

Technik Ratgeber

Band 2 | Turboladerbauarten, Funktion



Vorwort

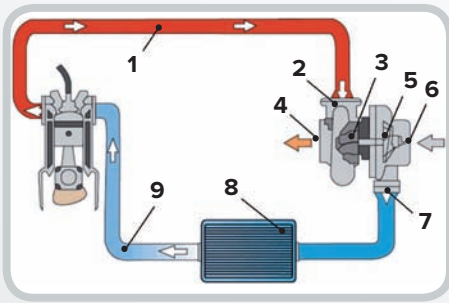
Dieser Ratgeber gibt Ihnen einen Überblick über die Entwicklung der Turboaufladung bei Serienmotoren. Die einzelnen Bauarten werden nach den Entwicklungsstufen geordnet erklärt und die Verbesserungen der Bauvarianten dargestellt. Der Überblick soll Ihnen helfen die Funktionsweise der Turbolader zu verstehen, um Fehldiagnosen bei vermeintlichen Turboladerschäden zu ver-

meiden. Bei einem Turbolader handelt es sich um ein thermisch hoch beanspruchtes Aggregat, das in seiner Funktion relativ einfach gestaltet ist. Entscheidend für die korrekte Funktion ist vorrangig die optimale Ansteuerung und Versorgung. Zu Turboladerschäden und der richtigen Diagnose bei Turboladerschäden finden Sie im BTS Technik Ratgeber Band 1 und 4 nützliche Tipps.

Inhaltsverzeichnis

Inhalt:	Seite:
Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	2
Funktionsweise der Abgasturboaufladung	3
Grundaufbau eines Turboladers	4
• Turbine	4
• Verdichter	5
• Lagerung	5
• Wassergekühlte Lagergehäuse	10
Ladedruckregelungen	10
• Ladedruckregelventil	11
• Ladedruckregelklappe	12
Variable Turbinengeometrie	14
• Arten der Turboladeransteuerung	16
• Weitere Entwicklung der Bauformen	17
Twin-Scroll Aufladung	19
Mehrstufige Aufladungssysteme	19
• 2-stufig geregelte Aufladung	19
• Parallel sequentielle Aufladung	20
• Kompressor und Turbolader	20
• Elektro Booster	21
• 3-stufig geregelte Aufladung	21
Neuentwicklungen	22
• Abgasturbolader mit Aluminiumgehäuse	22
• Hybridaufladung – Cross-Charger	22
Impressum	23

Funktionsweise der Abgasturboaufladung



1. Die heißen Abgase werden vom Motor-Brennraum ausgestoßen und über den Abgaskrümmter direkt zum Turbolader geleitet.
2. Durch den Gaseintritt des Turbinengehäuses gelangen die Abgase in einen sich verengenden Kanal (Drallkanal). Die Abgase werden durch die Querschnittsverengung im Drallkanal beschleunigt und treffen auf die Außenkanten (Gaseintrittskanten) der Turbinenschaufeln und geben die Energie des Abgasstromes an das Turbinenrad (3) weiter.
3. Das Turbinenrad wird rein durch die Abgasenergie in Rotation versetzt. Die Drehzahl des Turbinenrades ist daher abhängig von der Abgasmenge und der Geschwindigkeit des Abgasstroms. Das Turbinenrad ist meist durch eine Reibschweißung mit der Turbinenwelle verbunden, Turbinenrad mit Welle ergibt daher ein Bauteil, dass als Läuferwelle bezeichnet wird.
4. Die Abgase werden durch ein sich verengendes Spiralgehäuse radial von außen nach innen an den Turbinenschaufeln entlang gepresst, versetzen diese in extreme Rotation und verlässen axial das Turbinengehäuse in das Abgassystem (Partikelfilter, Katalysator, Auspuff).
5. Das Verdichterrad ist kraftschlüssig mit der Läuferwelle verbunden und hat somit die gleiche Drehzahl wie

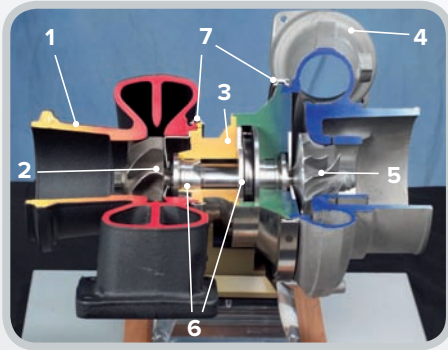
das Turbinenrad. Das Verdichterrad ist mit einer Mutter auf der Welle gesichert.

6. Am Lufteintritt des Verdichtergehäuses wird die Frischluft vom Luftfilter axial in das Verdichtergehäuse eingeleitet. Das Verdichterrad (5) saugt Frischluft infolge des durch die Rotation entstehenden Unterdrucks an und presst sie in den Drallkanal des Verdichtergehäuses. Dabei wird der Querschnitt des Drallkanals immer größer.
7. Der Luftaustritt des Verdichtergehäuses, auch als Druckseite bezeichnet, gibt die verdichtete und durch den Verdichtungsprozess stark erwärmte Luft aus dem Turbolader frei.
8. Im Ladeluftkühler wird die komprimierte und auf bis zu 200 °C erwärmte Luft heruntergekühlt. Die Kühlung ist zur Erhöhung des Sauerstoffgehalts infolge höherer Luftdichte notwendig und bringt bei einer Abkühlung um 50 °C eine Leistungssteigerung des Motors von etwa 15 %.
9. Die abgekühlte und komprimierte Luft wird den Verbrennungsräumen zugeführt und sorgt für einen höheren Sauerstoffanteil beim Verbrennungsprozess.

Effekt:

Mit dem vorhandenen Abgas wird, ohne zusätzlich Energie aufzuwenden, ein Aggregat (Abgasturbolader) betrieben, das für einen Luftüberschuss bei der Verbrennung sorgt. Dieser Vorteil ist aufgrund der hohen Leistungsausbeute, der sauberen und optimierten Verbrennung sowie der daraus resultierenden Kraftstoffeinsparungen bei heutigen Downsizing-, Downspeeding- und Rightsizing-konzepten nicht mehr wegzudenken. Die Turboladertechnik ist ein wichtiger Schlüssel zur Erreichung strengster Abgasnormen.

Grundaufbau eines Turboladers

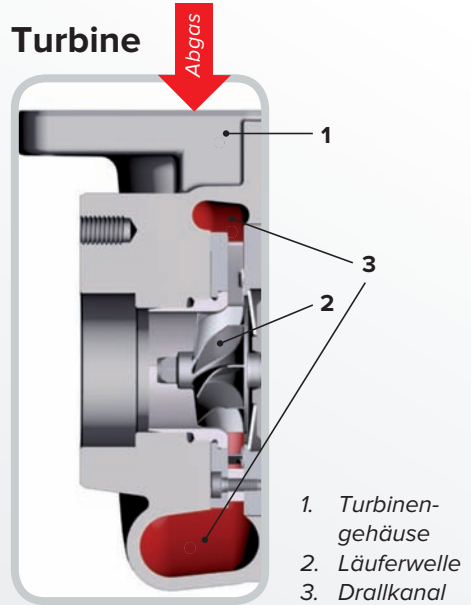


1. Turbinengehäuse
2. Läuferwelle
(=Turbinenrad mit
angeschweißter Welle)
3. Lagergehäuse
4. Verdichtergehäuse
5. Verdichterrad
6. Lagerung
7. Verbindungselemente

Beschreibung:

Der Kern eines jeden Abgasturboladers ist die Rumpfguppe: Sie besteht aus dem Lagergehäuse (3), der Lagerung (6), der Läuferwelle (2) und dem Verdichterrad (5). Die Einzelteile der Rumpfguppe werden montiert und das Verdichterrad mit einer Mutter gesichert. Nach der Montage wird jede Rumpfguppe dynamisch auf einer Wuchtmaschine feingewuchtet (Wuchttoleranz ca. 5 mg). Die Mutter am Verdichterrad darf nicht mehr gelöst werden!

