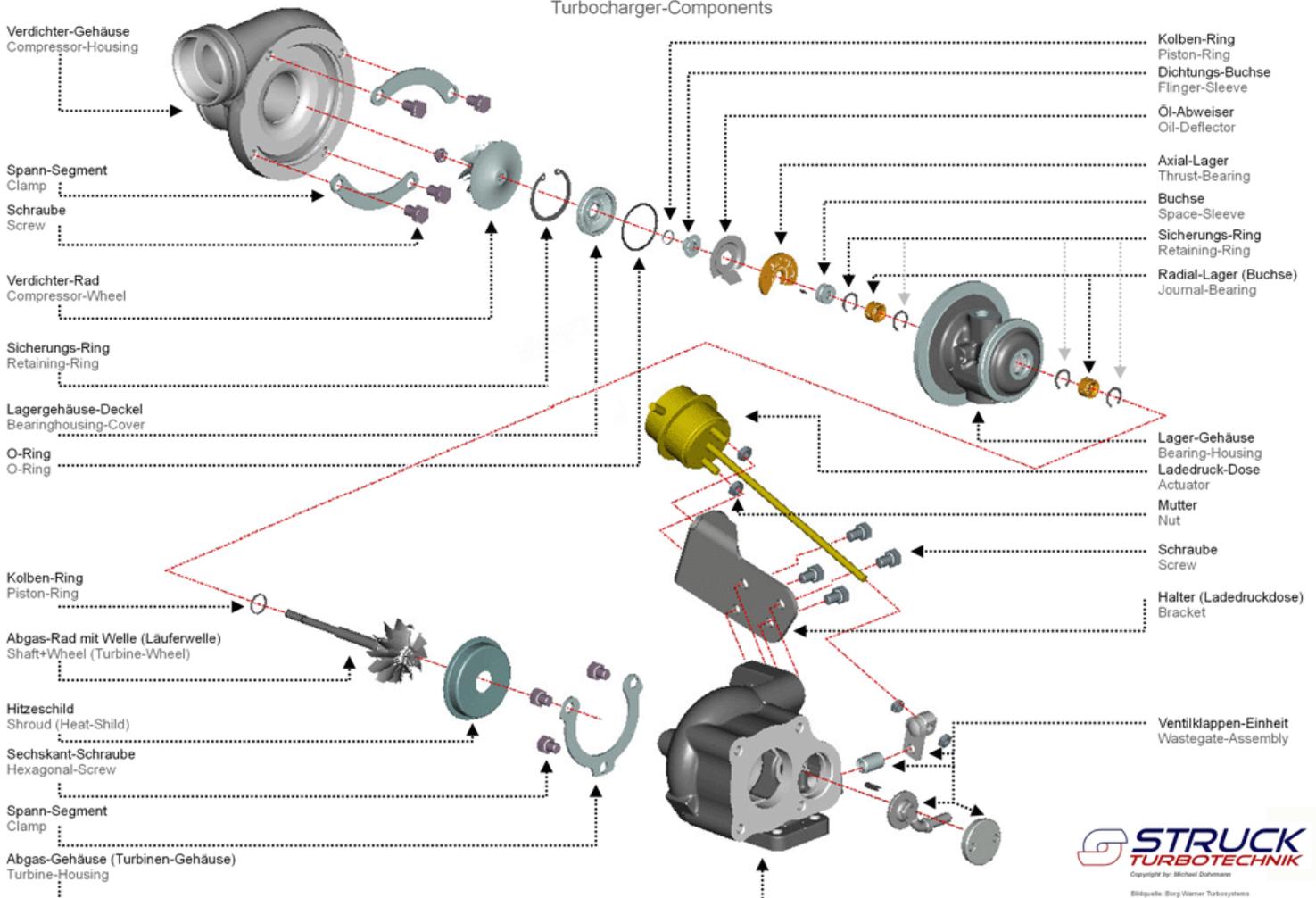


Aufladung

Abgas-Turbolader Bauteile
Turbocharger-Components



Inhalt

Aufladung	1
Inhalt.	2
Leistungsziele	2
Unterlagen.	2
Vorgehen	2
Möglichkeiten der Leistungssteigerung	3
Leistungssteigerung durch Mehrventiltechnik und Aufladung.	4
Abgasturbolader «ATL» (KKK = Kühnle, Kopp + Kausch, Garrett...)	6
Ladedruckregelung	7
Ladedruckregelung abgasseitig (Wastegate)	8
Turbocompound.	9
Ladedruckregelung mit Wastegate und Umluft-Ventil	10
Ladedruckregelung mit Variabler-Turbinen-Geometrie (VTG)	12
Ladeluftkühlung (Intercooler)	15
Registeraufladung.	16
Lernkontrolle	17
Weitere Kontrollfragen	20

Leistungsziele

- den Aufbau und die Eigenschaften der Abgasturbo-Aufladung nennen
- die prinzipielle Wirkungsweise einer Abgasturbo-Aufladung mit Ladeluftkühlung mit Hilfe eines Schemas erklären
- Wirkungsweise des Turbocompoundsystems mit Hilfe eines Schemas erklären (N)

