskraft-
verstärker 448
- PNP-Transistor 121
- PN-Übergang 114

- Polfeld 520
- Polyaddition 44
- Poly-Ellipsoid-Reflektor 527
- Polykondensation 44
- Polymerisation 44
- Positionsgeber 246
- positiver Lenkrollhalbmesser 392
- positiver Sturz 391
- Potenzimeter 108 f.
- Pourpoint-Erniedriger 315
- Primär-Nasselement 103
- Primäroszillogramm 284
- Primärstrom 263 f.
- Primärstrombegrenzung 273
- Problemlösungsprozess 23 f.
- Profilblöcke 422
- Profillamellen (-rillen) 422
- Profilwellen 378
- Programmablaufplan 170
- Programmiersprachen 169
- Programmschalterstellung
(Getriebe) 362
- progressive Kennlinie 405
- Propan 210
- prozessgeführte Ablaufsteuerung 146
- Prüfen von Gewinden 67
- Prüfen 53
- Prüffehler 57
- Prüfverfahren 46 ff.
- Pumpe-Düse-Einspritzsysteme 258 f.
- Pumpe-Düse-Element 257
- Pumpe-Leitung-Düse 260
- Pumpensteuergerät 251
- Pumpenumlaufkühlung 305
- Pumpzelle 294
- Punktschweißen 82
- Pyrotechnik 567

- Quadrathub 177
- qualifizierter Diebstahlschutz 555
- Qualitätsnormen (Motoröle) 316
- Qualitätssicherung 13
- Quantisierungsfehler 129
- Querachse 388, 404
- Querbeschleunigung 383
- Querdifferenziale 370
- Querlenker 397
- Quersperre 372
- Querstromkühler 309
- Querstromspülung 200

- Radarsensor 550
- Radarten (Einteilung) 416
- Radaufbau 416
- Radaufhängungen (Übersicht)
397, 402
- Radaufstandspunkt 390
- Radbefestigung 418
- Radbezeichnungen 418
- Raddrehzahlfühler 569
- Radeinstellwerte 395
- Radialkolbenpumpe 255
- Radialkolben-Verteilereinspritz-
pumpe 251
- Radiallager 187
- Radialreifen 422
- Radmittelebene 390
- Radpol 389
- Radscheibe 416
- Radschüssel 416
- Radstand 390
- Radstanddifferenz 395
- Radversatz 395
- Rahmenbauweise 487
- Raildrucksensor 254
- Randschichthärten 74
- Rapsöl 210
- Rastschalter 106
- Raumlenker-Hinterachse 400
- Ravigneaux-Getriebe 353
- Readinesscode 298
- Rechtsgewinde 77
- Reflektorenbauarten 526
- Reflexion 288
- Reformer 204
- Reforming 207
- Regelglied 140
- Regelkolben 186
- Regelkreis, -strecke 140
- Regelung (Generatorspannung) 508
- Regelung 141
- Regenerationsvorgang
(Lufttrockner) 464
- Regenerieren (Diesel) 295
- Regenerieren ohne Additive 296
- Regensensor 119
- Regler in Hybridtechnik 508
- Regler in Monolithtechnik 509
- Regler 140
- Reibahlen 69
- Reibbeläge 358
- Reiben (Fertigungsverfahren) 69
- Reibungskraft 76 f.
- Reibungskupplungen 321