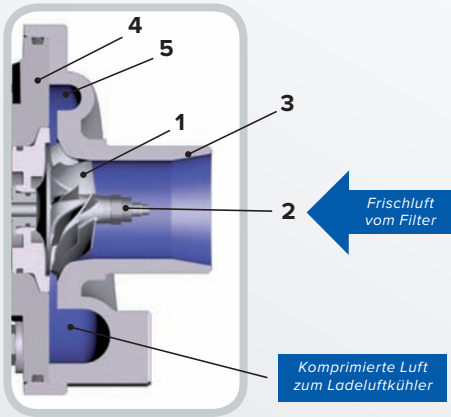
Turbine



Beschreibung:

Die Abgase des Motors werden über den Abgaskrümmen in den Abgasflansch des Turbinengehäuses geleitet. Bei modernen Turboladern können der Abgaskrümmen und das Turbinengehäuse aus einem Gussteil bestehen. Die Abgase durchströmen den sich im Querschnitt verengenden Drallkanal. Durch die Querschnittsverengung erreicht man eine hohe Abgasgeschwindigkeit somit auch eine hohe Drehzahl der Läuferwelle. Die Geometrie des Drallkanals ist mit Ansprecherhalten eines Turboladers, die Drehzahl der Läuferwelle und den Ladedruck. Im unteren Motordrehzahlbereich steht sehr wenig Abgas zur Verfügung, die Folge sind geringe Drehzahlen der Läuferwelle und nur geringer Ladedruck. Dieser Zustand wird als „Turboloch“ bezeichnet. Erst bei steigendem Abgasdruck und somit höherer Drehzahl der Turbinenwelle liegt leistungssteigernder Ladedruck an.

Verdichter



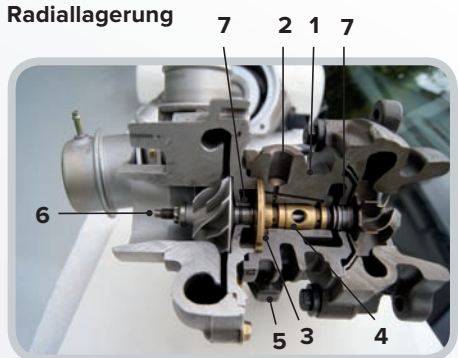
- 1. Verdichterrad
- 2. Sicherungsmutter
- 3. Verdichtergehäuse
- 4. Verdichtergehäuse-Rückwand
- 5. Drallkanal

Beschreibung:

Das Verdichterrad hat die gleiche Drehzahl wie die Läuferwelle. Durch die Geometrie von Verdichtergehäuse und Verdichterradschaufeln wird Unterdruck erzeugt, der über den Luftfilter Frischluft ansaugt, die dann in den Drallkanal des Verdichtergehäuses gefördert wird. Der Querschnitt des Drallkanals öffnet sich immer weiter bis zum Ausgang des Verdichtergehäuses. Die Frischluft wird durch diesen Prozess komprimiert und erhitzt sich auf bis zu 200 °C. Ein auf der Druckseite angeschlossener Ladeluftkühler sorgt dafür, dass die Ladeluft optimal abgekühlt wird. Durch die Abkühlung erhöht sich die Dichte der Luft und der Füllungsgrad im Zylinder steigt. Somit erreicht man einen höheren Sauerstoffanteil bei der Verbrennung, die Leistung des Motors steigt und die Emissionswerte verbessern sich.

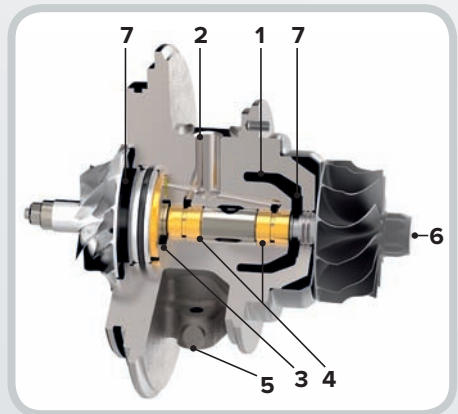
Lagerung

Radiallagerung



Statische (Einbuchsen-)Lagerung

- 1. Lagergehäuse
- 2. Ölzulauf
- 3. Axiallager
- 4. Radiallagerbuchsen
- 5. Öl Ablauf
- 6. Läuferwelle
- 7. Kolbenringabdichtung



Dynamische (Zweibuchsen-)Lagerung

Radiallagerung

Bei den heutigen Serienturboladern dreht sich die Läuferwelle mit bis zu 320.000 Umdrehungen pro Minute. Da der Turbolader nicht zu den Verschleißteilen in einem Fahrzeug zählt, ist die Lagerung der Läuferwelle entsprechend verschleißfrei ausgelegt.

Wir unterscheiden in statische Lagerung und dynamische Lagerung.

So ist bei erst genannter die Lagerbuchse fest in der Rumpfgruppe verankert. Die Welle dreht sich innerhalb einer stehenden Buchse, die von außen mit Öl umspült wird. Somit steht nur ein Ölfilm zur Schmierung, Kühlung und zur Dämpfung der Drehbewegungen zur Verfügung.

Statisch gelagerte Turbolader:

→ Diese Turbolader haben im Ruhezustand nur geringes, fühlbares Lagerspiel, geprüft an der Mutter vom Verdichterrad. Dabei kann der äußere Spalt zwischen Lagergehäuse (1) und der Radiallagerbuchse (3) speziell auf die Lagerdämpfung ausgelegt werden, da keine Drehbewegung stattfindet. Der so mögliche geringere Lagerabstand führt zu einer kompakten Bauweise des Turboladers.

Bei der dynamischen Lagerung (doppelt schwimmende Lagerung) dreht sich die Läuferwelle (6) auf einem Ölfilm innerhalb der Radiallagerbuchsen (4). Die Ölversorgung (2) erfolgt aus dem Motorölkreislauf. Die Lagerung ist so aufgebaut, dass sich zwischen dem stehenden Lagergehäuse (1) und der drehenden Welle (6) sich mit etwa halber Wellendrehzahl mitrotierende Radiallagerbuchsen (4) aus Messing befinden. Es kommt bei dieser Lagerbauart in keinem Betriebszustand zur Festkörperreibung zwischen Lagerung (4) und Läuferwelle (6). Der äußere Ölfilm dient zur Dämpfung und sorgt für eine stabile Wellenbahn des Läufers (6).

→ Erst der anliegende, korrekte Öldruck sorgt für die verschleißarme Lagerung und lange Lebensdauer der Turbinenwelle.

Axiallagerung

Weder die statische noch die dynamische Lagerung nehmen Kräfte in axialer Richtung auf. Durch die unterschiedlich hohen Gaskräfte, die auf das Verdichterrad und das Turbinenrad in axialer Richtung wirken, würde der Läufer (6) in axialer Richtung verschoben werden. Das Axiallager (3), ein Keilflächen-Gleitlager, nimmt diese Kräfte auf. Als Anlaufflächen dienen zwei kleine Scheiben, die fest auf der Welle verspannt sind. Das Axiallager (3) ist im Lagergehäuse (1) fixiert.

→ Ein minimales, gerade fühlbares Axialspiel, gemessen an Mutter des Verdichterrades ist notwendig, damit sich ein Ölfilm zwischen Axiallager und Druckring aufbauen kann.

Großes Axialspiel hat die Ursache im Axial Schub, der entweder auf Behinderungen im Ansaugtrakt oder durch zu hohen Abgasgegendruck (max. 0,3 Bar) im Bereich der Abgasanlage zurück zu führen ist.



