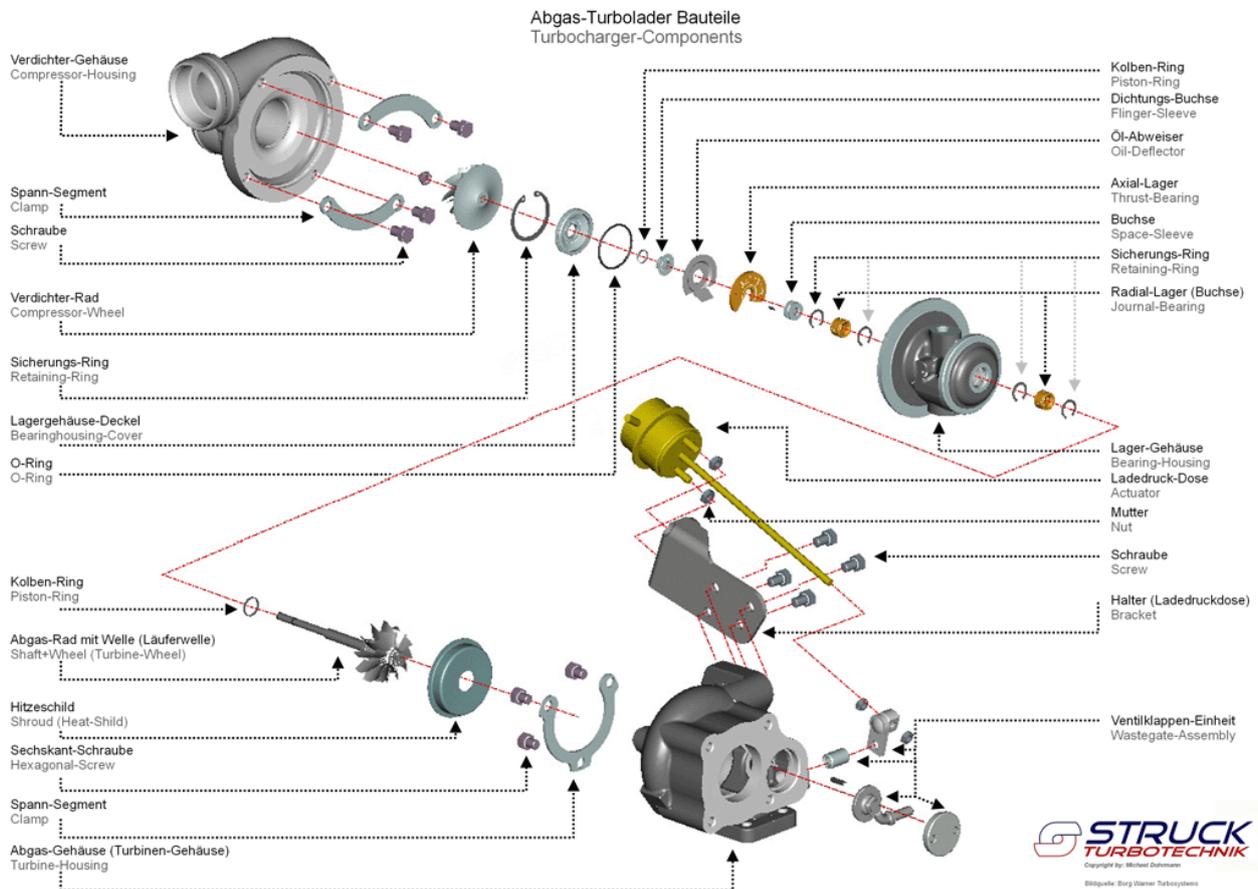


Aufladung



Inhalt

Bildungsplan	2
Hilfsmittel	2
Möglichkeiten der Leistungssteigerung	3
Leistungssteigerung durch Mehrventiltechnik und Aufladung	4
Aufladungs - Arten	6
• Fremdaufladung	6
• Dynamische Aufladung	6
Abgasturbolader «ATL» (KKK = Kühnle, Kopp + Kausch / Garrett ...)	6
Abgasturbolader	6
• Lagerung des Laufzeuges	6
• Kühlung	6
• Aufbau und Material	6
• Regelung	7
Ladedruckregelung abgasseitig (Wastegate)	8
Ladedruckregelung mit Wastegate und Umluftventil	9
Ladedruckregelung mit Variabler-Turbinen-Geometrie (VTG)	11
Gekühlte Zwangsbeatmung	12
Ladeluftkühlung (Intercooler)	13
Spezialitäten	14
• Twincharger	15
• Downsizing im Motorenbau	15
Schaltsaugrohr mit drei Längen (Registersaugrohr)	16
Lernkontrolle	17
• Weitere Kontrollfragen	20

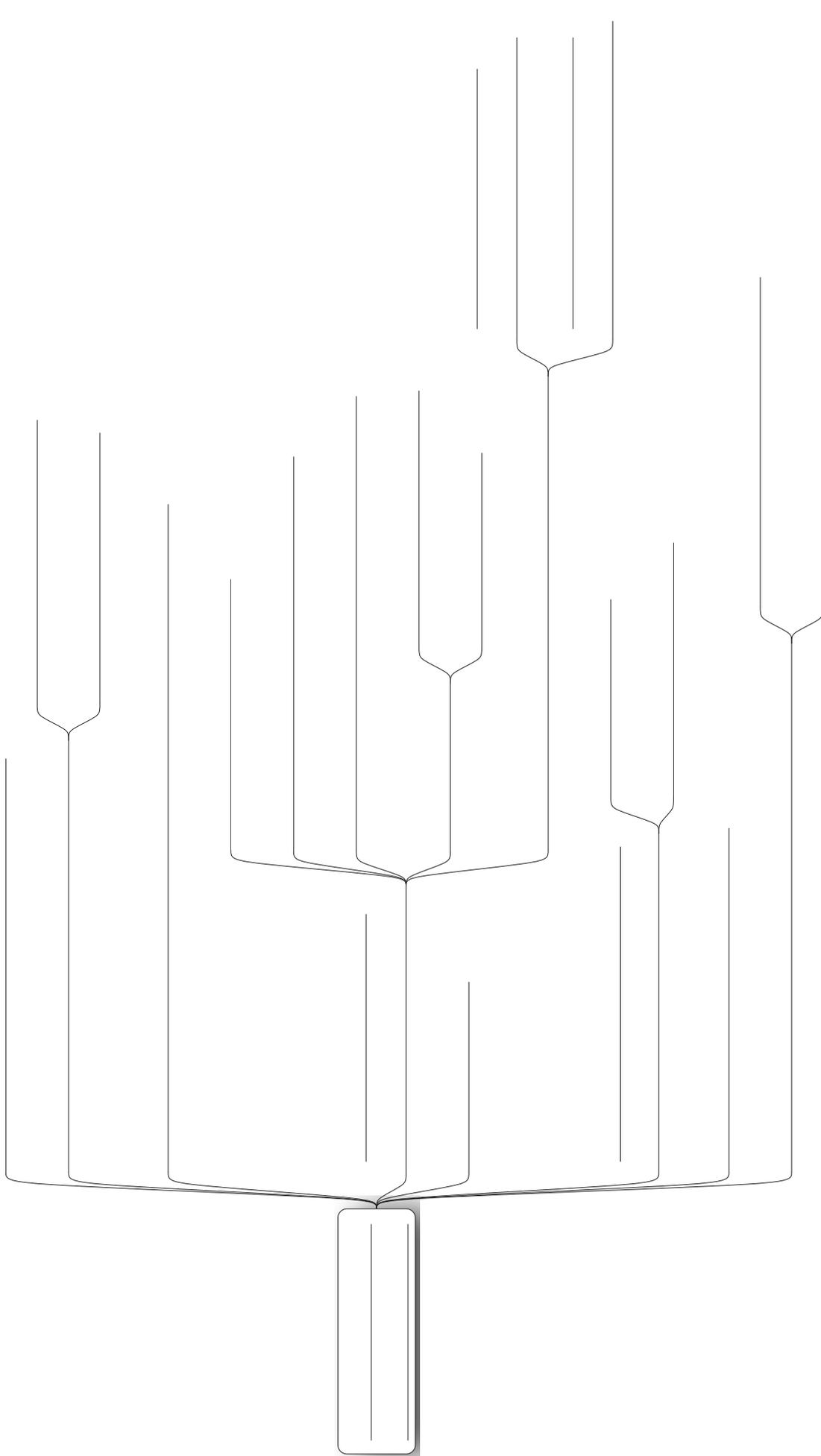
Bildungsplan

- den Aufbau und die Eigenschaften der Abgasturbo-Aufladung nennen
- die prinzipielle Wirkungsweise einer Abgasturbo-Aufladung mit Ladeluftkühlung mit Hilfe eines Schemas erklären

Hilfsmittel

- Filme
 - Abgasturbo (Aufbau)
 - ATL + Krümmer
 - TSI_de
 - Leistungssteigerung
- Poster
- SVBA-Seiten «Motor» 323 bis 328 und 339 bis 340
- http://www.struck-turbo.de/index.php?action=turbo_info
- <http://www.turbos.borgwarner.com/de/press/knowledgeLibrary.aspx>

Möglichkeiten der Leistungssteigerung



Leistungssteigerung durch Mehrventiltechnik und Aufladung

1. Im Video werden Ausschnitte aus verschiedenen Automobilsportveranstaltungen gezeigt. Um welche Motortypen handelt es sich bei den hier verwendeten Rennwagen?