- Reifenabrieb 426
 Reifenbauarten 422
 Reifendruckkontrolle 425
 Reifenflanke 423
 Reifenfülldruck 423
 Reifenhaftung 421
 Reifenkennung 423
 Reifenschäden 426
 Reifenschlupf 421
 Reifenschräglaufwinkel 420
 Reifenungleichförmigkeiten 425
 Reifenverschleiß 426
 Reiheneinspritzpumpe 243 ff.
 Reihenleitung 535
 Reihenmotor 175
 Reihenschaltung 94
 Reihenschluss-Gleichstrommotor 521
 Reklamationen 25
 Relais 106
 Relaisschaltung 107
 Relaisventil mit Überlastungs-
 schutz 468
 Reparatur von Kunststoffteilen 502
 Reparaturlackierung 502
 Resonanz 404
 Retarder 475 f.
 Rettungszeichen 26
 Richtbänke 497 f.
 Richten 63
 Richtwinkelgerät 497
 Ringleitung (-netz) 534
 Ringträgerkolben 186
 Ritzel 522
 Rohkarosserie aus Aluminium-
 Profilen 490
 Rohkarosserie 486
 Rohrgasgenerator 566
 Rollachse 389
 Rollbalg 409
 Rollen 388
 Rollenbremsprüfstand 480
 Rollenfreilauf 358
 Rollenschlepphebel 197
 Rollreibung 76
 Rollzentrum 389
 Roots-Verdichter 224
 Rosten 37
 Rotorpumpe 313
 ROZ 208
 R-Punkt 484
 Rückfahrscheinwerfer 524
 Rückstandumwandler 209
 Rückstromerkennung 219
 Rückverformen 498
 ruhende Hochspannungs-
 verteilung 276
 Ruhestrom 264
 Ruhestromabschaltung 273
 Run Flat Technologie 424
 Ruß(partikel)filter 295 f.
 SAC 328
 SAE 316
 Safespule 557
 Sägen 66
 Sankey-Diagramm 304
 Satelliten 534
 Sattelzugmaschine 483
 Saugrohranlage 220
 Saugrohrdruckmessung 219
 Säulen (Rohkarosserie) 486
 Säureprüfer 515
 Schalldämpfer 288
 Schalldämpfer-Nummern-
 schlüssel 287
 Schallverfahren 48
 Schaltglieder 357
 Schaltkennlinien 361
 Schaltklauenge triebe 335
 Schaltmuffe 334
 Schaltmuffengetriebe 334 f.
 Schaltpläne 135 ff., 152, 156, 158 f.
 Schaltsaugrohre 220 ff.
 Schaltspanne 463
 Schaltventile (Automatikgetriebe) 359
 Schaltzeichen von Transistoren 120
 Schaltzeichen von Widerständen 110
 Schaltzeitpunktsteuerung 361
 Scheibenaustausch 501
 Scheibenbremsen 437, 453 f., 471 f.
 Scheibenfeder-Verbindung 79
 Scheibenräder 417
 Scheibenreparatur 501
 Scheinwerfer 525 ff.
 Scheinwerferreinigung 530
 Scherfestigkeit 64
 Scherschneiden 64
 Schichtschaltung 124
 Schieben 388, 404
 Schieberadgetriebe 334
 Schiebersteuerung 202
 Schiebervergaser 228
 Schiebewiderstände 108
 schiefe Ebene 77
 Schlauch 423
 Schleifen 71 f., 502
 Schlepphebel 197
 Schleudern 404
 Schlichten 63
 Schlichthammer 500
 Schließwinkel 267 f.
 Schließwinkelregelung und
 -steuerung 272
 Schlupf (Reifen) 421
 Schlupf 348
 Schlupf-Regelbereich (Fahrsicher-
 heitssysteme) 569
 Schmelzsicherungen 108
 Schmierfette 317
 Schmierstoffe für Schaltgetriebe 317
 Schmierung bei Zweitakt-
 motoren 312
 Schmitt-Trigger 127
 Schneckenrollenlenkungen 430 f.
 Schneideisen 67
 Schnittlinienverlauf 500
 Schnittstellen (Computer) 165 f.
 Schräglaufwinkel 382 f., 420
 Schräglenker 397
 Schräglenkerachse 400
 Schrägschulter 417
 Schrauben 77 f.
 Schraubenfederkupplung 320 f.
 Schraubenfedern 406 f.
 Schraubenpumpe 212
 Schraubensicherungen 78
 Schraubenverdichter 150
 Schraubverbindungen 76 ff.
 Schrittgeschwindigkeit 535
 Schrittmotor 521 f.
 Schub 35
 Schub-Schraubtrieb-Starter 522
 Schusskanal 240
 Schutzmaßnahmen gegen Gefahren
 des elektr. Stromes 111
 Schutzmaßnahmen 25
 Schweinwerfereinstellung 530
 Schweißbarkeit 38
 Schweißverfahren 80 ff.
 Schwerkraftprinzip 305
 Schwimmrahmensattel 454
 Schwimmsattel-Scheibenbremse 472
 Schwimmwinkel 383
 Schwinge 403
 Schwingrohraufladung 220
 Schwingungen am Fahrzeug 404
 Schwingungsdämpfer 414
 Schwingungsdämpfung 412
 Schwingungsrissskorrosion 37