Axiallager mit Keilflächen



Druckring

Kugellager

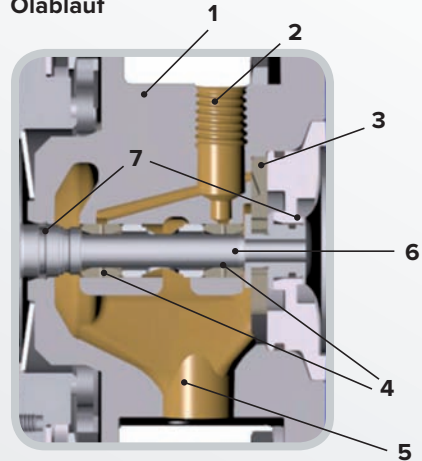
Kugelgelagerte Turbolader waren bis 2010 kaum bei Serienfahrzeugen eingesetzt, ihr Einsatz war auf Hochleistungsanwendungen, den Rennsportbereich oder auf getunte Fahrzeuge beschränkt. Mit einem kugelgelagerten Turbolader wird ein schnelleres Ansprechverhalten erzielt (Verkürzung der Boost Zeit), da die Kugellagerkartusche weniger Energie absorbiert als ein Gleitlager. (Der anliegende Öldruck zwischen Lagerbuchse und Turbinenwelle hemmt das Beschleunigen der Welle.) Ein weiterer Vorteil dieser Lagerart ist die Belastbarkeit des Lagers in axialer und radialer Richtung, was im Rennsportbereich durch die hohen Lastwechselkräfte und dem entstehenden hohen Axial Schub erforderlich ist. Der große Nachteil dieser Lagerbauart lag in der beschränkten Auslegungsgrenze (nutzbarem Drehzahlband), der größeren Anfälligkeit infolge von Abnutzungserscheinungen zwischen den Kugellagern in den Stahlkanälen (kaltes Verschweißen) was zum Eintrag von Verschleißpartikeln ins Öl führte. Auch sind die Herstellungskosten dieser Lader deutlich höher.



2010 gelang Honeywell mit der Einführung der Keramik-Hybrid-Kugellagerkartuschen in Verbindung mit der VNT Regelung der Durchbruch in der Großserie. Der Vorteil

der Keramikkugeln (aus Siliziumnitrid) liegt im geringeren Gewicht (nur 40 % Masse im Vergleich zu Stahl), damit geringere Trägheit, geringere Vibrationen, reduzierte Zentrifugalkräfte und geringere Wärmeentwicklung.

Ölablauf



1. Lagergehäuse
2. Ölzulauf
3. Axiallager
4. Radiallagerbuchsen
5. Ölrücklauf
6. Läuferwelle
7. Kolbenringabdichtung

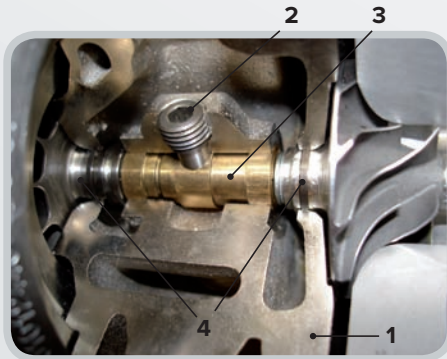
Das Schmieröl strömt mit ca. 4 bar in den Turbolader (2). Der Ölablauf (5) erfolgt nahezu drucklos. Die Leitung ist daher im Durchmesser wesentlich größer ausgelegt als der Ölzulauf (2). Das Lager wird konstruktiv bedingt senkrecht von oben nach unten durchströmt und der Ölrücklauf erfolgt oberhalb des Motorölspegels in das Kurbelgehäuse. Wird aber der Ölrücklauf im Betrieb behindert, kommt es zu einem Ölrückstau in der Lagerung. Das Öl strömt dann durch die Kolbenringabdichtung (7) in das Verdichter- und in das Turbinengehäuse. Es gelangt somit in die Ladedruckleitungen und den Abgaskanal.

Abdichtung

Das Lagergehäuse (1) ist gegen die heißen Abgase der Turbine, die sonst in das Lagergehäuse strömen würden und gegen den Ölverlust aus dem Lagergehäuse radial abgedichtet. Turbinen- und verdichterseitig befinden sich je nach Ausführung ein oder zwei Kolbenringe (7) in einer Nut auf der Läuferwelle (6). Diese Kolbenringe drehen sich nicht mit, sondern sind im Lagergehäuse (1) fest verspannt. Diese Labyrinthdichtung erschwert die Ölleckage durch die vielen Strömungsumlenkungen und bewirkt, dass nur geringe Abgasmengen in die Rumpfgruppe gelangen.



Doppelte Kolbenringabdichtung



Einfache Kolbenringabdichtung

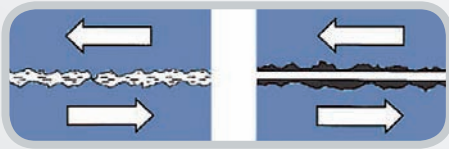
1. Lagergehäuse
2. Lagerfixierung
3. Radiallagerbuchse
4. Kolbenringabdichtung

Montagehinweis!

Bei der Montage eines neuen Turboladers ist größte Vorsicht geboten. Da ein stabiler Ölfilm zwischen den Lagerbauteilen unbedingt erforderlich ist, muss vor dem Anschluss der Ölzulaufleitung des Turboladers der komplette Ölzulaufkanal mit frischem Motoröl, besser aber mit den BTS Erstbefüllungsadditiv, aufgefüllt werden. Sollte die Erstbefüllung unterlassen werden, kommt es durch den Trockenlauf im Lager auf Grund der enormen Drehzahlen der Läuferwelle in kürzester Zeit zu Verschleißschäden oder gar zum Totalausfall des Turboladers.

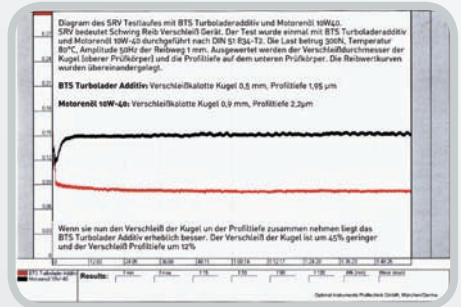
Durch die Verkleinerung der Baugrößen der Turbolader und der Forderung der Fahrzeughersteller nach hohen Ladedrücken bereits bei erhöhter Leerlaufdrehzahl (Beispiel: ein Twin Scroll Turbo erreicht bei 1.000 U/min bereits einen Ladedruck von 1,1 Bar) erreichen Turbolader heute im Leerlauf schon Drehzahlen bis zu 15.000 U/min und beschleunigen innerhalb einer Sekunde auf 150.000 U/min. BTS empfiehlt deshalb unbedingt das sofortige Starten des Motors zu unterbinden (z. B. Injektor abklemmen) und die Ölversorgung durch Betätigen des Anlassers aufzubauen. Gut bewährt haben sich 3 x 20 s starten mit 10 s Pause um eine Überbeanspruchung der Anlassanlage zu vermeiden.

Um einem Ausfall des Turboladers durch eine fehlende oder mangelhafte Erstbefüllung vorzubeugen, liefert die BTS GmbH bei jedem Turbolader ein spezielles Additiv, das in enger Zusammenarbeit mit Liqui Moly entwickelt wurde, mit. Das Additiv erhöht durch die Benetzung der Lageroberflächen die Notlaufeigenschaften des Laders, womit Schäden an der Lagerung bei der Inbetriebnahme minimiert werden.



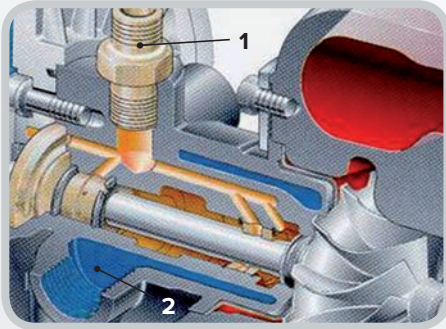
In der Grafik sehen Sie eine Lageroberfläche in der vielfachen Vergrößerung. Trotz modernster Bearbeitungsmethoden ist eine Oberflächenrauheit immer vorhanden. Das Additiv glättet die Oberflächen und vergrößert somit die nutzbare Lagerfläche deutlich.