2. Die Mehrventiltechnik wird von fast allen Fahrzeugherstellern serienmässig angeboten. Was bewirken mehr als zwei Ventile pro Zylinder?

3. Mit der im Video gezeigten Fünfventiltechnik werden Leistungen bis zu _____ kW pro Liter Hubraum erreicht.
4. Wann und bei welcher Art von «Fahrzeugen» kam die Vierventiltechnik schon früher zum Einsatz?

5. Was wird durch die Aufladung eines Verbrennungsmotors erreicht?

6. Was ist der Unterschied zwischen einem Saugermotor und einem Lademotor?
Sauger: _____

Lader: _____

7. Der Schweizer Alfred Büchi, der als Vater der Abgasaufladung gilt, entwickelte bereits 1905 den ersten Abgaslader. In welchem «Fahrzeug» wurde erstmals ein Verbrennungsmotor mit Abgaslader eingesetzt?

8. In Amerika wurden ab 1962 Abgasturbolader in Motorfahrzeuge eingebaut. Seit wann gibt es europäische Serienfahrzeuge mit Abgasaufladung?

9. Welche Aufgabe hat das Ladedruckregelventil?

10. Wodurch unterscheiden sich Abgaslader und mechanische Lader?

Abgaslader: _____

mechanische Lader: _____

11. Rootslander wurden bereits früher verwendet. Aber auch heute wird diese Art von Ladertyp noch gebaut. Nach welchem Prinzip arbeitet der Rootslander?

12. Durch den Einsatz eines Ladeluftkühlers wird die angesaugte Luft gekühlt. Welche Folgen hat diese Massnahme für den Motor?

Aufladungs - Arten

• **Fremdaufladung**

- Abgasturbolader (PW, LW)
- Mechanische Lader
Rootsgebläse bzw. Schraubenkompressor (MB, Jaguar, Mini, Dragster)

• **Dynamische Aufladung**

Abgasturbolader «ATL» (KKK = Kühnle, Kopp + Kausch / Garrett ...)

Gründe, die für den Abgasturbolader sprechen:

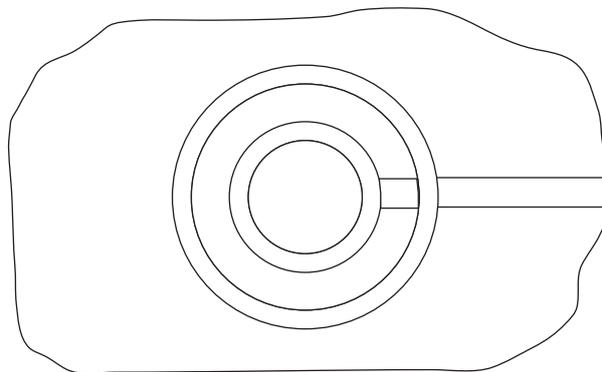
- Höhere Leistung durch bessere Füllung
- Besserer Drehmomentverlauf
- 30 % der zugeführten Energie ist im Abgas enthalten
(bis 1'000 Grad Celsius, $v > 330$ m/s)
- Motor hat besseres Leistungsgewicht (kW/kg)
- Geringerer spezifischer Verbrauch [g/kWh]
Effektiver Verbrauch steigt mit der Leistung, weil dann mehr Arbeit abverlangt wird.
- Leistungsverlust nur 1-2 % pro 1'000 m Höhenunterschied (Sauger ~ 10 %)

Abgasturbolader

Lagerung des Laufzeuges

- Schwimmende Lagerung in Gleitlager aus Bleibronze (Drehzahlen zwischen

_____)
 _____)



Kühlung

- Meist Luft und Schmieröl (Dieselmotor)
- Kühlflüssigkeit und Schmieröl (Ottomotor)

Aufbau und Material

- Turbinen-Gehäuse _____
- Turbinen-Rad _____
- Verdichter-Gehäuse _____
- Verdichter-Rad _____ Herstellung _____
- Welle _____

Regelung

Wenn der Abgasturbolader so ausgelegt wird, dass der maximale Druck bei Höchstdrehzahl nicht überschritten wird, hat der Motor in den unteren Drehzahlen ein «Turbolocho». Solche unregelmäßigen Systeme werden bei Pw-Motoren nicht mehr eingesetzt.

Wird der ATL so ausgelegt, dass er im tiefen Drehzahlbereich schon genügend Ladedruck entwickelt (leichtes Laufzeug), muss der Druck im oberen Bereich begrenzt werden.