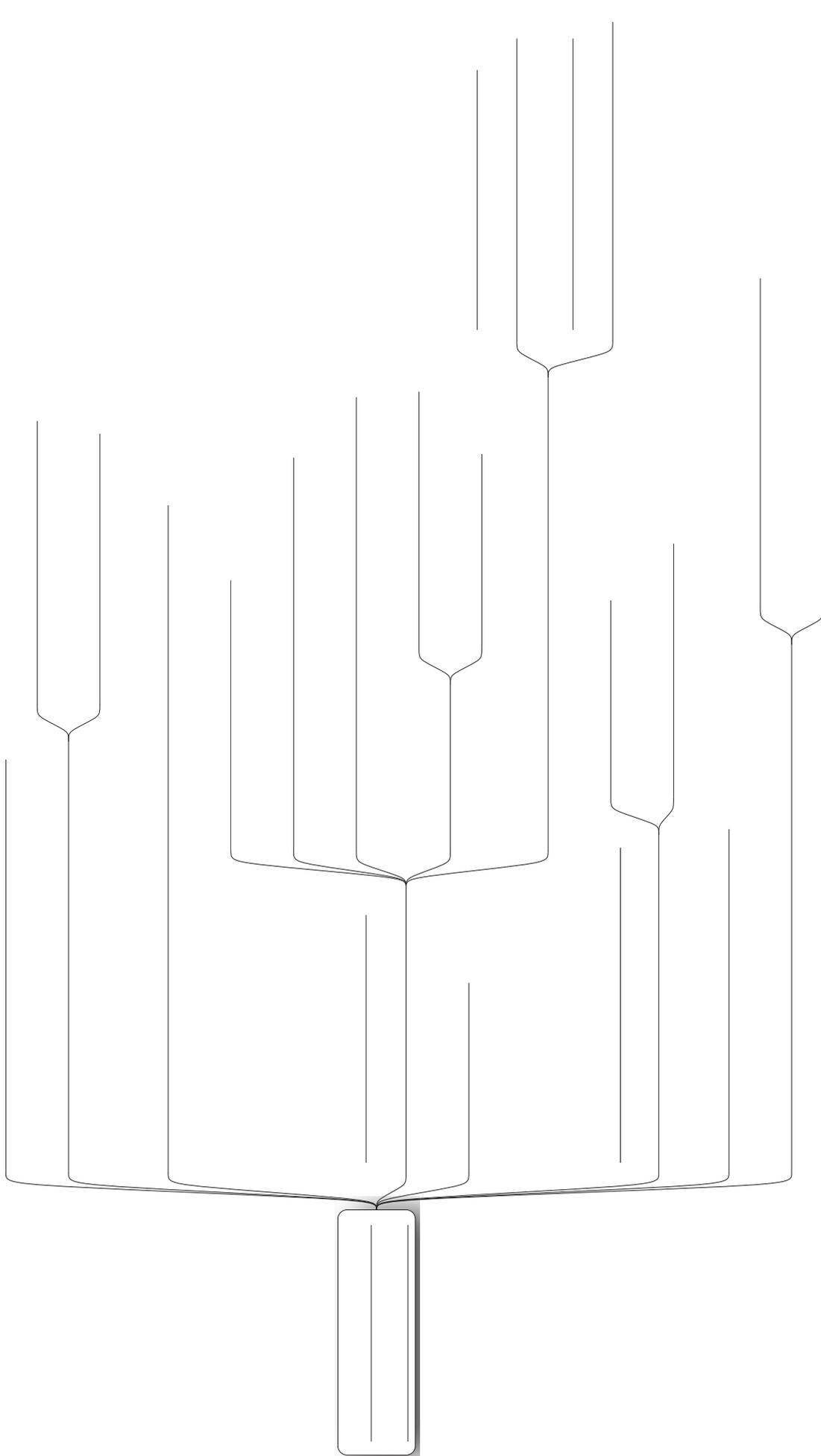
Unterlagen

- <http://www.tgabathuler.ch/Aufladung/Aufladung.html>
- Europa Fachbuch ab Kap. 11.7.2
- SVBA «Motor-Seiten» 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>

Vorgehen

1. Sichten Sie das Material auf der Seite
<http://www.tgabathuler.ch/Aufladung/Aufladung.html>
2. Downloaden Sie das folgende CBT-Programm und studieren Sie dieses:
- ATL & Schaltsaugrohr
3. Lesen Sie das Kapitel 11.7.2 im Fachbuch
4. Das Dossier wird im Plenum bzw. in Einzelarbeit bearbeitet.

Möglichkeiten der Leistungssteigerung



Leistungssteigerung durch Mehrventiltechnik und Aufladung

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf folgenden Film:

http://www.tgabathuler.ch/Aufladung/Film_Leistungssteigerung.html

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 «Fahrzeug» 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 Ladermotor?
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. Ab wann gibt es europäische Serienfahrzeuge mit Abgasaufladung?

9. Welche Aufgabe hat das Ladedruckregelventil?

10. Wann und wo wurde der Druckwellenlader, auch Comprex genannt, patentiert?

11. Welchen wesentlichen Vorteil hat der Comprex gegenüber dem Turbolader?

12. Wodurch unterscheiden sich Abgaslader und mechanische Lader?

Abgaslader: _____

mechanische Lader: _____

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

14. Wie lautet die exakte Bezeichnung des G Laders?

15. Wie heisst der Erfinder des Ro-Laders und was verbirgt sich hinter der Abkürzung «Ro»?

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

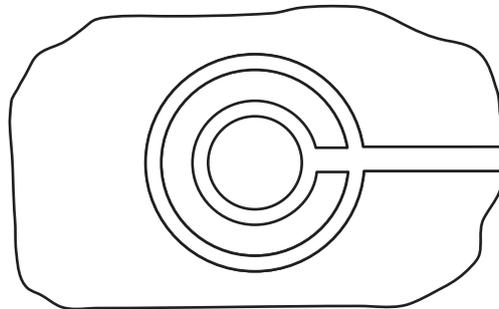
Abgasturbolader «ATL» (KKK = Kühnle, Kopp + Kausch, Garrett...)

Gründe, die für den Abgasturbolader sprechen:

- Bessere Zylinderfüllung
- Höheres Motordrehmoment und einen besseren Drehmomentverlauf
- Höhere Leistung
- Geringerer spez. Verbrauch [g/kWh], effektiver Verbrauch steigt mit der abverlangten Arbeit [P/t]
- 30 % der zugeführten Energie ist im Abgas enthalten (t bis 1'000 Grad Celsius, $v > 330$ m/s)
- Motor hat besseres Leistungsgewicht (kW/kg)
- Leistungsverlust nur 1 - 2 % pro 1000 m Höhenunterschied (Sauger ~ 10 %)

Lagerung:

Beschriften Sie die Einzelteile/Partien und färben Sie diese ein



Lagerarten:

- Schwimmende Lagerung in Gleitlager aus Bleibronze (Schwimmbuchsenlager) (Drehzahlen zwischen 50'000 - 400'000 $1/\text{min}$)
- Schrägkugellager mit Keramikkugeln (verbessern den mechanischen Wirkungsgrad gegenüber der konventionellen Gleitlagerung beträchtlich).

Kühlung durch ...