Die Wirkstoffkombination aus chemisch wirkenden Additiven und dem Festschmierstoff MoS₂ garantiert einen verschleißarmen Einlauf. Die laminierte Struktur der MoS₂-Partikel füllt die Oberflächenrauigkeit des Metalls auf und reduziert so Reibung und Verschleiß. Durch eine speziell abgestimmte Additivkombination wird zusätzlich der Reibungsbeiwert um ca. 40 % gesenkt. Diese Wirkstoffkombination lässt sich im Öl nachweisen. Die Verwendung des BTS-Turbolader-Additivs kann bei einer Schadensanalyse nachträglich festgestellt werden.



Wassergekühltes Lagergehäuse

Ladedruckregelungen



1. Ölzulaufanschluss
2. Wasserzulaufanschluss



Beschreibung:

Um einer Überhitzung des Öls vorzubeugen, werden bei Ottomotoren, deren Abgastemperaturen noch 200 bis 300 °C höher liegen als bei Dieselmotoren, teilweise wassergekühlte Lagergehäuse eingesetzt. Während des Motorbetriebes ist das Lagergehäuse in den Kühlkreislauf des Motors integriert.

Bereits nach kurzer Zeit (ab 55 Sekunden!) hat der Turbolader im Benzinmotor seine Betriebstemperatur erreicht und glüht. Beim sofortigen Abstellen in diesem Zustand (Heißabstellen) bei nicht nachlaufendem Kühlkreislauf verdunstet das Kühlmedium und auch das Motoröl verkockt. Wichtig ist, dass nach dem Abstellen des Motors die Stauwärme mittels eines separaten Kühlkreislaufes abgeführt wird, betrieben z. B. von einer thermostatisch geregelten elektrischen Wasserpumpe.

Eine Ladedruckregelung ist bei heutigen Serienturboladern nicht mehr wegzudenken. Da die Drehzahl des Abgasturboladers von der Abgasmenge abhängig ist, wird die Turbinenseite für ein schnelles Ansprechverhalten ausgelegt, d. h. der Drallkanal des Turbinengehäuses ist mit einem engen Ausgangsquerschnitt ausgelegt. Dadurch wird eine hohe Strömungsgeschwindigkeit der Abgase und somit eine hohe Turbinendrehzahl erreicht. Parallel dazu steigt natürlich auch der Ladedruck sehr schnell an. Bei maximaler Motordrehzahl und Abgasmenge würde die Läuferwelle des Turboladers zu schnell drehen. Um Schäden zu verhindern und die Drehzahl zu begrenzen, müssen die Abgase vor dem Auftreffen auf die Turbine aus dem Turbinengehäuse ausgeleitet werden. Eine andere Möglichkeit, die Turbinendrehzahl zu begrenzen, ist die variable Veränderung des Ausgangsquerschnitts durch eine variable Turbinengeometrie (VTG).

Schubumluftregelung:

Für Benzinturbomotoren ist noch eine weitere Regelung notwendig. So muss beim Schließen der Drosselklappe (Gas wegnehmen), der sich zum Turbo zurück stauende Ladedruck abgeleitet werden, bevor die Drucksäule die Turbinenschaufeln erreicht. Ein Rückstau des Ladedrucks beschädigt die Schaufeln des Verdichterrades und führt zum Ausfall des Turboladers. Zum Abblasen des Überdruckes wurden früher Abblasventile (Pop Off) eingesetzt. Infolge der immer strengeren Umweltnormen darf keine ungereinigte Abluft mehr an die Umwelt abgeführt werden. So wird der entweichende Ladedruck mit einem Schubumluftventil (SUV) aus der Ladedruckseite abgeleitet und vor dem Verdichterrad der Ansaugluft wieder zugeführt. So wird zum Umweltschutz auch noch ein schnelleres Ansprechen des Turboladers erreicht.

Ladedruckregelventil



Membran gesteuertes SUV

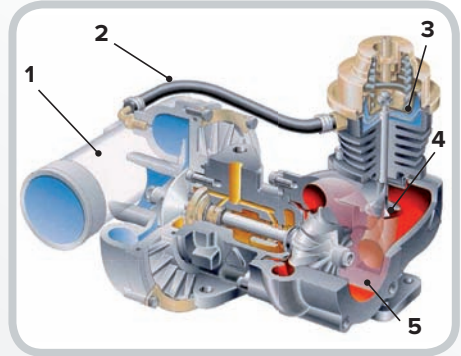


Zylindergesteuertes SUV



Im Verdichtergehäuse integriertes SUV

Während die ersten beiden Modelle in separaten Bypassleitungen enthalten waren, integrieren modernste Konstruktionen das SUV in das Verdichtergehäuse. Infolge dessen konnten die Ansprechzeiten der Turbolader weiter verbessert, der Verbrennungszyklus optimiert, sowie der Schadstoffausstoß reduziert werden.



1. Verdichtergehäuse
2. Steuerleitung
3. Federbelastete Membran
4. Ventil
5. Gasaustritt Turbinengehäuse

Die Regelung des Turboladers mittels Ladedruckregelventil wird in modernen Konstruktionen nicht mehr angewendet. Ihre Einführung war in den 80er Jahren der Durchbruch bei der Leistungssteigerung bei Dieselmotoren. Durch die Einbaulage auf dem Turbinengehäuse war das Ventil hohen Temperaturen ausgesetzt.

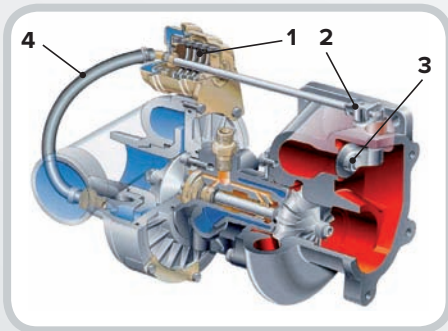
Die Folge war das Aushärten und damit der Ausfall der Druckmembran, sowie das Verrußen des Ventilschaftes wodurch das Ventil sich verklemmte. Auch die Steuerleitung war infolge der Einbaulage und der Umgebungstemperaturen anfällig. Auch sorgte Verbiss durch Marder für manchen Ausfall.

Beschreibung:

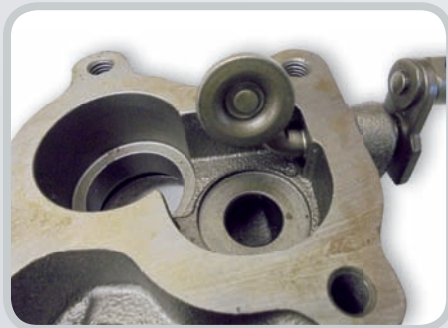
Um ein schnelles Ansprechverhalten des Turboladers zu erzielen, ist im unteren Motordrehzahlbereich das Ventil (4) geschlossen; der gesamte Abgasstrom trifft auf die Turbine. Beim Motorhochdrehen steigen der Abgasdruck und parallel dazu der Ladedruck. Der Druck im Verdichtergehäuse (1) wird über eine Steuerleitung (2) an eine federbelastete Membran (3) weitergegeben.

Ab einem bestimmten Druck öffnet das Ventil (4) und sorgt dafür, dass ein Teil der Abgase ungenutzt in den Gasaustritt des Turbinengehäuses (5) entweicht. Durch diese Aufteilung des Abgasstromes werden die Drehzahl und somit auch der Ladedruck begrenzt.