- SCR-Technik 296
- Seilbremse 438
- Seilzuggetriebe 542
- Seitenschäden 499
- Seitenschlag 425
- Seitenversatz 395
- Seitenwand-Kennzeichnung (Pkw-Reifen) 424
- Sekundärlufteinblasung 291
- Sekundär-Nasselement 103
- Sekundärschilogramm 284 f.
- selbsteinstellende Kupplung 328 f.
- Selbstentladung 514
- selbsthemmende Getriebe 544
- Selbsthemmung 77
- selbstnachstellende Kupplung 324
- Selbststeuerung 385
- selbsttätig schaltende Ausgleichsperren 372
- selbsttätig sperrende Ausgleichsgetriebe 374
- selbsttragende Karosserie 486 f.
- Senken 69
- Sensoren 144
- Sensortellerfeder 329
- seriell 535
- serielle Schnittstellen 166
- Serviceberatung 14
- Servo-Bremse 452
- Servolenkung 448
- Sichelpumpe 313, 356
- Sicherheitsfahrgastzelle 486
- Sicherheitsglas 501
- Sicherheitskarosserie 488
- Sicherheitslenksäule 434
- Sicherheitssysteme (Übersicht) 542
- Sicherheitstechnik 25
- Sicherheitszeichen 26
- Sicherungen 108
- Sichtweite 524
- Sicken 63
- Siebschaltung 117
- Siedepunktkurve (R 134a) 546
- Signalanlage 531
- Signalarten 143
- Signalglieder 140, 144
- Signalhorn 532
- Signalwandler 143
- Silentblöcke 330
- Silicium 112
- Simplexbremse 452, 470 f.
- Simpson-Getriebe 354
- Singlepoint 232
- Sintern 60
- Sinterwerkstoffe 44, 51
- SI-System 53
- Sitzbelegungserkennung 563
- Sitzverstellung 543, 545
- Slaves 534
- Software 168
- Sonnenrad 352, 354
- Source 120
- Spaltkorrosion 37
- Spaltlehren 496
- Spanen 65
- Spannhammer 499
- Spannhülsen 79
- Spannung 90
- Spannungs-Dehnungs-Diagramm 46
- Spannungsmessung 131 f.
- Spannungsregler 508
- Spannungs-Sprungs-sonde 291
- Spanwinkel 70
- Speed Indices 425
- Speichenräder 417
- Speicherfunktion 545
- Speicherkatalysator 237
- Sperrdifferenzial 374
- Sperrschicht 114
- Sperrschicht-Feldeffekt-Transistor 122
- Sperrspannung 115
- Sperrstücke 338 f.
- Sperrsynchonisierung 338, 340 f.
- Sperrventile 151
- Sperrwert 371
- spezifischer elektrischer Widerstand 91
- spezifischer Kraftstoffverbrauch 177
- Spiegelverstellung 545
- Splitgruppe 342
- Spreizkeilbremse 471
- Spreizung 365, 391, 395
- Spritzversteller 246, 248
- Sprödigkeit 36
- Spulenfeld 520
- Spulenzündungen 261, 266
- Spur 392, 395
- Spurdifferenzwinkel 393, 395
- Spurpunkt 393
- Spurstange 429
- Spurweite 390
- Spurweitendifferenz 395
- stabiler Fahrzustand 384
- Stabilisatoren 408
- Stahleigenschaften 43
- Stahlerzeugung 40 f.
- Stahlfederung 406
- Stahlguss 42
- Stahlräder 417
- Stahlschubgliederband 364
- Standardbauweise 383 f.
- Standardmaße (Fahrerplatzgestaltung) 485
- Ständerwicklung 506
- Starrachsen 401, 429
- Start of Frame 537
- Startanhebung 270
- Starter (Startermotor) 522
- Startregelung LRS 510
- statische Aufladungen 104
- Staudruckbremse 473
- Steifigkeit 487
- Steilschulterfelge 417
- Stellglied 140
- Sternstruktur 534
- Steuerdiagramm (Zweitaktmotor) 200
- Steuerdiagramm 176 f.
- Steuergerätekopplung 533
- Steuerglieder 140, 144
- Steuerkette 140
- Steuerstrecke 140
- Steuerung 140 f.
- Steuerungsarten 145 f.
- Stickstoffoxide 290
- Stifte 79
- Stirnrad-Achsgetriebe 370
- Stirnrad-Verteilergetriebe 376
- Stirnwand 486
- stöchiometrisches Gemisch 227
- Stoffmenge 54
- stoffumsetzende Systeme 86
- Störgröße 140
- Störkraftthebelarm 392
- Störungen am Generator 510
- Störungen an Schaltgetrieben 344
- Strahlengang 526
- Strahlenverfahren 48
- Straßenfahrzeuge (Systematisierung) 483
- Streckgrenze 46
- Streuscheiben 527
- Stromdichte 107
- Stromdurchgang durch den menschlichen Körper 111
- strömende Flüssigkeiten 155
- Stromkreis 92
- Stromkreise eines Drehstromgenerators 507
- Stromlaufplan (Arten) 136 ff.