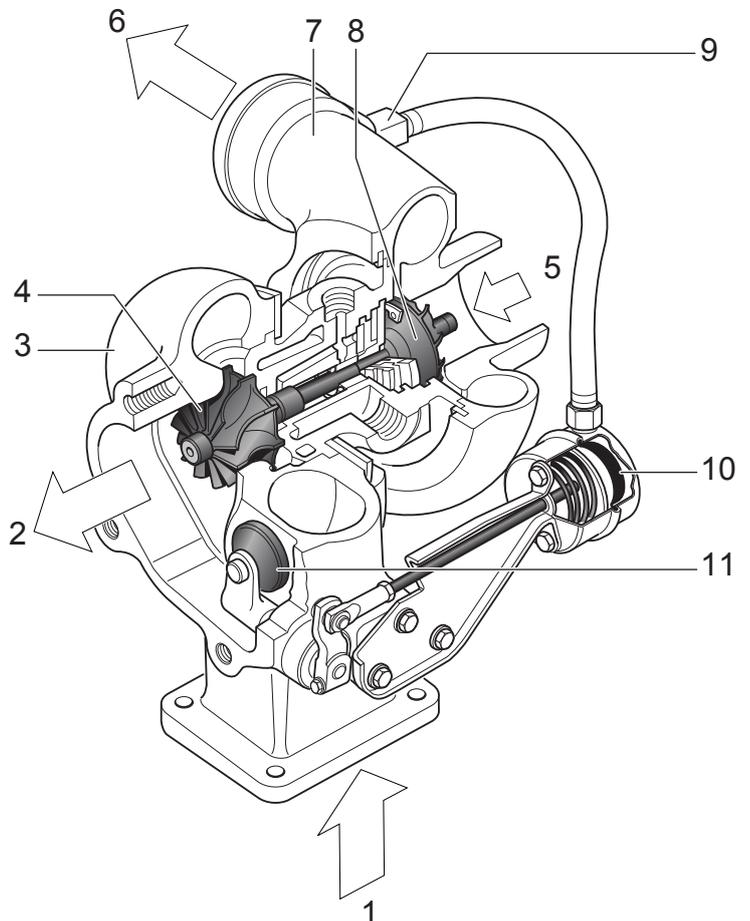
- _____
- _____
- _____

1. Vervollständigen Sie die Legende.

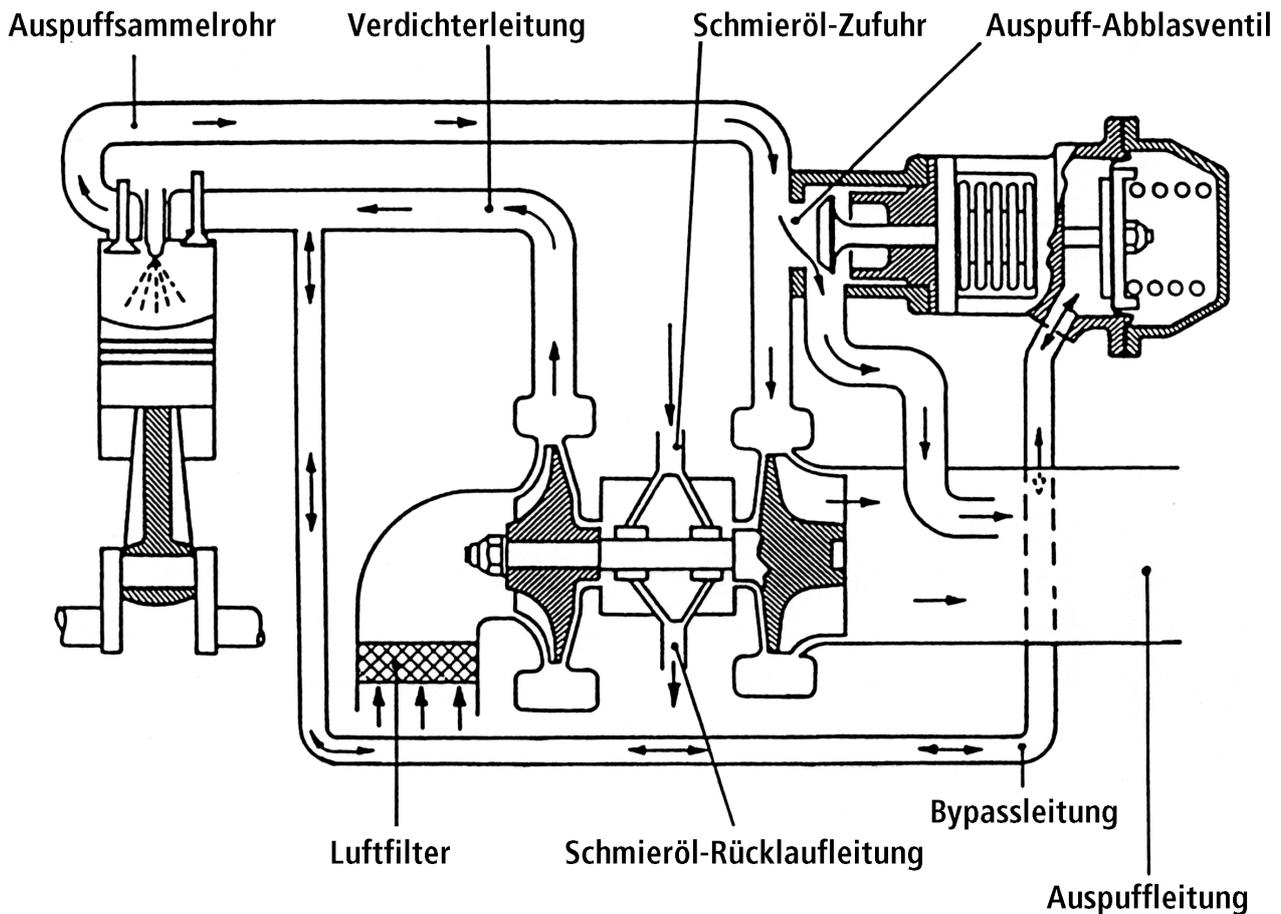
- | | |
|---------|----------|
| 1 _____ | 8 _____ |
| 2 _____ | 9 _____ |
| 3 _____ | _____ |
| 4 _____ | 10 _____ |
| 5 _____ | _____ |
| 6 _____ | 11 _____ |
| 7 _____ | _____ |

2. Färben Sie die Abgasseite rot ein.

3. Färben Sie die Ansaug- und Verdichterseite blau ein.



Ladedruckregelung abgasseitig (Wastegate)

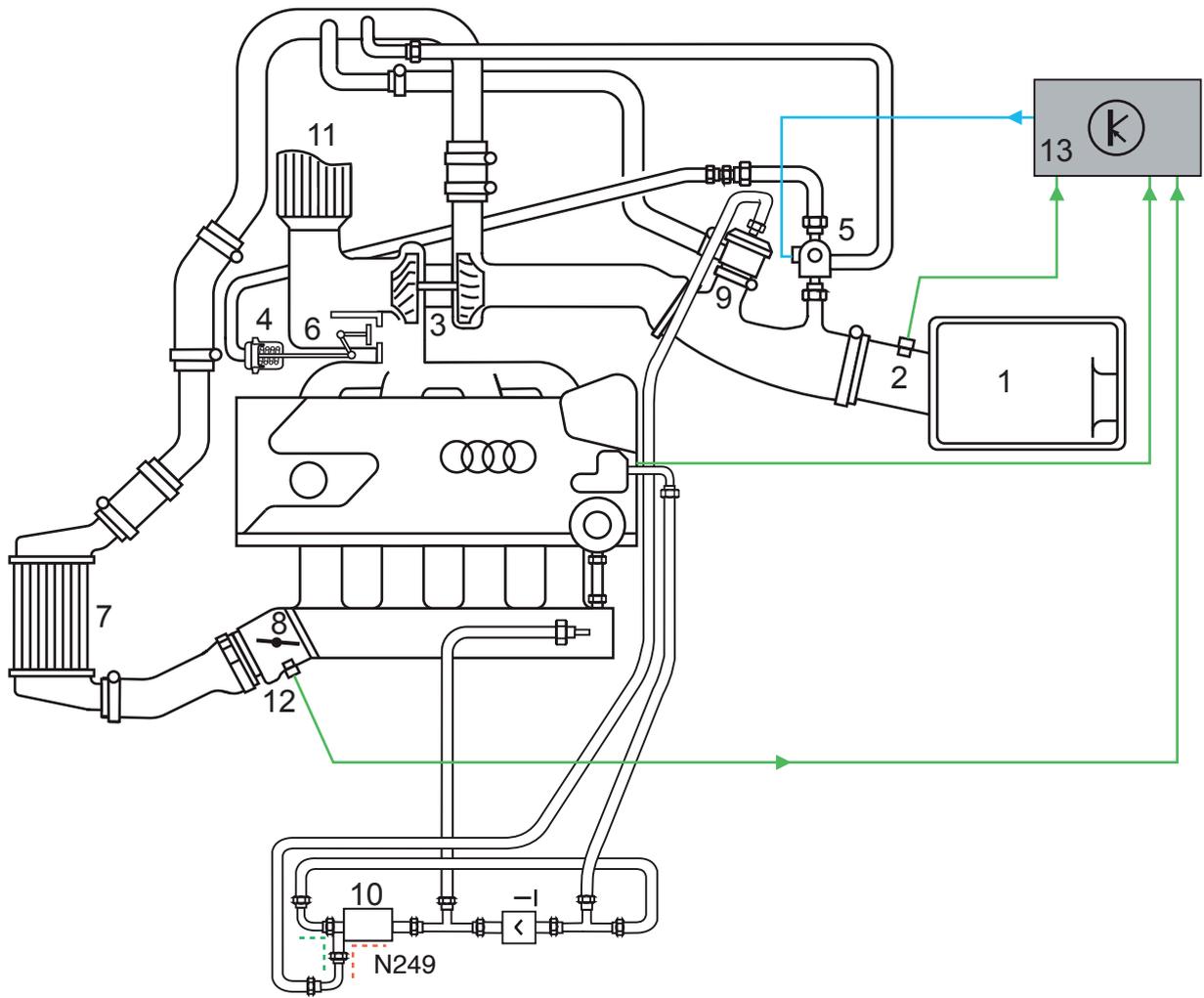


1. Malen Sie den Abgasstrom rot aus.
2. Färben Sie die Frischluft blau ein.
3. Malen Sie den Bereich des Motorenöls gelb aus.
4. In welchem Bereich arbeitet das Ladedruckregelventil?