- Ansaugluft
- Schmieröl (eher bei Dieselmotoren, älteren Ottomotoren)
- Kühlmittel und Schmieröl (eher bei Ottomotoren)

Aufbau und Material:

- Turbinen-Gehäuse → Gusseisen (Sphäroguss)
- Turbinen-Rad → Hochwarmfeste Stahllegierung
neu: - Keramische Werkstoffe
- Titanaluminid (TiAl)
(50 % geringere Massenträgheitsmomente)
- Verdichter-Gehäuse → Al-Druckguss
- Verdichter-Rad → Al-Legierung Feinguss
- Welle → Stahl (Vergütungsstahl)

Ladedruckregelung

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

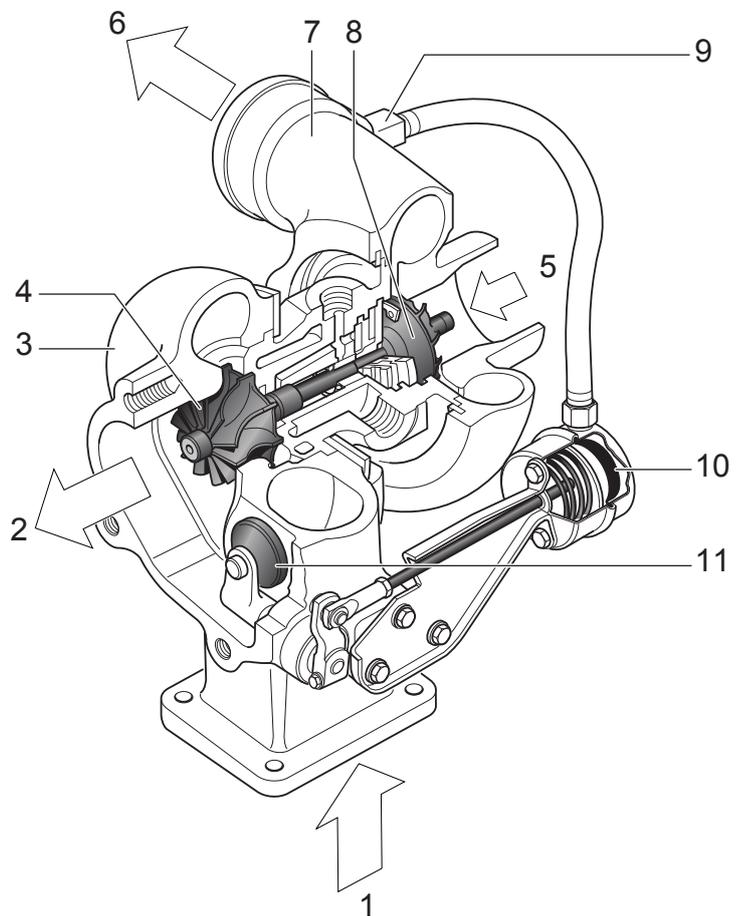
Wird der ATL so ausgelegt, dass er im tiefen Drehzahlbereich schon genügend Ladedruck entwickelt (leichtes Laufzeug, kleiner Turbinendurchmesser, etc.), muss der Ladedruck im oberen Bereich begrenzt werden.

1. Nennen Sie zwei Möglichkeiten um den Ladedruck zu begrenzen

- _____
- _____

2. Vervollständigen Sie die Legende.

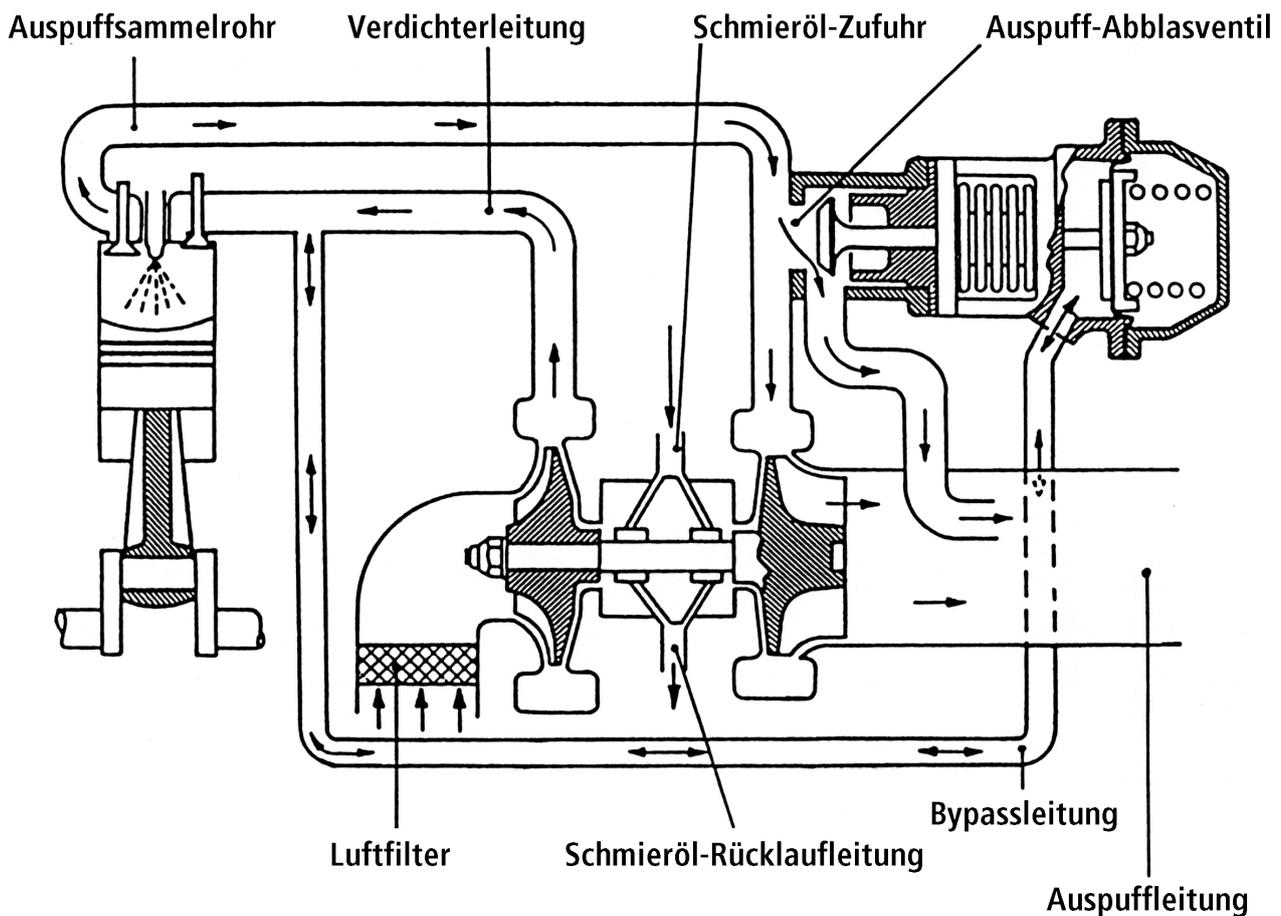
- | | | | |
|---|-------|----|-------|
| 1 | _____ | 10 | _____ |
| 2 | _____ | | _____ |
| 3 | _____ | 11 | _____ |
| 4 | _____ | | _____ |
| 5 | _____ | | _____ |
| 6 | _____ | | _____ |
| 7 | _____ | | _____ |
| 8 | _____ | | _____ |
| 9 | _____ | | _____ |