Ladedruckregelklappe



1. *Steuerdose*
2. *Steuerdoseneinstellung*
3. *Regelklappe*
4. *Steuerleitung*



Beschreibung:

Der „Klappenlader“ oder auch Wastegate-Lader genannt, ist die Weiterentwicklung des Regelventils. Konstruktiv wurde die Regeleinrichtung auf die „kalte Seite“, die Verdichterseite des Turbos versetzt. Das Regelventil wurde durch eine Regelklappe ersetzt und die beiden Komponenten mit einer Regelstange verbunden. Die Ansteuerung kann mit Überdruck, Unterdruck oder durch elektropneumatische Wandler erfolgen. Sie wird heute noch überwiegend im Bereich der Benzinmotoren, für leistungsarme Dieselmotoren oder als Verbundlader in Mehrladerkonstruktionen verwendet. Die Steuerdose (1) wird über die Steuerleitung (4) mit dem aktuellen Ladedruck angesteuert. Die Regelklappe (3) öffnet sich komplett bei maximalem Ladedruck und sorgt auch hier für eine Aufteilung des Abgasstromes. Fällt der Ladedruck ab, so schließt sich die Regelklappe und der Abgasstrom beschleunigt komplett die Turbine. An der Steuerdoseneinstellung (2) darf keinesfalls eine Veränderung vorgenommen werden; sie dient lediglich der Grundeinstellung beim Turbolader-Hersteller. Eine Verstellung könnte zum Überdrehen oder einem starken Leistungsverlust des Turboladers führen. Der Vorteil dieser Bauart liegt bei der Platzierung der Steuerdose an dem weniger thermisch beanspruchten Verdichtergehäuse, der einfachen Konstruktion und vergleichsweise geringen Kosten.

Weiterentwicklungen der Regelklappe

Neueste Entwicklungen verlangen auch von der Ladedruckregelung eine volle Diagnosefähigkeit. Folgerichtig war die Kombination der pneumatischen Regeldose mit einem Positionssensor. Für die weitere Optimierung der Verbrennungsvorgänge und eine Emissionsverbesserung waren schnellere Reaktionszeiten der Regelklappen notwendig. Pneumatisch war dieses Problem nur aufwendig zu lösen, indem die Regeldose mit Unterdruck, Überdruck und atmosphärischem Druck angesteuert werden musste.

So hielten die elektronischen Aktuatoren auch im Bereich der Klappenlader Einzug. Modernste Konstruktionen erreichen eine Regelfrequenz $200 \mu\text{s}$ und eine Öffnungswinkeländerung von 5° .



Regeldose mit Positionssensor



Elektronischer Aktuator am Klappenlader von Cummins Turbo Technologies

Ein weiterer Entwicklungsschritt ist die Weiterentwicklung des Klappendesigns. Hier wird vom klassischen Tellerdesign immer mehr zu Kegel und Pfeilformen übergegangen. Somit werden die Abgasströme optimiert. Die Kegeldichtflächen sorgen für bessere Abdichtung und haben durch die Form eine bessere Wärmeableitung. Sie sind robuster und erreichen damit höhere Standzeiten als herkömmliche Konstruktionen. Sie tragen somit der Erhöhung der Abgastemperaturen Rechnung. Auch gelingt es mit der Kegelform, die Pulsation (Schwingen der Abgassäule) die besonders bei 3 Zylindermotoren auftritt, zu eliminieren.

Variable Turbinen Geometrie

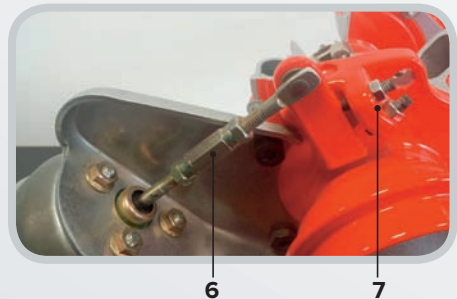
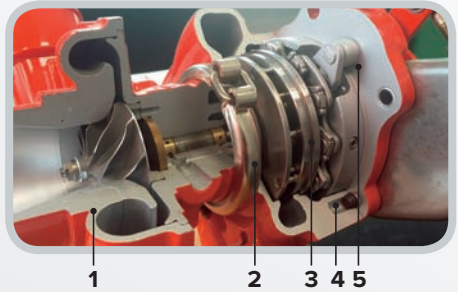
Neuartig ist auch die Twin Port Wastegate Technologie von Cummins Turbo Technologies, hierbei werden zwei Kegel zur Ladedruckregelung verwendet. Bei Twin Scroll (Zweikanal) Technologien ist erstmal möglich, Überdruck aus beiden Kanälen abzublasen. Kombiniert mit elektronischen Aktuatoren ist es ein weiterer Entwicklungsschritt für Euro 6 und EPA 13 Norm.

geschützte Begriffe:

- VTG Variable Turbinengeometrie, geschützt durch KKK (BorgWarner)
- VNT Variable Nozzle Turbine, geschützt durch Garrett by Honeywell
- VGS Variable Geometry System, geschützt durch IHI Charging System International

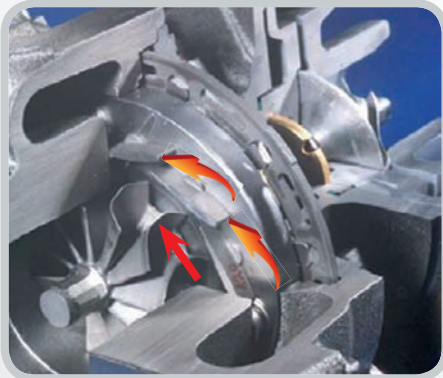


Garrett by Honeywell:
Kegeldesign der Klappe

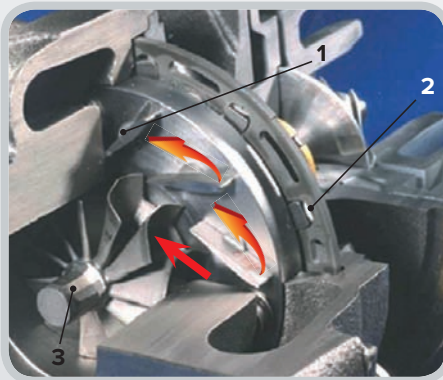


Cummins Turbo Technologies:
Twin Port Wastegate

1. Verdichtergehäuse
2. Verbindungselement
3. VTG Leitkranz
4. Turbinengehäuse
5. Hebelwerk VTG
6. Justierung der pneumatischen Ansteuerung
7. Anschläge zur Einstellung des Abgasdurchsatzes (Minflow/Maxflow)



VTG geschlossen: Abgase treffen die Außenkanten des Turbinenrades



*VTG offen: Abgase treffen erst im Kernbereich auf das Turbinenrad.
Bei Motor aus – VTG offen*

1. Leitschaufel
2. Verstellring
3. Turbinenrad

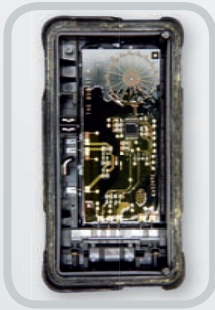
Beschreibung:

Durch die variable Turbinengeometrie wird das „Turboloch“ nahezu ausgeschaltet. Der Drallkanal des Turbinengehäuses wird bei dieser Bauart an den Volllastbereich angepasst. Bei maximaler Abgasmenge werden die Leitschaufeln komplett geöffnet (Bild VTG offen) und der Abgasstrom durch einen großen Strömungsquerschnitt in den Kernbereich der Turbinenschaufeln geleitet. Durch den höheren Drehwiderstand im Kernbereich der Turbinenwelle und der in steilem Winkel eingepressten Abgase wird ein Überdrehen der Turbinenwelle verhindert. Im unteren Motordrehzahlbereich wird durch Schließen der Leitschaufeln (Bild VTG geschlossen) der Strömungsquerschnitt stark verengt. Die Abgase treffen durch einen kleinen Spalt nur auf die Außenkanten (Gaseintrittskanten) des Turbinenrads. Konstruktiv erreicht man so mit wenig Abgasdruck eine hohe Turbinendrehzahl und somit hohen Ladedruck. Der große Vorteil dieser Technik ist das breite, nutzbare Drehzahlband des Motors. Bei dieser Regelung steht bereits bei geringer Motordrehzahl ein nutzbarer Ladedruck zur Verfügung. Durch die Veränderung der Anstellwinkel der nicht mitrotierenden Leitschaufeln wird somit die Drehzahl des Turboladers an den Leistungsbedarf des Motors angepasst. Der Leitring sorgt für eine gleichmäßige Verstellung der Leitschaufeln und wird über einen Hebelmechanismus von einer Druckdose oder einer elektronischen Stelleinheit angesteuert. Die Einstellung und Justierung erfolgt herstellerseitig auf einer Flutbank mit realen Druckverhältnissen. Nur dort können die VTG Fahren exakt positioniert werden und der minimale (Minflow) und maximale (Maxflow) Abgasdurchsatz justiert werden. Die Einstellungen dürfen keinesfalls verändert werden.