5. Wie kann das Wastegate noch angesteuert werden?

6. Nach welchen Informationen regelt das Steuergerät den ATL?

Ladedruckregelung mit Wastegate und Umluftventil



1. Füllen Sie die Legende mit Hilfe des Posters Abgasturbolader aus.

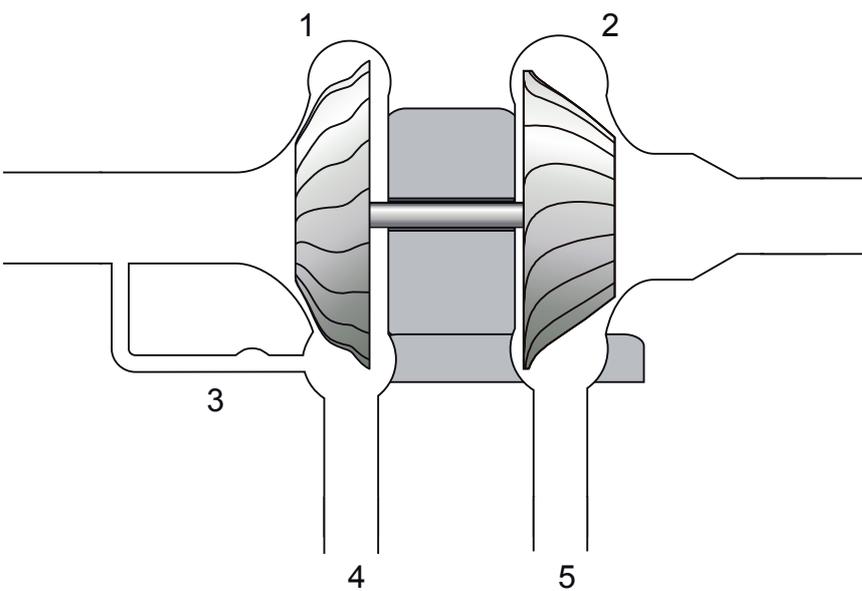
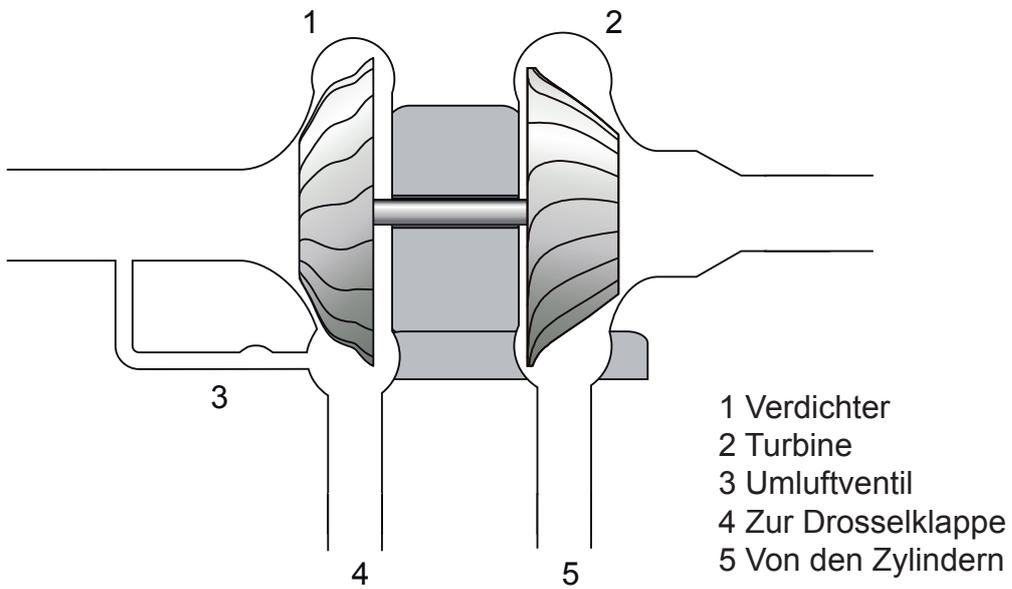
- | | |
|-----------------------------|-----------------|
| 1 _____ | 8 _____ |
| 2 _____ | 9 _____ |
| 3 _____ | _____ |
| 4 _____ | _____ |
| _____ | 10 Magnetventil |
| 5 Magnetventil (Taktventil) | 11 _____ |
| 6 _____ | 12 _____ |
| 7 _____ | 13 _____ |

2. Malen Sie die Gaswege farblich aus.

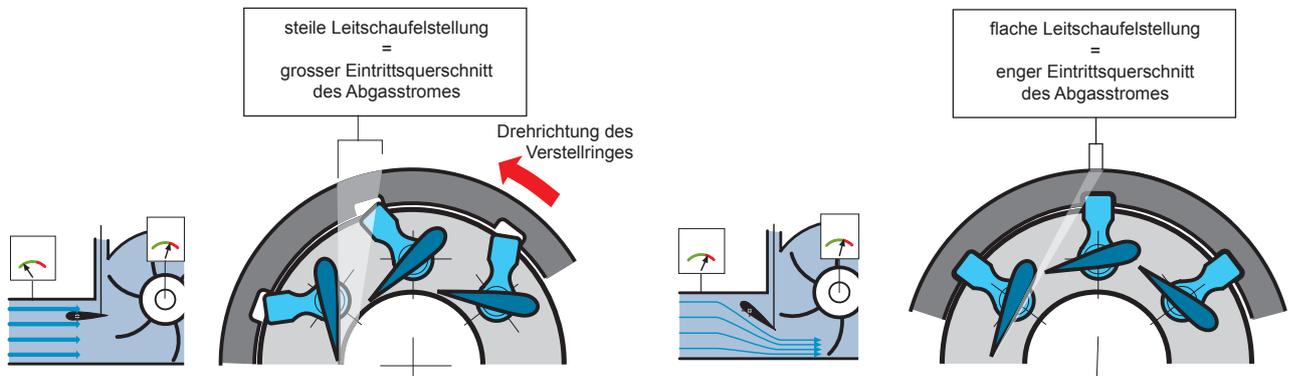
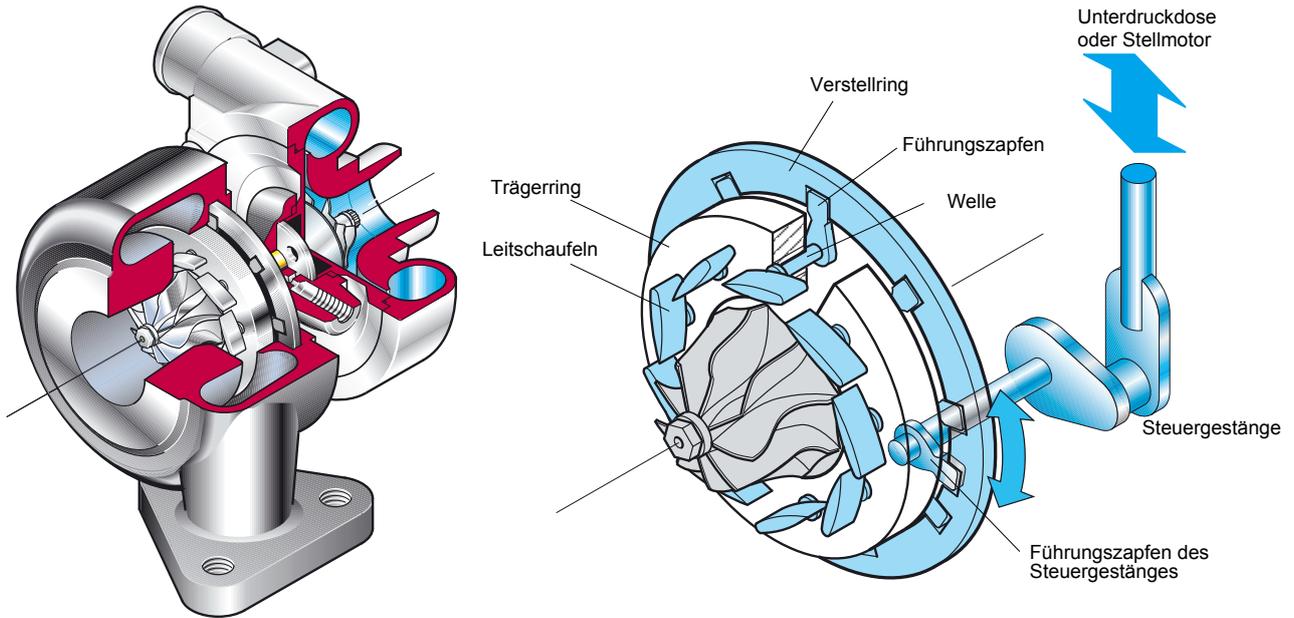
- Ansaug => hellblau
- Warme Ladeluft => violett
- Gekühlte Ladeluft => dunkelblau
- Abgase => rot

3. a) Welche Aufgabe hat das Umluftventil («Pop-Off-Ventil»)?

b) Welche Folge entsteht durch die genannte Aufgabe?



Ladedruckregelung mit Variabler-Turbinen-Geometrie (VTG)



1. Welche Stellung der Leitschaufeln entspricht der Stellung für eine tiefe Motordrehzahl?

2. Wie wird kurzfristig ein «Overboost» erreicht?

3. Wie erfolgt die Betätigung der Leitschaufelverstellung?

Elektro-pneumatische Verstellung _____

Elektrische Verstellung _____

4. Welche Grössen werden vom Steuergerät verwendet um den Ladedruck zu regeln?

1. _____ 3. _____

2. _____ 4. _____

Gekühlte Zwangsbeatmung

Der Ladeluftkühler ist für aufgeladene Fahrzeugmotoren ein wichtiges Bauteil. Bringt der Einbau eines grösseren Kühlers jedoch auch den gewünschten Effekt?