3. Färben Sie die Abgasseite rot ein.

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

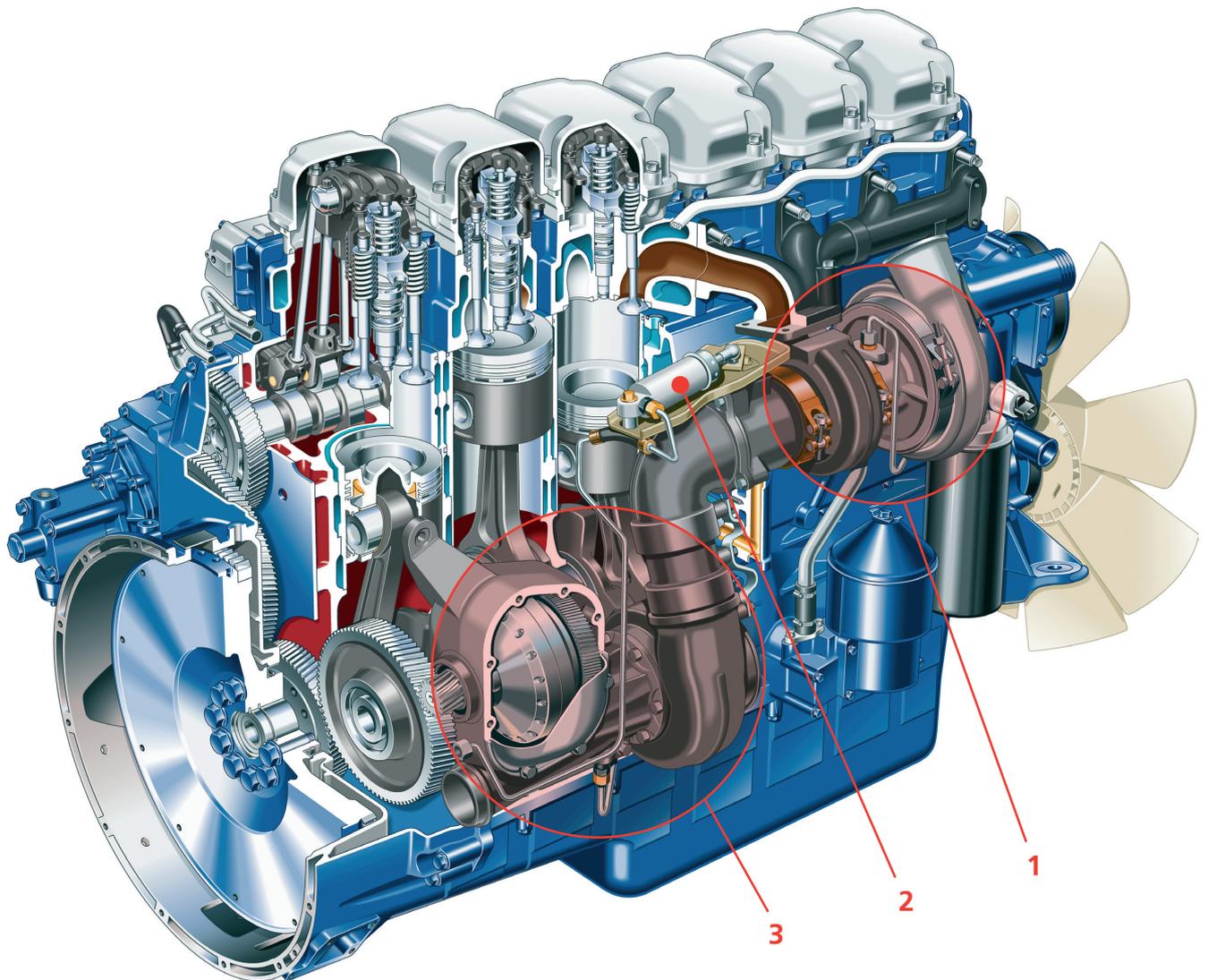
Ladedruckregelung abgasseitig (Wastegate)



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?

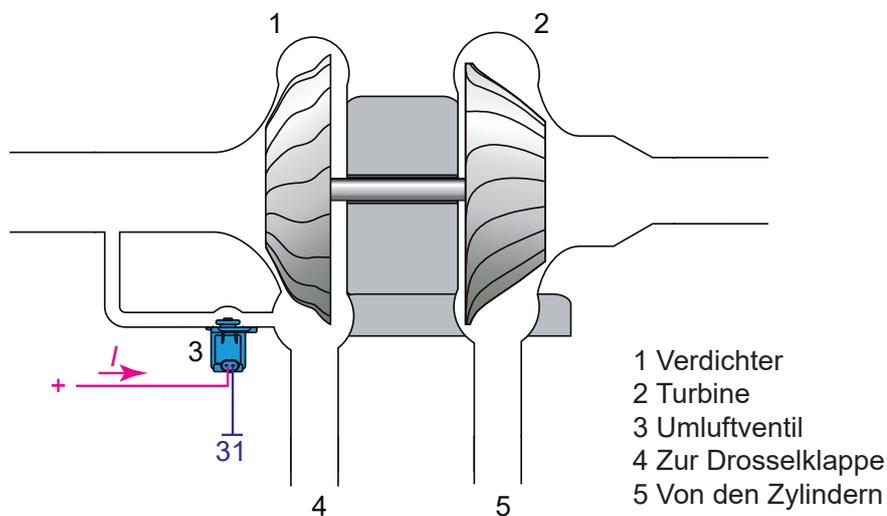
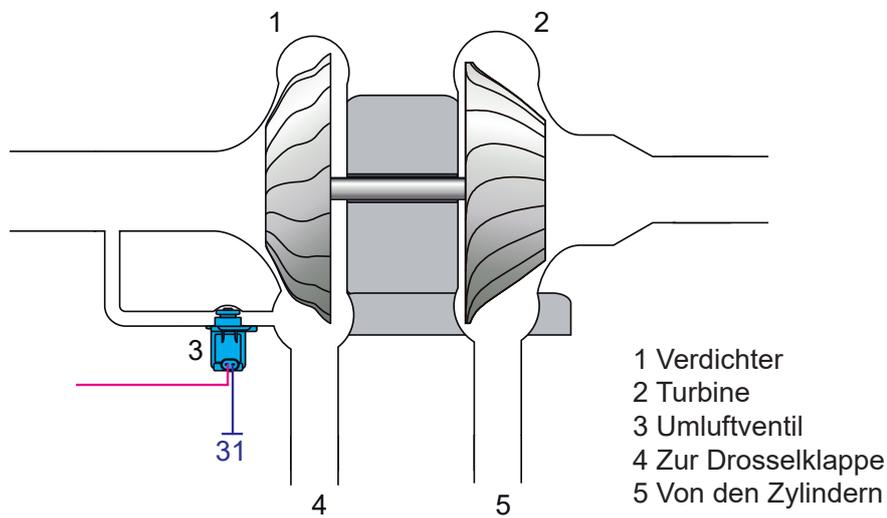
Turbocompound