- Stromlaufpläne 158
- Strommessung 132
- Strommesszange 130
- Stromrichtung 92
- Stromstärke 54, 90
- Strömungsbremse 476
- Strömungskupplung 321
- Strömungsverhältnisse (Abgasanlage) 288
- Stromventile 151
- Stromverzweigungspunkt 95
- stufenlose Übersetzung 365
- stufenloses Getriebe 364 f.
- Stufenreflektor 526
- Stufensprung 364
- Sturz 391, 395
- Synchronisiereinrichtung 338
- synchronisierte Getriebe 335
- Synchronisierung 335
- Synchronring 338 ff.
- Systemaufbau 86

- Tailored Blanks 489 f.
- Takte (Arbeitsspiel) 176
- Tandem-Hauptzylinder 444 ff., 454
- Tangente 217
- Tassenstößel 197
- Tastschalter 106
- Taumelscheibenkompressor 547
- Teach-in-Programmierung 485
- technische Stromrichtung 92
- technische Systeme 86
- Teilbremssysteme 460
- Telelevergabel 403
- Telematik 552
- Teleskopgabel 403
- Teleskop-Schwingungsdämpfer 412
- Tellerrad 376 f.
- Temperatur im Brennraum 178
- Temperaturen im Motorblock 304
- Temperaturregelung 306, 308
- Temperguss 42
- Tempomat 549
- Tenside 28
- thermische Eigenschaften 36
- Thermistoren 109
- thermodynamische Temperatur 54
- Thermoelement 103
- Thermostatventil 305
- Thyristor 123
- Tiefbettfelgen 417
- Tiefziehen 61 f.
- Toleranzen 55 f.

- Topfgasgenerator 566
- Topologie 535
- Torsen-Differenzial 374, 376
- Torsion 35
- Torsiondämpfung 326
- Torx-Schrauben 78
- Totpunkt 176
- Tragsysteme 484
- Tragweite 524
- Traktion 370, 382
- Trampeln 404
- transaxle Bauweise 384
- Transformator 104
- Transformatorprinzip 102
- Transistoren 119 ff.
- Transistorentest 134
- Transistorzündungen 273
- transkristalline Korrosion 37
- Transmitterausgänge 537
- Transponder 555
- Trapezfeder 406
- Triebsatzschwinge 387
- Tripodegelenk 380
- Trockenelement 103
- Trockengelenke 381
- Trockenluftfilter 216
- Trockenreibung 189
- Trockensumpfschmierung 312
- Trommelbremse 437, 450 f., 470
- Trommelbremsen (Bauarten) 452
- Turbinen 224, 348
- Turbinenrad 350

- Überdruck 148
- Überschneidungssteuerung 363
- Übersetzungen 352
- Übersetzungsmöglichkeiten (einfacher Planetenradsatz) 353
- Übersichtsschaltplan 135
- Übersteuern 383, 581
- Übertragungsgeschwindigkeit 535
- Übertragungswege 535
- Überwachungsfunktion der DWA 561 f.
- Ultraschallfeld im Fahrzeuginnenraum 562
- Ultraschallwandler 553
- Umformbarkeit 38
- Umgang mit Abfällen 27
- Umkehrspülung 201
- Umweltschutz 27
- UND-Funktion 145
- ungefederte Masse 405