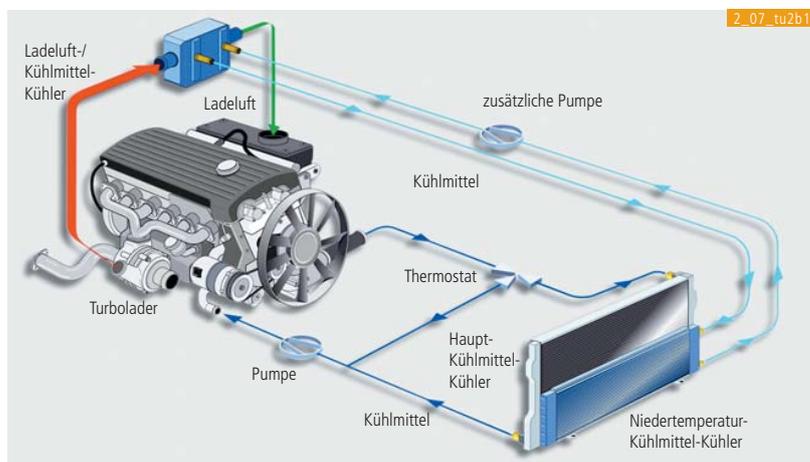


Bild 1. Bei der indirekten Ladeluftkühlung wird der Wärmetauscher nicht im Frontbereich, sondern sehr nah am Motor angebracht. Der für die indirekte Ladeluftkühlung zusätzlich erforderliche Niedertemperatur-Kühlmittelkühler ist Bestandteil des Kühlmoduls. Die motornahen Anbringung des Ladeluftkühlers ermöglicht kürzere Ladeluftleitungen, was den Druckverlust etwa halbiert. Durch die höhere Dichte der gekühlten Ladeluft und den geringeren Druckverlust steht dem Motor mehr Luft für die Verbrennung zur Verfügung. Die Folge: Leistung und Drehmoment nehmen zu. (Bilder Behr)

→ Harry Pfister

Als Ladeluftkühler werden (bisher) in Einzelfällen Luft-Wasser- (Bild 1) jedoch in den meisten Fällen Luft-Luft-Kühler (Bild 2) verwendet. Die Aufladung mit gekühlter Ladeluft wird bei Nutzfahrzeug- wie auch Pw-Dieselmotoren am häufigsten angewendet. Aber auch aufgeladene Benzinmotoren sind immer häufiger mit einem Ladeluftkühler ausgerüstet. Das eigentliche Kühlelement eines modernen Luft-Luft-Wärmetauschers besteht aus Aluminium, während die beiden Luftkasten aus hochtemperaturfestem Kunststoff gefertigt sind. Der Ladeluftkühler wird vor beziehungsweise neben dem Kühlmittelkühler, bei Boxermotorausführungen oberhalb des Motors, oder ganz abseits des Motors in den Radkästen eingebaut. Letzteres würde die beste Lösung darstel-

len, denn damit wäre eine Beeinflussung von anderen Wärmetauschern behoben.

Die Ladeluftkühlung mit Kühlmittel bringt den Vorteil eines kleineren ladeluftseitigen Druckabfalls und zugleich wird kostbarer Bauraum in der Fahrzeugfront gespart, der Luftwiderstand dadurch reduziert. In Hinblick auf die zukünftig strengeren Abgasnormen könnte diese Variante vermehrt zum Einsatz kommen.

Tiefere Ladelufttemperaturen erhöhen die Dichte der komprimierten Luft und führen deshalb zu einer besseren Zylinderfüllung. Daraus resultiert ein Drehmomentzuwachs und demzufolge eine grössere Motorleistung. Aufgrund der niedrigeren Temperatur verringert sich zudem die thermische Belastung des Benzinmotors und führt zu geringeren NO_x-Anteilen im Abgas. Grundsätzlich wird die komprimierte Luft

vom Lader zuerst in den Wärmetauscher geleitet, bevor die «Zwangsbeatmung» den Motor erreicht. Gemäss Delta Motor AG in Eich ist die Temperatur-Absenkung stark von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Laut dem Tuner sollte grundsätzlich im Bereich von 10 bis 30°C Aussentemperatur die Temperatur der Eingangsluft in den Motor nicht mehr als das Doppelte betragen. Für den Ladedruck bedeutet dies, dass er durch die Kühlung geringer wird. Ist der Ladedruck über

das Motorsteuergerät geregelt, kann dieses den Ladedruck wiederum nachregeln (erhöhen).

Im Motorsteuergerät sind die Kennfelder den einzelnen Parametern zugeordnet. Würde jetzt nur der Original-Ladeluftkühler durch ein grösseres Modell ersetzt, können allenfalls die Strömungseigenschaften der Ladeluft und der Gegendruck verändert werden. Zudem beeinflussen auch die Ladedruck-Leitungen den Gegendruck. Als Folge vom veränderten Gegendruck könnte das Laufzeug zu hoch drehen und die Schaufelräder im Gehäuse streifen. Ein Turboschaden ist somit vorprogrammiert.

Falls nur der Ladeluftkühler ersetzt wird, sollte ein Modell eingebaut werden, das den gleichen Strömungswiderstand (Gegendruck) bewirkt. Kritisch wird es, wenn noch zusätzlich ein so genannter Direktluftfilter eingebaut

wird. Dies führt dazu, dass der Ladeluftkühler zu einem rigorosen Engpass wird, da die Ansaugseite mit unbekanntem Wert operiert.

Aus diesem Grund wird bei den seriösen Tunern auch die Motorelektronik angepasst (siehe Heft 1/07). Die Hirsch AG in St. Gallen – ein namhafter Tuner von Saab-Fahrzeugen – erklärt, dass die Elektronik «experimentell» aufgrund von Messungen auf dem Leistungsprüfstand programmiert werden muss. Zudem muss der Einsatzzweck – Alltagsfahrzeug oder Rennsport – berücksichtigt werden. Erst wenn die Programmierung im Motorsteuergerät auf den Ladeluftkühler angepasst ist, kann mit einer Leistungssteigerung gerechnet werden. Prinzipiell kann in diesem Fall davon ausgegangen werden, dass ein Ladeluftkühler mit möglichst grossem Querschnitt optimale Werte ergibt. Meist geht das Tuning noch weiter und die Motorelektronik wird zusätzlich auf «Mehrleistung» programmiert.

Bitte daran denken, dass sowohl der Ersatz des Ladeluftkühlers wie auch die Anpassung der Motorelektronik melde- und prüfpflichtig sind, da sie die Emissionen verändern. Liegt ein DTC-Gutachten vor, kann dem Eintrag in den Fahrzeugausweis getrost entgegen gesehen werden.

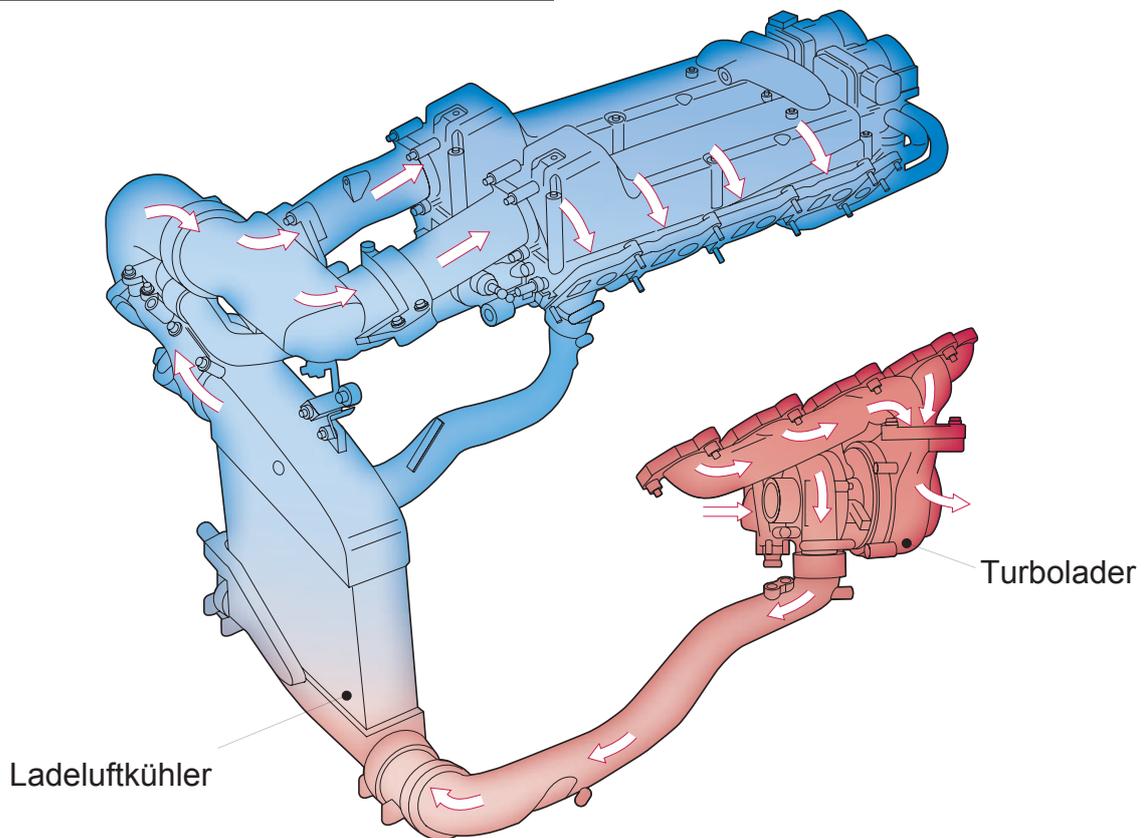


Bild 2. Der Luft-Luft-Wärmetauscher kühlt die Ladeluft um bis zu 50°C herab.