1. Benennen Sie die Baugruppen 1 und 3.

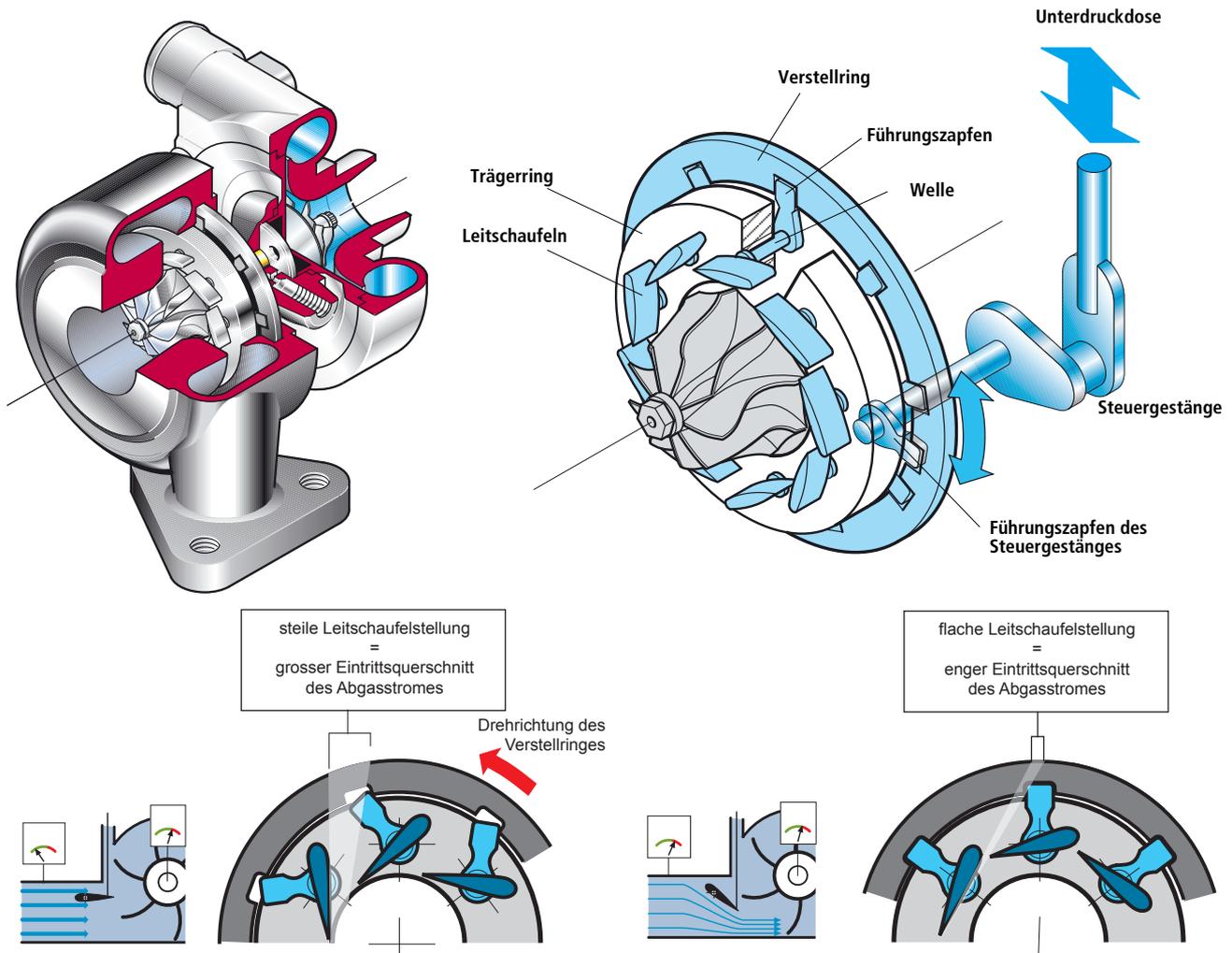
2. Wozu dient die Baugruppe 3?

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

b) Welche Folge entsteht durch die genannte Aufgabe?



Ladedruckregelung mit Variabler-Turbinen-Geometrie (VTG)



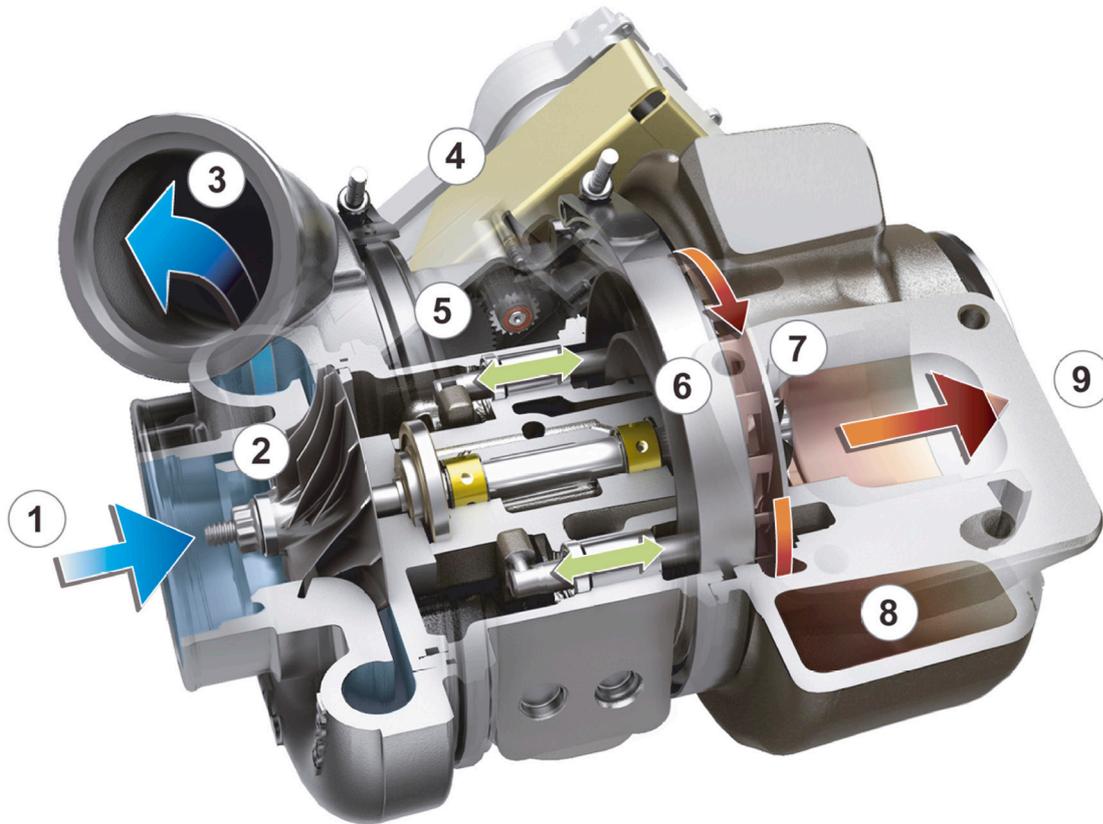
1. Welche Stellung der Leitschaufeln entspricht der Stellung für eine tiefe Motor-Drehzahl?