Arten der Turboladeransteuerung



Pneumatisch gesteuerte Regeldosen, rechts mit Über-, Unter- und Steuerdruckanschlüssen



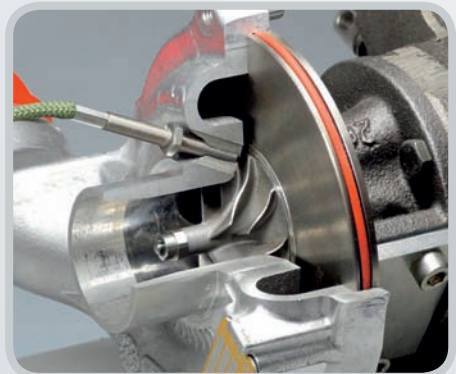
REA – Regelung mit eigenem Prozessor *SREA – Regeleinheit*

Einfache Turboladerkonstruktionen kommen mit einer Unter- oder Überdruck gesteuerten Membran gesteuerten Regeldose aus.

Für extrem schnell drehende Turbolader (Smart) sind wegen der sehr kurzen Regelzyklen sehr aufwendige Konstruktionen der Regeleinrichtung notwendig. Die Regelungen verfügen über Anschlüsse für Unter-, Über- und atmosphärischen Druck. Die logische Weiterentwicklung waren elektronische Regeleinrichtungen. Die 1. Generation Rotary Electronic Actuator (REA) erreichte bereits extrem kurze Reaktionszeiten und

ermöglichte VTG Fahnen Verstellung um 5°. Diese Regeleinrichtungen verfügen über einen eigenen Prozessor und müssen auf dem Prüfstand genau auf den jeweiligen Turbolader kalibriert werden. Der Austausch der REA Regeleinheit wird durch die Turboladerhersteller abgelehnt, da eine genaue Justierung auf die Mindestdurchlassmenge von Abgasen nicht erfolgen kann. Der in der Regeleinheit integrierte Prozessor behinderte den Datenaustausch mit der Motorelektronik und der OBD. Die Weiterentwicklung war die Simple Rotary Electronic Actuator (SREA) Einheit. Sie ermöglicht unter anderem die Übermittlung der genauen Fahnenposition, übermittelt Fehler im Bewegungszyklus und ist voll diagnosefähig. Neuste Konstruktionen haben eine Reaktionszeit von 200 μ s.

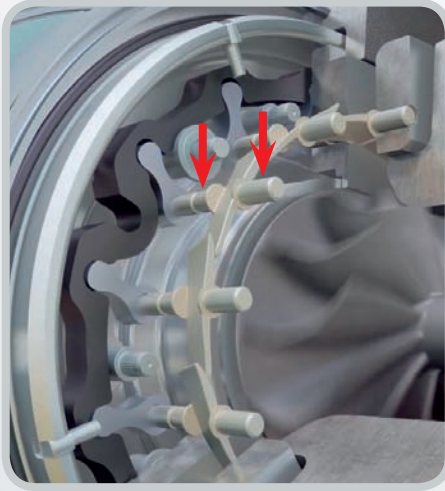
Ein weiterer Entwicklungsschritt zur vollständigen Überwachung ist die Drehzahlüberwachung der Turbinenwelle. Sie erfolgt mittels „Speedsensor“ z. B. auf der Verdichterseite. So können VTG Stellung und Turbinendrehzahl überwacht werden und ermöglichen so eine noch präzisere Aufladung. Gleichzeitig wird eine Zerstörung des Turboladers infolge Überdrehzahl verhindert.



Drehzahlabnahme mittels Speedsensor by MicroEpsilon

Weitere Bauformen der variablen Turbinengeometrie

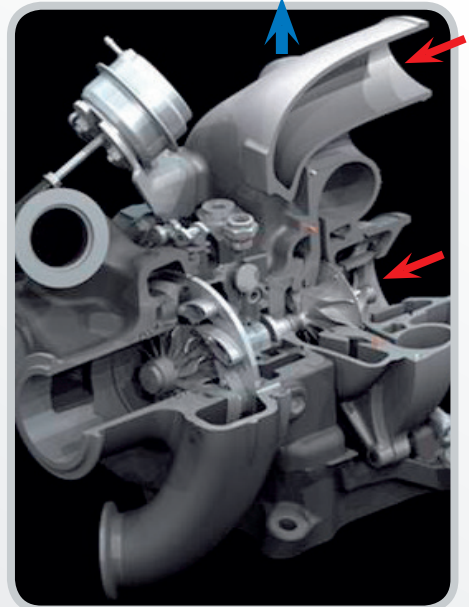
Garrett VNT DutyDrive Turbo



VNT- Fahnen sind beidseitig im Gehäuse gelagert

Im Nutzfahrzeug und Schwerlastbereich genutzte Turbolader sind noch wesentlich härteren Nutzungsbedingungen hinsichtlich der Druckverhältnisse ausgesetzt. Während im Pkw Abgasdrücke bis 3 Bar herrschen, können im Nutzfahrzeugs-ektor Drücke bis über 5 Bar unter Einsatz der Motorbremse auftreten. Deshalb hat Garrett das DutyDrive Konzept entwickelt. Die VTG Fahnen sind auf zwei Achsen zwischen Verstell- und Düsenring gelagert und erhalten beidseitig Abgasdruck. Das bietet eine kürzere Beruhigungszeit der Fahnen, führt zu einer erheblichen Verbesserung der Motorbremse und zu einer Optimierung der Abgasrückführung. Eine speziell für die hohen Belastungen ausgelegte elektronische Ansteuerung, sowie Titan-Verdichterrad und Drehzahlsensor komplettieren die VNT DutyDrive Turbos von Garrett.

Garrett VNT™ DualBoost™



Rote Pfeile: zwei separate Ansaugkanäle, blauer Pfeil: 1 Ladedruckkanal



Rote Pfeile: zweiseitiges Verdichterrad

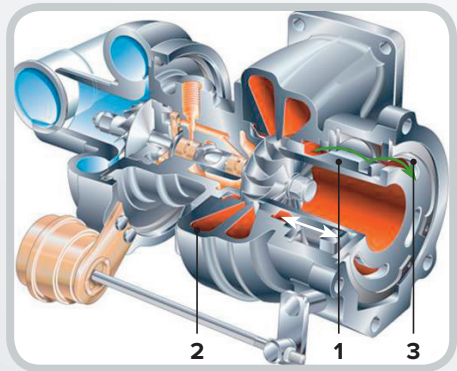
Hier gelang es erstmals eine neue Verdichter Technologie zu entwickeln, welche fast die Leistung einer zweistufigen Aufladung in einem einzigen Turbolader ermöglicht. Die Ingenieure von Honeywell konnten mit DualBoost erfolgreich den Luftstrom von zwei Verdichterrädern in einem einzigen Verdichtergehäuse kombinieren. Zwei Verdichterräder wurden zu einem einzigen Bauteil mit spiegelbildlich angeordneten Schaufeln. Diese befinden sich in einem komplett neu entwickelten Verdichtergehäuse mit zwei separaten Eingängen und einem einzigen, gemeinsamen Ausgang. Mit dieser Entwicklung gelang nicht nur ein Quantensprung bezüglich der Turboladerleistung, sondern auch die Baugröße und das Gewicht gegenüber einer herkömmlichen 2-stufigen Aufladung konnten deutlich verringert werden.