- ungleichachsige Getriebe 337
- unipolare Transistoren 122
- Unix 168
- Unterdruck-Bremskraftverstärker 446 f.
- Unterdruckversteller 268
- Unterflurmotorantrieb 384
- Untersteuern 383, 581
- untersteuerndes Fahrverhalten 428
- Unwucht 416, 425 f.
- Upside-down-Gabel 403
- USB-Schnittstelle 166

- Valenzelektronen 89
- Valvetronic 197 f.
- Varistoren 109
- Ventilausführungen einer Steuerung 151
- Ventildrehvorrichtung 196
- Ventile (Motor) 196 f.
- Ventile (Reifen) 423
- Ventilspiel 198
- Ventilspielausgleich 198
- Ventilsteuerung 192
- Ventiltrieb 197
- Ventilüberschneidung 176
- VE-Pumpe 247
- veränderbare Widerstände 108
- Verbotszeichen 26
- Verbundlenkerachse 389, 401
- Verbundsicherheitsglas 501
- Verbundwerkstoffe 44
- Verdichter 150
- Verdichtungsraum 183
- Verdichtungsringe 186
- Verdichtungsverhältnis 174
- Vereisungshemmer 209
- Vergaser 228 f., 238
- Vergleichsglied 140
- Vergüten 74
- Verknüpfungssteuerung 145
- Verlustenergie 304
- Vernetzung elektronischer Systeme 534
- Verschiebegelenk 381
- Verschleißanzeiger (TWI) 426
- Verschlussdeckel des Kühlkreislaufes 306
- Verschwemmen 502
- Verspachteln 502
- Verteilerinspritzpumpe 247 f., 250
- Verteilergetriebe 376
- Verzahnungsarten 369

- Vielfachmessgeräte 127 ff.
- Vierkreis-Schutzventil 465
- Viertaktmotor (Arbeitsweise) 179
- Visco-Kupplung 309, 373, 376
- Viskosität 316
- VI-Verbesserer 315
- V-Motor 175
- vollautomatisches Getriebe 347
- vollelektronische Zündung 276
- Volllast-Kennlinien 177
- Volt 90
- Vorderradantrieb 384 f.
- Vorderradführung (Motorrad) 403
- Vorerregerstromkreis 507
- Vorgelege 523
- Vorkammervorverfahren 240
- Vorlauf 393
- Vorschaltgruppe 342
- Vorspur 392
- VTG-Lader 224

- Wälzlager 188
- Wandler-Überbrückungs-
kupplung 350 f.
- Wankachse 389
- Wanken 388, 404
- Wärmebehandlungsverfahren 74
- Wärmeentwicklung
(Brems Scheibe) 440
- Wärmewert von Zündkerzen 280
- Warnblinkanlage 531
- Warnzeichen 26
- Washcoat-Schicht 290
- Wasserkühlung 305
- Wasserstoff 210
- Wasserstoff-Luft-Brennstoffzelle 204
- Watt 97
- Wattgestänge 398
- Wechsel-Ölfilter 314
- Wechselstrom 91
- Wegeventile 151 f.
- Wegfahrsperren 555 f., 562
- Weichlöten 83
- Weitspaltfeder 406
- Wellrippenkühler 309
- Wendekreis 428
- Werkstoffe im Kraftfahrzeug 45
- Werkstoffeigenschaften 34
- Werkstoffnormung 48 ff.
- Werkstoffnummern 50
- Werkzeugschneide 63
- Wickelkondensator 105
- Widerstand 90
- Widerstände 108
- Widerstandsmessung 133
- Widerstandsnetzwerk 95
- Widerstandspressschweißen 82
- Widerstandssprungs Sonde 293
- WIG-Schweißen 82
- Wilson-Getriebe 354
- Windows 168
- Winterdiesel 208
- Wirbelkammervorverfahren 240
- Wirbelstrombremse 475
- Wirkungsgrad 97
- Wisch-Waschanlage 530
- Wolfram-Inertgas-Schweißen 82
- WP-Schweißen 82
- Wulst 422