2. Wie wird kurzfristig ein «Overboost» erreicht?

3. Wie wird die Unterdruckdose der Leitschaufelverstellung angesteuert?

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

5. Schauen Sie die Animation «VGT Scania-Motor» an und studieren Sie zusammen mit dem Schnittmodell den Aufbau und die Funktionsweise dieses Abgasturboladers.



6. Erstellen Sie die Legende.

1. _____	6. _____
2. _____	7. _____
3. _____	8. _____
4. _____	9. _____
5. _____	

7. Vergleichen Sie nun das Schnittmodell des Nutzfahrzeigturboladers VGT mit dem Schnittmodell des PW-Turboladers VTG.

Beschreiben Sie in ein bis zwei Sätzen die Unterschiede in Bezug auf Aufbau und Funktion.

Gekühlte Zwangsbeatmung

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

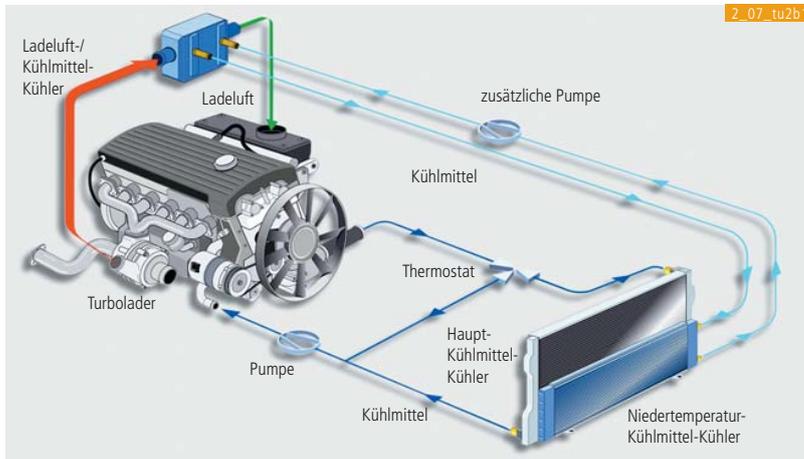


Bild 1. Bei der indirekten Ladeluftkühlung wird der Wärmetauscher nicht im Frontbereich, sondern sehr nah am Motor angebracht. Der für die indirekte Ladeluftkühlung zusätzlich erforderliche Niedertemperatur-Kühlmittelkühler ist Bestandteil des Kühlmoduls. Die motornahen Anbringung des Ladeluftkühlers 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 Aufgaben hat der Ladeluftkühler (LLK)?

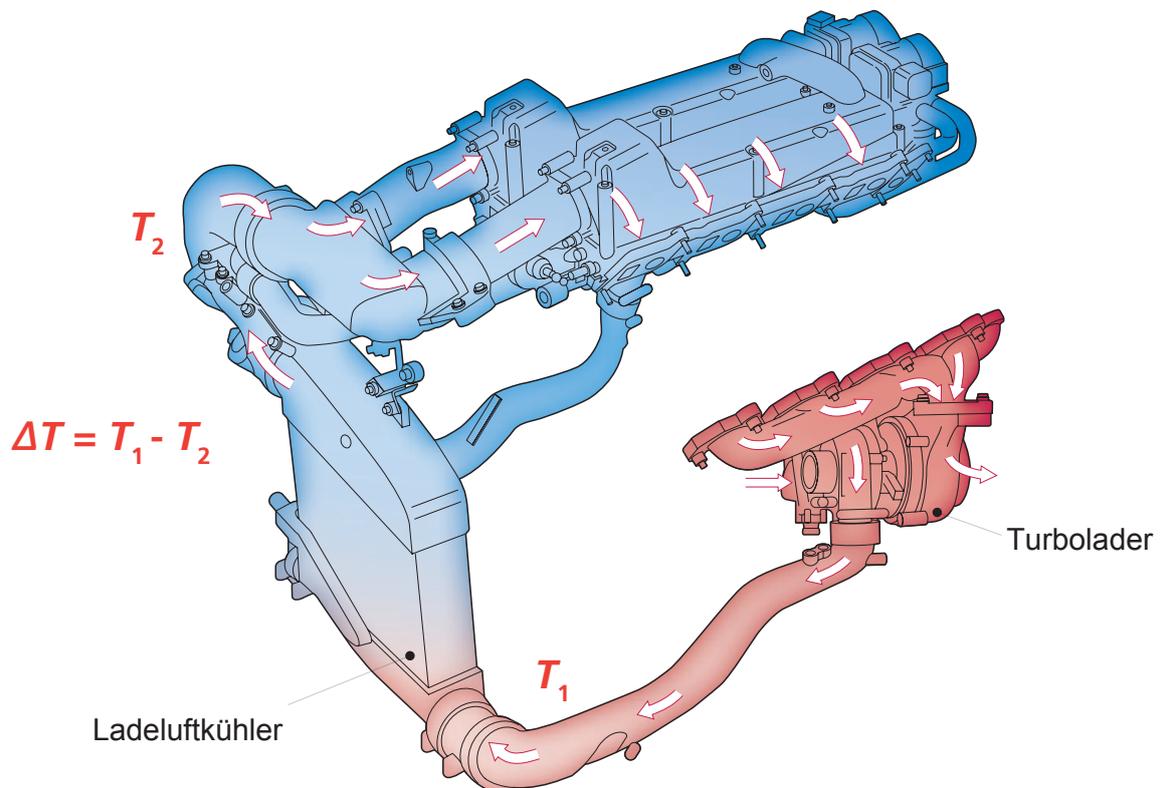
Schreiben Sie vier Folgen (Vorteile der oben genannten Aufgabe) auf.