*Cummins Turbo Technologie:
variable Turbinengeometrie*



Bei dieser Technologie für Nfz-Anwendungen, wird die veränderliche Geometrie durch einen Leitschaukelring gewährleistet, der axial verschoben wird und den Abgaskanal öffnet oder schließt (grauer Pfeil). Je breiter der Spalt (roter Pfeil) öffnet, desto mehr Abgas trifft auf die Leitschaufeln. Bei dieser Konstruktion sind die Leitschaufeln fixiert, der Winkel des Abgasstromes zum Auftreffen auf die Schaufeln des Turbinenrades ist nicht veränderbar.

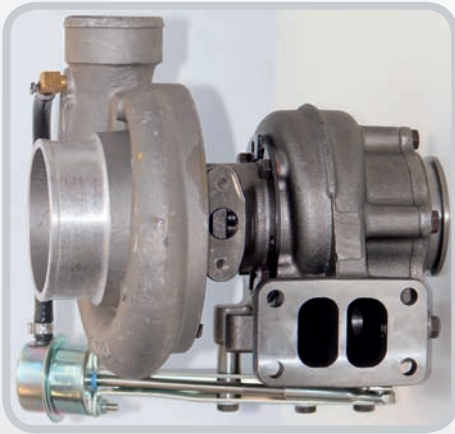
VST – Variable Schieber Turbine von BorgWarner



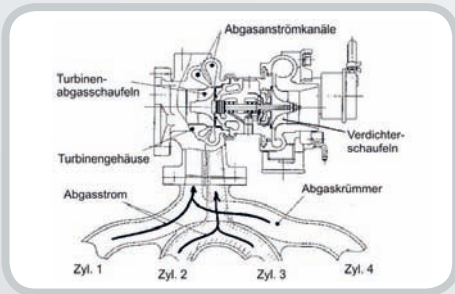
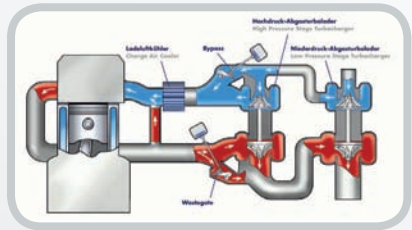
Konstruktiv ähnlich ist die VST Turbine aufgebaut. Ein axial verschiebbarer Zylinder (1), der auf eine Buchse gleitet, ermöglicht die effiziente Abgasmengensteuerung. Bei niedrigen Drehzahlen ist nur der linke Abgaskanal (2) freigegeben. Der Wirkungsgrad entspricht einem kleinen unregelmäßigem Lader und sorgt für schnelles Ansprechverhalten. Bei steigendem Abgasdruck wird der rechte Kanal durch den Regelschieber freigegeben. Bei Überschreitung des Maximaldrucks öffnet ein Bypass (3) und der Überdruck entweicht in die Abgasanlage ohne das Turbinenrad zu streifen.

2-stufig geregelte Aufladung

Twin-Scroll Aufladung



Twin-Scroll – 2 getrennte Abgaskanäle im Turbinengehäuse



Funktion:

Die Twin Scroll Aufladung ist ein weiterer Optimierungsschritt bei der Abgasturboladertechnik.

Hierbei werden die unterschiedlichen Längen der Abgaskanäle der einzelnen Zylinder ausgenutzt. Bei den beiden inneren Zylindern 2 + 3 werden die Abgasrohre gebündelt und gelangen genau wie die Abgasrohre der Zylinder 1 + 4 in je einen separaten Anströmkanal der Turbinenseite des Turboladers. Durch die geringeren Abgaswege der inneren Zylinder erreicht man ein deutlich schnelleres Ansprechen des Turboladers. Der Twin Scroll kann mit den unterschiedlichen Bauarten kombiniert werden.

Biturbo Aufladung:

Bei der zweistufig geregelten Aufladung werden zwei Abgasturbolader in einem System beispielsweise durch eine Reihenschaltung verbunden. Im unteren Motordrehzahlbereich bleibt das Wastegate geschlossen, die Abgasenergie wird auf die Turbine des kleineren Hochdruck Abgasturboladers geleitet. Das Verdichterrad des kleinen Hochdruck-Turboladers übernimmt den Großteil der Verdichtungsarbeit. Im mittleren Motordrehzahlbereich wird das Wastegate geöffnet und beide Turbinen durch den Abgasstrom angetrieben. Auf der Verdichterseite arbeitet das Verdichterrad des Niederdruck-Abgasturboladers als Vorverdichter und das Verdichterrad des Hochdruck-Abgasturboladers als Nachverdichter. Sobald der obere Motordrehzahlbereich erreicht wird, öffnet zur Abregelung des Ladedrucks das Bypassventil und leitet einen Teil der vorverdichteten Luft am Hochdruck-Verdichterrad vorbei direkt über den Ladeluftkühler zum Brennraum. Das Wastegate bleibt hierbei geöffnet.

Effekt:

Durch die Reihenschaltung dieser Aufladetechnik wird der Leistungsbedarf des Motors in allen Lastbereichen abgedeckt. Der kleinere Turbolader sorgt bei geringem Abgasmassenstrom für ein schnelles Ansprechverhalten und der größere für die Abdeckung im oberen Motordrehzahlbereich.

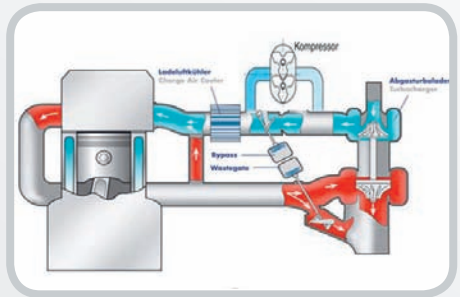
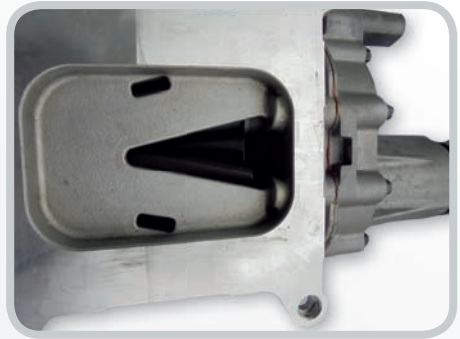


Parallel sequentieller Biturbo (PSA)

Parallel sequentielle Aufladung, hierbei werden 2 kleine identische Abgasturbolader miteinander kombiniert. Im unteren Drehzahlbereich übernimmt ein Lader die Aufladung, der Zweite schaltet sich erst bei höheren Drehzahlen zu. Dies geschieht je nach Last zwischen 2.600 und 3.200 U/min. Vorteil: Die Lader sind klein und besitzen deshalb eine geringe Massenträgheit. So sprechen sie schon bei geringem Abgasdruck an. In der Konsequenz steht bereits bei 1.500 U/min das maximale Drehmoment zur Verfügung.

Kompressor und Turbolader

Die Technik der zweistufigen Aufladung wird heutzutage immer wichtiger. Neuentwicklungen zielen auf hubraumkleine Motoren wie z. B. den 1,4 TSI Motor von VW ab. Diese hubraumkleinen Motoren haben für ein schnelles Ansprechen des Turboladers im unteren Lastbereich einen nur geringen Abgasmassenstrom zur Verfügung.