- Xenonlicht 525

- Zähigkeit 36
- Zahlensysteme 163
- Zahnriemenantrieb 386
- Zahnringpumpe 212
- Zahnstangenlenkung 430
- Zapfendüsen 242
- Z-Diode 118
- Zeigermessgeräte 127
- Zellenspannung 512
- Zenitlinie 422
- Zentraleinspritzung 238
- Zentralverriegelung 556 ff.
- Zentralverriegelungssysteme 559
- Zerspanbarkeit 38
- Ziehbalken 496
- Ziehkeilgetriebe 335
- Zink-Kohle-Batterien 103
- Zucken 388, 404
- Zug 35
- Zugfestigkeit 46
- Zuggeräte 496
- Zugkettenaufbau (stufenlose
Getriebe) 365
- Zugmittelantrieb 386
- Zugversuch 46
- Zulassungsbescheinigung 16 f.
- Zünd- und Einspritzausblendung 576
- Zündabstand 175, 267
- Zündfolge 175
- Zündfunke 262
- Zündgrenzen 227
- Zündimpulsgeber 270
- Zündkerzen 279
- Zündkerzengesichter 282
- Zündkondensator 267
- Zündoszillogramme 283
- Zündschalter 106
- Zündspannungsbedarf 262
- Zündspulen 262 f., 266
- Zündsysteme (Einteilung) 261
- Zündsysteme 269 f., 272
- Zündung 174, 274
- Zündunterbrecher 267
- Zündversteller 268
- Zündverteiler mit Hallgeber 271
- Zündverteiler 267
- Zündwinkel 265
- Zündwinkelkennfelder 273
- Zündwinkelrücknahme 576
- Zündwinkelverstellung 275
- Zündzeitpunkt 265
- Zustandsformen 36
- Zwei-Batterien-Bordnetz 517
- Zweifunkenzündspulen 277
- Zweigebersystem 274
- Zweikreisbremsanlage 443
- Zweikreis-Zweileitungs-
Druckluftbremsanlage 462
- Zweipulsschaltung 116 f.
- Zweirohr-Schwingungsdämpfer 412 f.
- Zweischeibenkupplung 321
- Zwei-Spannungs-Bordnetz 518
- Zweistufenfilter 217
- Zweitaktmotor 200 ff.
- Zwischengas 334
- Zwischenkuppeln 334
- Zylinder 181 f.
- Zylinderkopf 182 f., 197
- Zylinderkopfdichtung 183
- Zylinderkurbelgehäuse 181 f.
- Zylinderlaufbuchsen 181
- Zylinderlaufläche 182
- Zylindernummerierung 175
- Zylinderschrauben 78
- zylinderselektive Klopfregelung 276
- Zylinderstifte 79
- Zylinderverschleiß 182

Bildquellen

Adam Opel AG, 65423 Rüsselsheim
Aral AG, 44789 Bochum
Audi AG, 85045 Ingolstadt
Behr GmbH & Co, 70469 Stuttgart
Beissbarth GmbH, 80993 München
Blackhawk SA, F-67100 Strassbourg
BMW Bayerische Motoren Werke AG, 80788 München
Continental AG, 30165 Hannover
Continental Teves AG & Co, 60488 Frankfurt/Main
DaimlerChrysler AG, 70546 Stuttgart
Deutsche Renault AG, 50321 Brühl
Deutz AG, 51057 Köln
Dr.-Ing.h.c. F. Porsche AG, 70435 Stuttgart
Dunlop GmbH, 63450 Hanau
Eberspächer GmbH & Co KG, 73730 Esslingen
Filterwerk Mann+Hummel GmbH, 71631 Ludwigsburg
GETRAG Getriebe- und Zahnradfabrik Hermann Hagenmeyer GmbH & Cie KG,
74199 Untergruppenbach
GKN Löbro GmbH, 63073 Offenbach/Main
Haldex Traction AB, Landskrona (Schweden)
Honda Deutschland GmbH, 63069 Offenbach
ITT Automotive Europe GmbH & Co KG, 60489 Frankfurt/Main
Kleber Reifen AG, 76185 Karlsruhe
Kolbenschmidt Pierburg AG, 41460 Neuss
LuK GmbH & Co, 77815 Bühl/Baden
MAHLE GmbH, 70376 Stuttgart
Mannesmann Sachs AG, 97424 Schweinfurt
Michelin Kronprinz GmbH, 42697 Solingen
Peugeot Deutschland GmbH, 66119 Saarbrücken
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart
Rover Deutschland GmbH, 41468 Neuss
Salzgitter AG, 38239 Salzgitter
Shell & Dea Oil GmbH, 22284 Hamburg
Topham Vergasertechnik GmbH, 32351 Stemwede-Dielingen
Toyota Deutschland GmbH, 50420 Köln
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg
WABCO Westinghouse GmbH & Co, 30453 Hannover
ZF Friedrichshafen AG, 88038 Friedrichshafen
ZF Getriebe GmbH, 66117 Saarbrücken
ZF Lenksysteme GmbH, 73527 Schwäbisch Gmünd