1.

2.

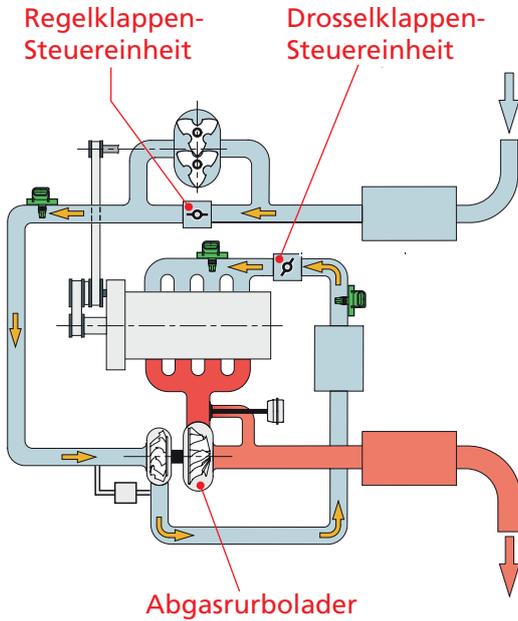
3.

4.

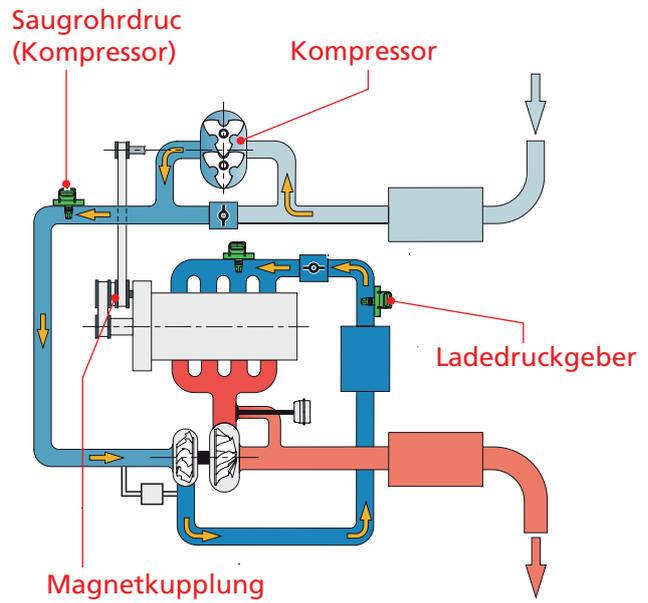


Registeraufladung

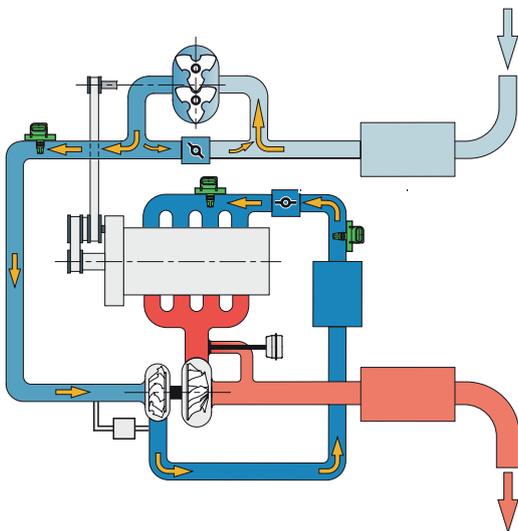
Saugbetrieb bei niedriger Last



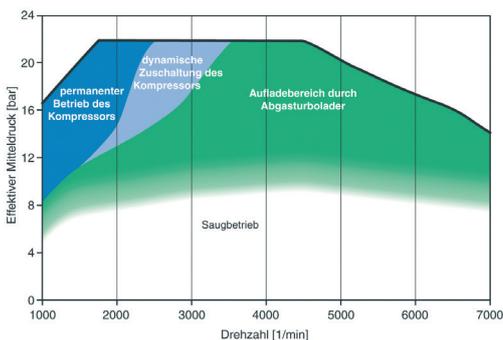
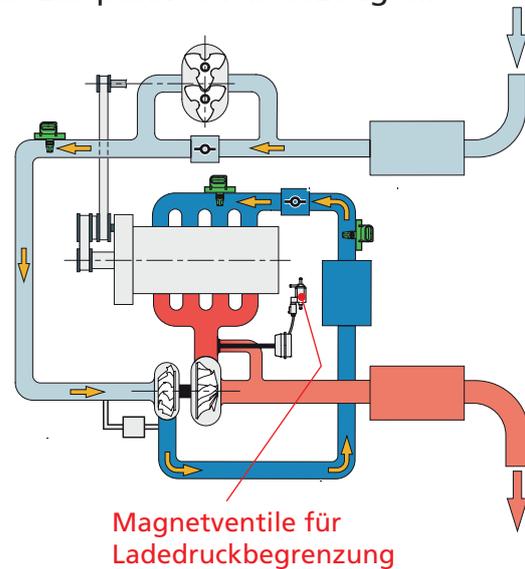
Kompressor und Abgas-Turboladerbetrieb bei hoher Last und Motordrehzahlen bis 2400 1/min



Kompressor und Abgas-Turboladerbetrieb bei hoher Last und Motordrehzahlen zwischen 2400 1/min und 3500 1/min



Ab einer Drehzahl von ca. 3500 1/min kann der Abgas-Turbolader den erforderlichen Ladedruck in jedem Lastpunkt allein erzeugen.



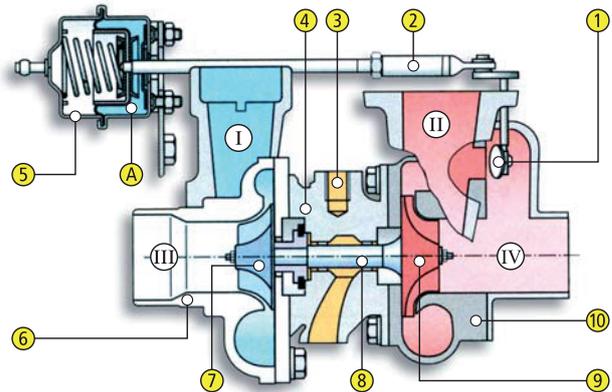
- 1,4 Liter, 125 kW, 240 Nm
- 7,2 Liter/ 100 km
- Roots-Kompressor bis $n_M = 3500$ 1/min mit $i = 0,2 : 1$
- Turbolader für hohe Drehzahlen ausgelegt, $p_{abs} = 2,5$ bar

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. (_____)

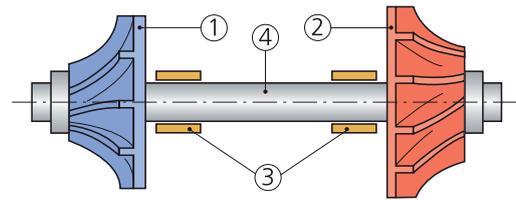
2. a) Ordnen Sie die Nummern der Legende zu!