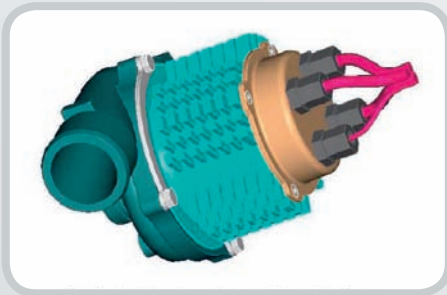
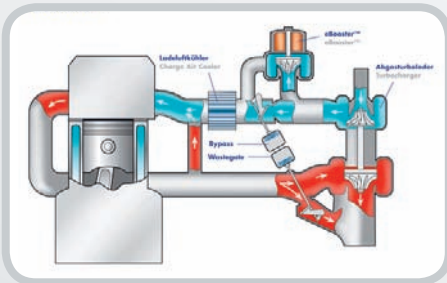


Konstruktiv benötigt man hier eine kleine Baugröße um ein schnelles Ansprechen zu gewährleisten, im hohen Drehzahlbereich eine große Baugröße um den maximalen Abgasstrom zu nutzen. Um diese Aufgabe zu lösen, wird die Kombination eines Abgasturboladers für den oberen Lastbereich mit einem Kompressor für den unteren Lastbereich ausgenutzt. Der Kompressor wird hierbei über die Kurbelwelle des Motors übersetzt angetrieben, was für einen schnellen Ladedruckaufbau sorgt. Der große Nachteil des Kompressors, das Verzehren von Leistung durch den Riemenantrieb, wird beseitigt, indem der Abgasturbolader im mittleren Drehzahlbereich die Arbeit aufnimmt und der Kompressor abgekoppelt wird. Mit dieser Methode werden hohe Ladedrücke um die 2,5 bar erzielt und die Hubraumverkleinerung mehr als ausgeglichen.

3-stufig geregelte Aufladung

Elektro Booster

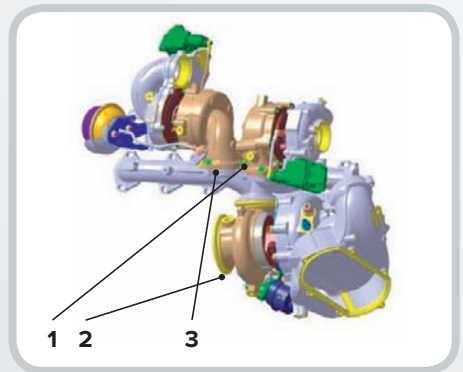
Der eBooster ist eine weitere Entwicklungsstufe der mehrstufigen Aufladung. Hierbei wird anstatt des kleinen Hochdruck Abgasturboladers oder des Kompressors ein Elektrolüfter (eBooster) in den Ladedruckkreislauf integriert. Dieser übernimmt im unteren bis mittleren Drehzahlbereich die Aufladung bis genug Abgasmenge vorhanden ist, um den groß dimensionierten Turbolader anzutreiben. Dieser übernimmt dann bis zur Abregelgrenze die Aufladung.



eBooster™ Design Studie

Triturbo R3S System BorgWarner

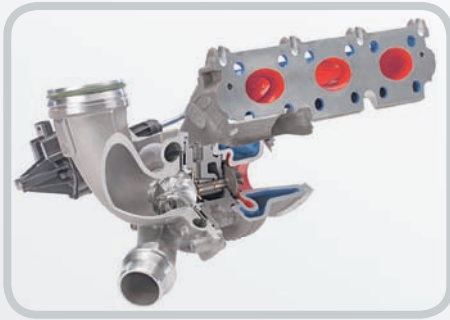
Diese Entwicklung zeigt, dass derzeit technisch mögliche zur effizienten Leistungsausbeute bei Dieselmotoren durch Turboaufladung. An den aktuellen BMW 3,0 Liter Reihenmotor Dieselaggregaten mit Common Rail Direkteinspritzung wurde eine 3 stufige Aufladung integriert, welche beeindruckende Leistungs- und Verbrauchswerte vereint. 280 KW Leistung bei nur 165 g CO² / Km sind erstmalig bei einem Serienmotor erreicht worden. 25 % mehr Leistung und 8 % Kraftstoffeinsparung gegenüber der 2-stufigen Aufladung beim Vorgängermodell.



Funktion:

Ab Start beschleunigt der kleine VTG Hochdrucklader (1) und sorgt trotz geringer Abgasmenge für hohen Ladedruck. Ab ca. 1.500 U/min bringt der größer dimensionierte Niederdrucklader (2) vollen Ladedruck, so dass bei ca. 2.000 U/min das maximale Drehmoment von 740 Nm anliegt. Ab ca. 2.500 U/min wird der 3. kleine VTG Hochdrucklader (3) zugeschaltet. Der Motor verfügt über indirekte Ladeluftkühler und einen separaten Niedertemperaturkühlkreislauf mit elektrischer Pumpe.

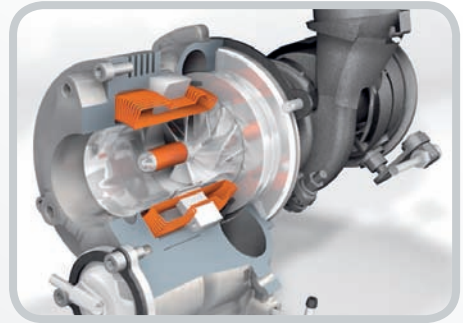
Abgasturbolader mit Aluminiumgehäuse



Continental Turbolader mit wassergekühltem Alugehäuse

Erstmals kam es 2014 zum Serieneinsatz von Continental Turboladern mit doppelwandigen Aluminiumgehäusen. Dabei wird das Turbinengehäuse von Kühlflüssigkeit umspült. Der Turbolader ist in den Abgaskrümmer integriert. So ist es gelungen, das Gewicht um ca. 30 % zu reduzieren. Durch die Absenkung der Gehäusetemperaturen auf ca. 120 °C ist es möglich, im Umfeld aufwendige Wärmeisulierungen zu verzichten. Im Inneren bleibt die Temperatur des Turbinengehäuses unter 350 °C, so dass man auch das Problem des Verkoks des Motorenöls in der Rumpfgruppe durch Heißabstellen lösen konnte.

Hybridaufladung



Cross-Charger von G+L Innotec



Turbo by wire Technologie

Der Begriff Hybridaufladung wird fälschlicherweise gern im Tuningbereich genutzt, um die Kombination von unterschiedlichen Baugrößen von Rumpfgruppen, Verdichter- und Turbinengehäusen für Leistungssteigerungen zu deklarieren. Tatsächlich ist ein Hybridlader die Kombination von Elektromotor und Abgasturbolader in einem Gehäuse. Hierbei wird ein Elektromotor in das Verdichtergehäuse integriert, welcher den Ladedruck im unteren Drehzahlbereich erzeugt. Mit zunehmendem Abgasdruck übernimmt der Turbolader den Ladedruckaufbau. Ähnliche Konstruktionen finden bereits in der Formel 1 Anwendung.

Wir leben Turbolader!

Bei BTS erhalten Sie nicht nur Original Hersteller-Qualität zu fairen Konditionen, sondern auch Hilfe und Unterstützung von echten Turbolader-Profis!

**Unser Fachwissen
spricht Bände!**

Gerne helfen wir Ihnen weiter!



Impressum

Text und Inhalt:

2. überarbeitete und aktualisierte Auflage
BTS GmbH | Paradeisstraße 56 | 82362 Weilheim

www.bts-turbo.com

Bildnachweis:

BorgWarner | Garrett by Honeywell | Continental | MicroEpsilon | G+L Innotec GmbH | Valeo SA | Cummins Turbo Technologies | BTS Turbo GmbH



Technik Ratgeber Band 2

2016



BTS GmbH

Paradeisstraße 56
D-82362 Weilheim

Tel.: + 49 881 627-300
Fax: + 49 881 627-311

Web: www.bts-turbo.com

BTS Turbo GmbH

Dr.-Franz-Werner-Straße 30
A-6020 Innsbruck

Tel.: +43 512 214 220
Fax: +43 512 214 220-30

Mail: info@bts-turbo.com

Gedruckt auf klimaneutralem FSC zertifiziertem Papier.