Lernfeldkompass

Nr.	Lernfeldtitel	Zeit	Behandelt in Kapitel
1	Warten und Pflegen von Fahrzeugen oder Systemen	100 Stunden	1 Service in der Kfz-Werkstatt 23 Räder und Reifen
2	Demontieren, Instandsetzen und Montieren von fahrzeugtechnischen Baugruppen oder Systemen	80 Stunden	2 Grundlagen der Fertigung 23 Räder und Reifen 30 Rahmen – Aufbau – Karosserie
3	Prüfen und Instandsetzen elektrischer und elektronischer Systeme	80 Stunden	3 Elektrotechnik 34 Beleuchtungs- und Signalanlage
4	Prüfen und Instandsetzen von Steuerungs- und Regelungssystemen	60 Stunden	1 Service in der Kfz-Werkstatt 4 Steuerungs- und Regelungstechnik 5 Informationstechnische Grundlagen

5	Prüfen und Instandsetzen der Energieversorgungs- und Startsysteme	80 Stunden	8 Alternative Systeme 32 Energieversorgung 33 Elektromotoren und Starter 35 Bussysteme
6	Prüfen und Instandsetzen der Motormechnik	60 Stunden	6 Viertaktmotor 7 Zweitaktmotor 14 Kühl- und Schmiersysteme
7	Diagnostizieren und Instandsetzen von Motormanagementsystemen	100 Stunden	9 Kraftstoffe und Kraftstoffbereitstellung 10 Luftzufuhrsysteme 11 Gemischaufbereitung bei Verbrennungsmotoren 12 Zündsysteme 13 Abgassysteme
8	Durchführen von Service- und Instandsetzungsarbeiten an Abgassystemen	40 Stunden	1 Service in der Kfz-Werkstatt 13 Abgassysteme

	Schwerpunkte		
9 P* N* F* M*	Instandhalten von Kraftübertragungssystemen	60 Stunden	15 Kupplungen 16 Manuelle Wechselgetriebe 17 Automatische Wechselgetriebe 18 Achs-, Ausgleichs- und Verteilergetriebe 19 Gelenkwellen und Gelenke
10 P* N* F* M*	Instandhalten von Fahrwerks- und Bremssystemen	80 Stunden	20 Antriebssysteme 21 Fahrwerksgeometrie 22 Federung und Dämpfung 23 Räder und Reifen 24 Lenkung 25 Mechanische Bremssysteme 26 Hydraulische Bremssysteme 27 Pneumatische Bremssysteme (Fremdkraftbremsanlagen) 28 Dauerbremsanlage 29 Gesetzliche Bestimmungen 38 Fahrsicherheitssysteme
11 P* N* F*	Nachrüsten und Inbetriebnehmen von Zusatzsystemen	60 Stunden	1 Service in der Kfz-Werkstatt 2 Grundlagen der Fertigung 36 Komfortsysteme
12 P* N* F*	Prüfen und Instandsetzen von vernetzten Systemen	80 Stunden	3 Elektrotechnik 22 Federung und Dämpfung 35 Bussysteme 38 Fahrsicherheitssysteme
13 P* F*	Diagnostizieren und Instandsetzen von Karosserie-, Komfort- und Sicherheitssystemen	80 Stunden	30 Rahmen – Aufbau – Karosserie 31 Karosserieschäden 34 Beleuchtungs- und Signalanlage 36 Komfortsysteme 37 Sicherheitselektronik 38 Fahrsicherheitssysteme
14 P* N*	Durchführen von Service- und Instandsetzungsarbeiten für eine gesetzliche Untersuchung	60 Stunden	1 Service in der Kfz-Werkstatt 13 Abgassysteme 29 Gesetzliche Bestimmungen

*P = Personenkraftwagentchnik

*N = Nutzfahrzeugtechnik

*F = Fahrzeugkommunikationstechnik

*M = Motorradtechnik