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



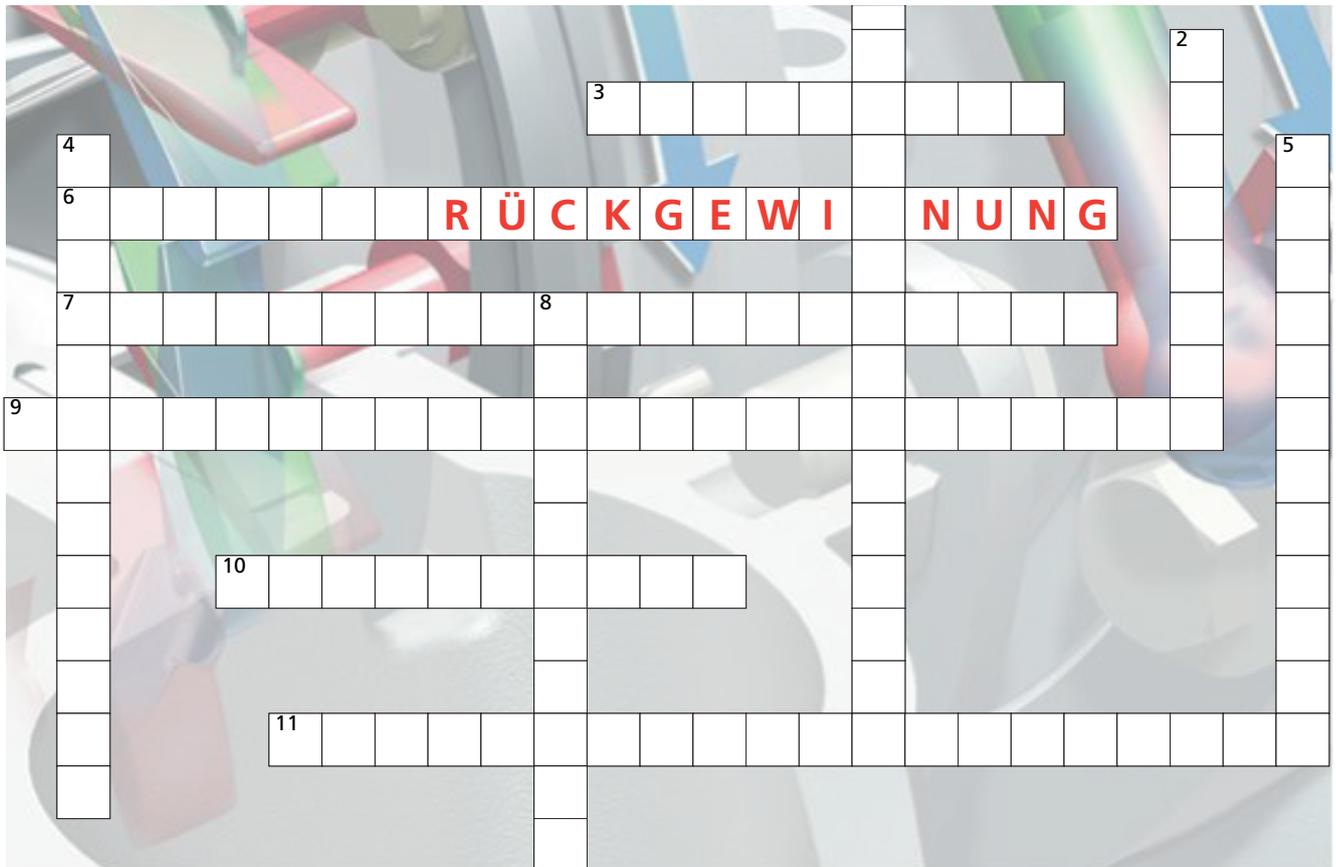
- b) Entscheiden Sie bei folgenden Behauptungen mit richtig «R» oder falsch «F»!
 - a) In Raum A von Pos. Nr. 5 wirkt der Atmosphärendruck. (_____)
 - b) Die Bypassklappe ist im Motorleerlauf geschlossen. (_____)
 - c) Das Ladedruckregelventil wird häufig auch als Pop-off-Ventil bezeichnet. (_____)
 - 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»!
- Diese Baugruppe wird mit dem Fachausdruck als Laufzeug bezeichnet. (___)
 - Die Welle (4) wird mit drehzahlfesten Wälzlager (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. (___)



4. 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. (___)
5. 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. (___)
6. Lösen Sie die SVBA «Motor-Seiten» 323 bis 337.

7. Lösen Sie das Kreuzworträtsel



Waagrecht

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

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

8. Nennen Sie fünf Möglichkeiten, wie bei einem Verbrennungsmotor die Leistung gesteigert werden kann.
9. Warum werden Abgasturbolader eingesetzt? Nennen Sie drei Gründe.
10. Aus welchen wesentlichen Teilen besteht ein Turboladerrotor?
11. a) Bezeichnen Sie Welle, Gehäuse, Gleitlager und Schmierfilme dieser Turboladerrichtung im Bild.
b) Wie wird diese Lagerung genannt?
12. Warum soll ein Turbomotor nach längerer Volllast nicht abrupt ausgeschaltet werden?
13. a) Was ist die Aufgabe des Ladedruckregelventils?
b) Erklären Sie den Grund für den Einsatz und den Weg der Gase bei geöffnetem Ventil!
14. a) Was ist die Aufgabe des Umluftventils?
b) Erklären Sie den Grund für den Einsatz und den Weg der Luft bei geöffnetem Ventil!
15. Wie müssen die Leitschaufeln einer variablen Turbinengeometrie gestellt sein, dass der Ladedruck bei tiefer Motordrehzahl möglichst hoch wird?
16. Wie muss der Verstellring einer variablen Turbinengeometrie gestellt sein, ...
 - a) dass der Ladedruck bei tiefer Motordrehzahl und tiefer Last möglichst hoch wird?
 - b) dass ein Overboost realisiert werden kann?
 - c) wenn das System im Notlauf ist?
17. Welche Aufgabe hat die Ladeluftkühlung? Nennen Sie zwei.
18. Arbeiten Sie die LernCD-Fragen zu dem Thema «Aufladung» durch.