Ladeluftkühlung (Intercooler)

Welche Aufgabe hat der Ladeluftkühler (LLK)?

Schreiben Sie vier Folgen (Vorteile) der Aufgabe auf.



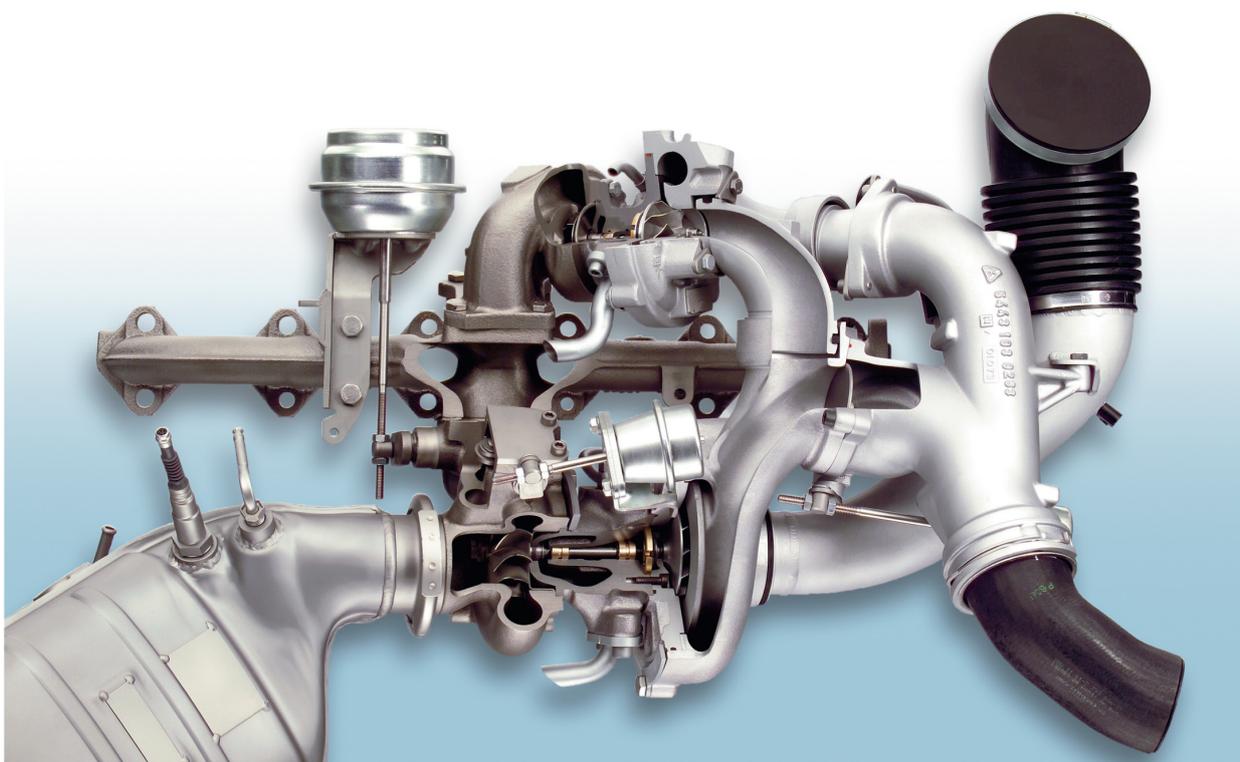
Beispiel: Mehr Drehmoment und Leistung durch Ladeluftkühler in Audi-Motoren

Motortyp	1,6 l Vierzylinder Turbodieselmotor	2,0 l Fünfzylinder Turbodieselmotor
Leistung ohne LLK	51,5 kW	64 kW
Leistung mit LLK	59 kW	74 kW
Drehmoment ohne LLK	133 Nm	170 Nm
Drehmoment mit LLK	155 Nm	192 Nm

Spezialitäten

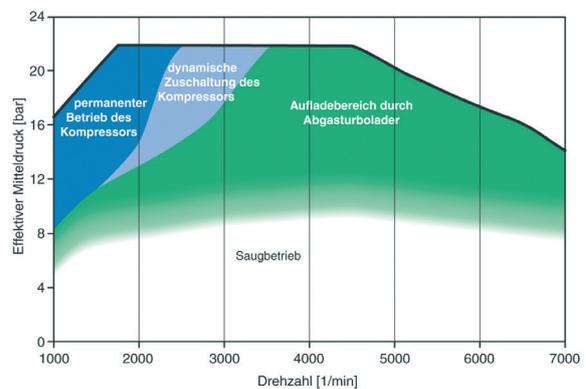
1. Biturbo, Doppelaufladung

2. Registeraufladung, Twin-Turbo,

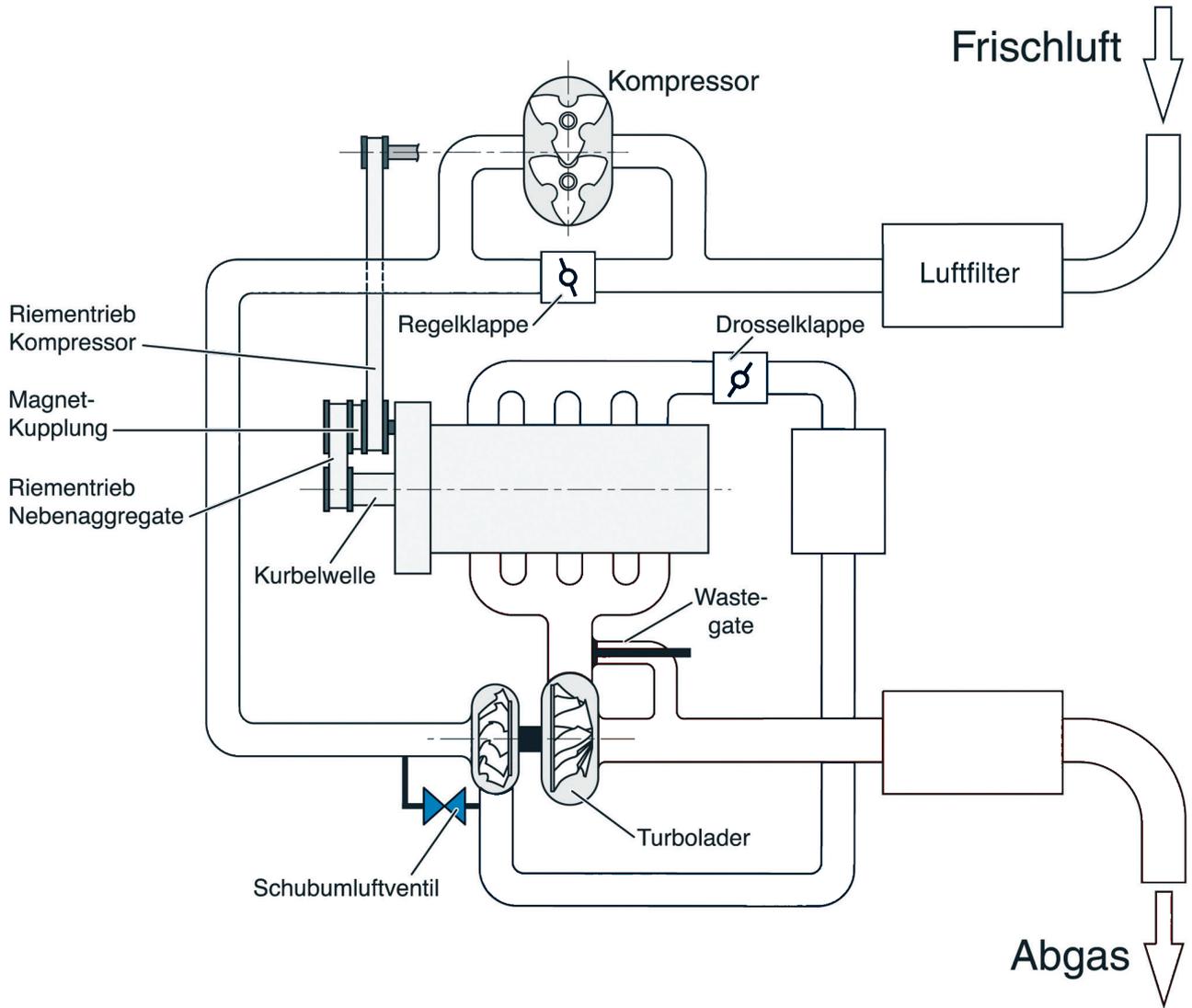


3. Twincharger

- Kompressor bis
 $n_M = 3500 \text{ 1/min}$,
 $i = 0,2$
 $n_K = 17'500 \text{ 1/min}$
- elektromagnetisch geschaltet
 Turbolader für hohe Dreh-
 zahlen ausgelegt
 Ladedruck max $p_{abs} = 2,5 \text{ bar}$
- 1,4 Liter, 125 kW, 240 Nm
 7,2 Liter/ 100 km
 Verdichtung 10:1



Twincharger

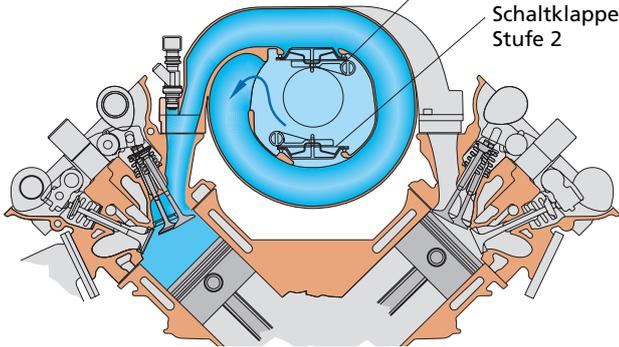


Downsizing im Motorenbau

Schaltsaugrohr mit drei Längen (Registersaugrohr)

Stufe 1
unterer Drehzahlbereich

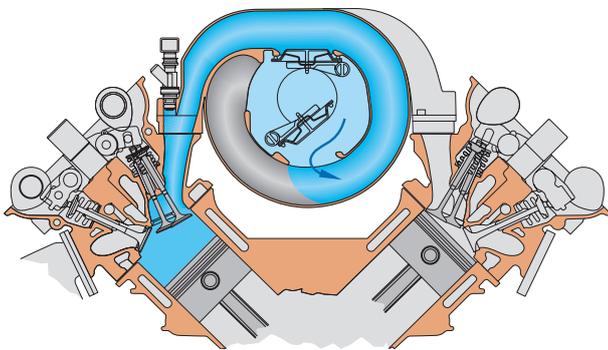
Schaltklappe
Stufe 3
Schaltklappe
Stufe 2



Bei Motorstillstand sind beide Klappen offen.

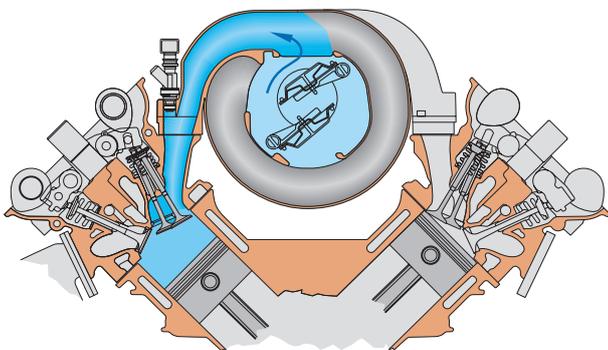
Im Leerlauf sind beide Klappen geschlossen. Die Magnetventile für die Unterdruckdosen sind geschaltet. Die Schaltklappen sind geschlossen.

Stufe 2
mittlerer Drehzahlbereich

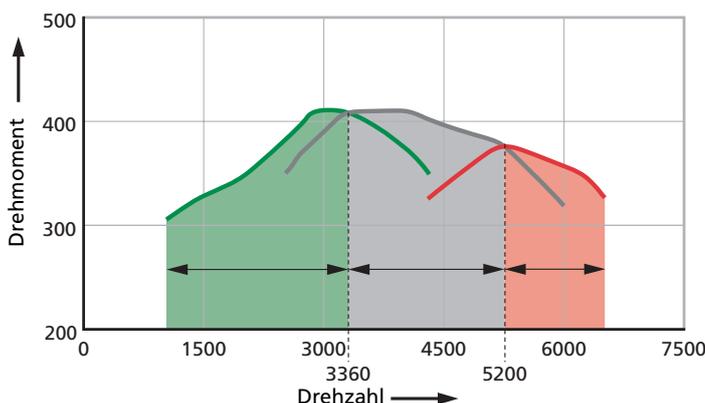


Im mittleren Drehzahlbereich wird durch das Magnetventil für Registersaugrohrumschaltung in die Unterdruckdose Schaltklappe Stufe 2 atmosphärischer Druck geleitet. Die Schaltklappe Stufe 2 wird geöffnet und der Ansaugweg verkürzt sich.

Stufe 3
oberer Drehzahlbereich



Im oberen Drehzahlbereich wird zusätzlich die Schaltklappe Stufe 3 geöffnet. Die Ansaugluft gelangt auf dem kürzesten Weg in den Verbrennungsraum.



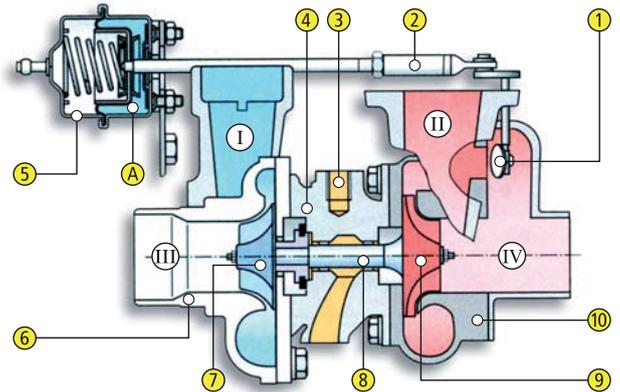
Deutlich sind im Diagramm die unterschiedlichen maximalen Drehmomentkurven der verschiedenen Saugrohrängen zu erkennen.

Lernkontrolle

1. Entscheiden Sie bei folgenden Behauptungen mit richtig «R» oder falsch «F»!
 - a) Das «Turboloch» entsteht beim Öffnen des Wastegate-Ventils. (___)
 - b) Durch ein «Overboostventil» kann das Turboloch unterdrückt werden. (___)
 - c) Beim «Overboost» wird beim Beschleunigen das Wastegate-Ventils (Bypassventil) geschlossen gehalten. (___)
 - d) Unter dem «Turboloch» versteht man das verzögerte Ansprechen des Laders beim Gasgeben und einem damit verbundenen kurzzeitigen Leistungsverlust. (___)

2. a) Ordnen Sie die Nummern der Legende zu!

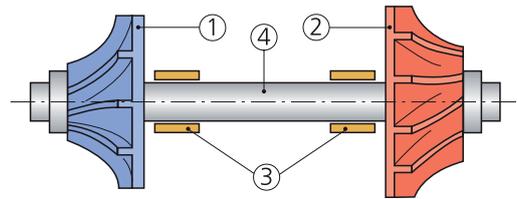
- a) Druckdose Nr. ___
- b) Turbinenrad Nr. ___
- c) Bypassklappe Nr. ___
- d) Lagergehäuse Nr. ___
- e) Verdichterrad Nr. ___



- b) Entscheiden Sie bei folgenden Behauptungen mit richtig «R» oder falsch «F»!
 - a) In Raum A von Pos. Nr. 5 wirkt der Atmosphärendruck. (___)
 - b) Die Bypassklappe ist im Motorleerlauf geschlossen. (___)
 - c) Das Ladedruckregelventil wird häufig auch als Pop-off-Ventil bezeichnet. (___)
 - d) Durch das Öffnen der Bypassklappe wird der maximale Druck für die Zylinderfüllung beschränkt. (___)
- c) Welche Aussage zur Frischgas- und Abgasführung im Turbolader ist richtig?
 - I Einströmen der verdichteten Luft, II Ausströmen der Abgase.
 - II Ausströmen der verdichteten Luft, III Einströmen der Abgase.
 - III Ausströmen der Abgase, I Einströmen der atmosphärischen Luft.
 - IV Ausströmen der Abgase, I Ausströmen der verdichteten Luft.

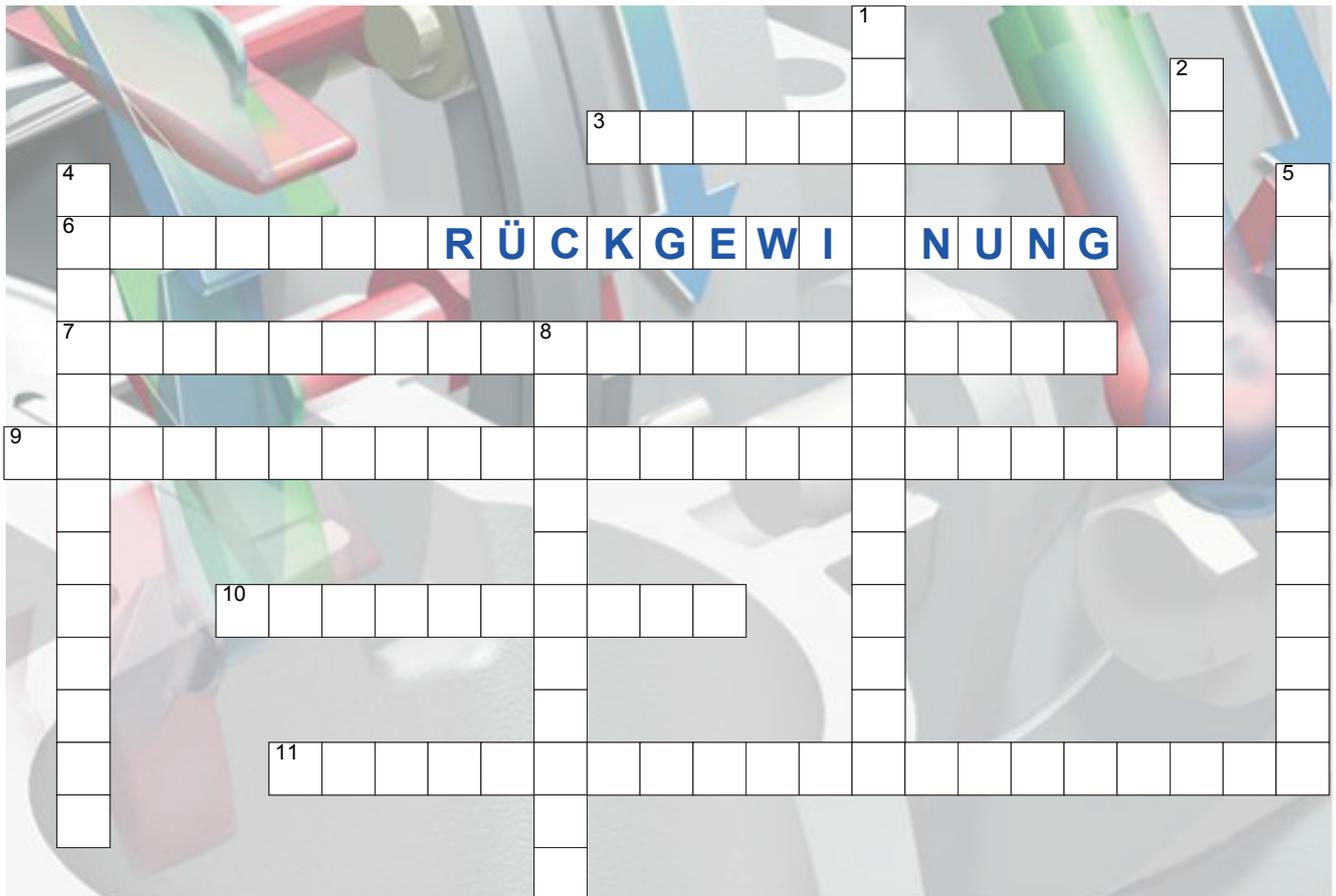
3. Entscheiden Sie bei folgenden Behauptungen mit richtig «R» oder falsch «F»!
 - a) Der Füllungsgrad eines Motors kann durch Schaltsaugrohre verbessert werden. (___)
 - b) Beim Abgasturbolader wird die Strömungsenergie der Abgase zur besseren Füllung der Zylinder mit Frischgasen ausgenutzt. (___)
 - c) Bei tiefen Drehzahlen bewirkt ein Abgasturbolader die beste Ladewirkung. (___)
 - d) Unter einer dynamischen Aufladung versteht man die Füllungsoptimierung durch Ladedruckregelung. (___)

4. Entscheiden Sie bei folgenden Behauptungen mit richtig «R» oder falsch «F»!
- Diese Baugruppe wird mit dem Fachausdruck als Laufzeug bezeichnet. (___)
 - Die Welle (4) wird mit drehzahlfesten Wälzlagern (3) gelagert. (___)
 - Das Verdichterrad (1) wird aus Grauguss gefertigt. (___)
 - Die Welle (4) kann Höchstdrehzahlen von 20'000 bis 40'000 1/min erreichen. (___)
 - Welle und Lagerung werden mit Drucköl geschmiert. (___)



5. Entscheiden Sie bei folgenden Behauptungen über Ladeluftkühler mit richtig «R» oder falsch «F»!
- Sie ...
- werden auch als Intercooler bezeichnet. (___)
 - werden häufig als Luft/Luftkühler ausgeführt. (___)
 - verringern die Dichte der angesaugten Luft und steigern damit den Liefergrad. (___)
 - kühlen die angesaugte Luft vor dem Eintritt in den Abgasturbolader ab. (___)
 - ermöglichen höhere Ladedrücke. (___)
 - können die verdichtete Luft um 100 bis 200°C herunterkühlen. (___)
6. Entscheiden Sie bei folgenden Behauptungen mit richtig «R» oder falsch «F»!
- Aufgeladene Motoren mit hohem Verdichtungsverhältnis haben einen verhältnismässig kleinen Ladedruck. (___)
 - Abgasturbolader mit variabler Turbinengeometrie (VTG) drosseln den Abgasstrom bei niedrigen Motordrehzahlen über das Wastegate-Ventil. (___)
 - Durch die Verstellung der Leitschaufeln, enger Öffnungsquerschnitt, wird bei einem VTG-Lader im unteren Drehzahlbereich eine höhere Abgasgeschwindigkeit erreicht und erreicht somit nach relativ kurzer Zeit den gewünschten Ladedruck. (___)
 - Bei einem Motor mit VTG-Lader werden im Notlaufbetrieb die Leitschaufeln auf den kleinsten Einlassquerschnitt gestellt, damit der Ladedruck und damit die Motorleistung absinken. (___)
7. Lösen Sie die SVBA-Seiten «Motor» 323 bis 328 und 339 bis 340.

8. Lösen Sie das Kreuzworträtsel



Waagerecht

- 3. Das verzögerte Einsetzen des Abgasturboladers beim Beschleunigen.
- 6. Beim Abgasturbolader werden die Abgase ans urbinenrad geführt. Man erreicht damit eine
- 7. Nicht nur eine Leistungssteigerung, sondern uch eine ... wird durch den Einsatz eines Aufladesystems erreicht.
- 9. Dieses Aufladungssystem arbeitet mit der Veränderung der Saugrohrlänge.
- 10. Bei Motoren mit Abgasturbolader wird so noch mehr Leistung und Drehmoment «herausgeholt».
- 11. Auch bekannt als Bypassventil oder astegateventil.

Senkrecht

- 1. Eines der Ziele der Aufladung eines Motors ist die Verbesserung der
- 2. Wie nennt man die beweglichen Teile eines Abgasturboladers?
- 4. Hier wird beim Abgasturbolader die Ansaugluft komprimiert.
- 5. Der Fachbegriff für Pop-Off-Ventil, Abblasventil, Schubregelventil.
- 8. Das drehende Bauteil eines Abgasturboladers, das im Extremfall rot glühend werden kann.

Weitere Kontrollfragen

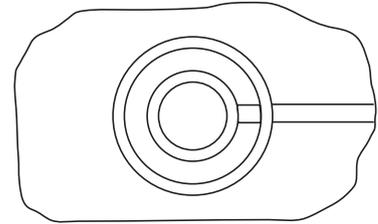
9. Nennen Sie fünf Möglichkeiten, wie bei einem Verbrennungsmotor die Leistung gesteigert werden kann.

10. Warum werden Abgasturbolader eingesetzt? Nennen Sie drei Gründe.

11. Aus welchen wesentlichen Teilen besteht ein Turboladerrotor?

12. a) Bezeichnen Sie Welle, Gehäuse, Gleitlager und Schmierfilme dieser Turboladerlagerung im Bild.

b) Wie wird diese Lagerung genannt?



13. Warum soll ein Turbomotor nach längerer Vollast nicht abrupt ausgeschaltet werden?

14. a) Was ist die Aufgabe des Ladedruckregelventils?

b) Erklären Sie den Grund für den Einsatz und den Weg der Gase bei geöffnetem Ventil!

15. a) Was ist die Aufgabe des Umluftventils?

b) Erklären Sie den Grund für den Einsatz und den Weg der Luft bei geöffnetem Ventil!

16. Wie müssen die Leitschaufeln einer variablen Turbinengeometrie gestellt sein, dass der Ladedruck bei tiefer Motordrehzahl möglichst hoch wird?

17. Welche Aufgabe hat die Ladeluftkühlung? Nennen Sie zwei.

18. Was ist der Unterschied zwischen den Begriffen «Bi-Turbo» und «Twin-Turbo»?

19. Was verstehen sie unter «Downsizing»?

20. Ein Saugrohrsystem hat zwei Längen, welche umgeschaltet werden können, lang und kurz.

a) Welche Saugrohrlänge ist für den unteren Motordrehzahlbereich?

b) Welche Saugrohrlänge ergibt hohe Leistung?

21. Warum werden heute oft vier Ventile pro Zylinder verbaut?

22. Arbeiten Sie die LernCD-Fragen durch.