

# Technik Ratgeber

Band 3 | Werkstattpraxis | Turboschäden



# Vorwort

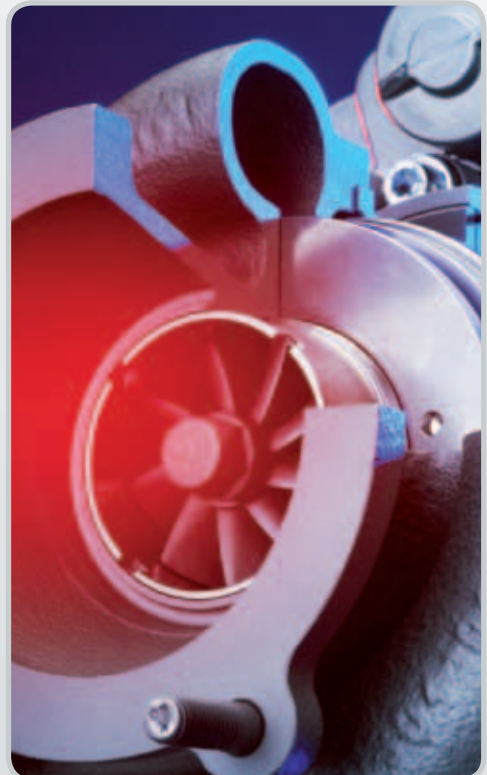
Mit der Broschüre „Turboladerschäden in der Werkstattpraxis“ halten Sie bereits den dritten BTS Technik-Ratgeber zum Thema „Turbolader“ in der Hand. Der dritte Teil dieser Praxisratgeber-Reihe beschäftigt sich mit der Fehlersuche an modernen Turboladern und setzt damit das Bestreben von Band 1 und 2 – den Werkstattfachmann für den aufstrebenden „Turbo-Trend“ fit zu machen – auf logische Weise fort. Der Band 1 „Turboladerschäden“ des BTS Technik-Ratgebers gibt anhand von zahlreichen Schadensbildern wertvolle Hinweise zu mechanischen Turboladerschäden und deren mögliche Ursachen. Band 2 „Turboladerbauarten, Funktion“ indes gibt einen detaillierten Überblick über die Entwicklung der Turboaufladung bei Serienmotoren und erklärt die einzelnen Bauarten sowie deren Funktionsweisen.

Band 3 trägt dem technischen Fortschritt bei der Turboaufladung Rechnung, denn die Elektronifizierung des Automobils hat auch vor dem einst rein mechanisch geregelten Turbolader nicht halt gemacht. Moderne Turbolader sind mittlerweile in das komplexe System des Motomanagements eingebunden und erfordern vom Werkstattfachmann bei der Fehlersuche und der Diagnose viel mehr Know-how als bisher. Der BTS Technik-Ratgeber Band 3 will den Werkstattfachmann bei seiner täglichen Arbeit unterstützen und ihm einen Einblick in die komplexe Welt der Turboaufladung geben.

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Duale Diagnose	3
Variable Turbinengeometrie	4
Ständig unter Druck – die Ladedruckregelung	6
Ladedruckprobleme	9
Nebenschauplätze	12
Impressum	14
BTS-Experten-Tipp	15

Neben den erforderlichen Systemkenntnissen vermittelt die Broschüre vor allem auch interessante Hintergründe und gibt Hinweise und Tipps zur Fehlersuche und Diagnose. Denn wenn einem modernen Turbomotor die Puste ausgeht, muss dies nicht zwangsläufig an einem mechanischen Defekt des Turboladers liegen. Bei typischen Turbolader-Bearstandungen wie „Leistungsmangel“, „schlechtes Übergangsverhalten“, „verzögerte Gasannahme“ oder dem bekannten „Turboloch“ sollte der Werkstattfachmann immer auch an die elektronische Ladedruckregelung denken. Wegen der zunehmenden Vernetzung der Fahrzeugsysteme untereinander darf man allerdings auch „den Blick über den Tellerrand“, sprich: die Peripherie des Aufladesystems, nicht vergessen. Denn häufig werden Turbolader ersetzt und/ oder auf Gewährleistung beziehungsweise Garantie eingereicht, die bei der Befundung keinen Defekt aufweisen.



# Duale Diagnose

## Mechanische Prüfungen und Steuergerätediagnose intelligent miteinander verknüpfen:

Geht einem modernen Turbomotor die Puste aus, muss nicht zwangsläufig der Lader defekt sein. Allerdings lassen sich bei den zunehmend elektronisch geregelten Ladedrucksystemen viele Fehler und Defekte nur noch zusammen mit einem Diagnosetester zielsicher aufspüren. Denn eingebunden in einen mehr oder weniger komplexen Regelkreis mit diversen elektronischen Sensoren und Stellgliedern verlangt die Fehlersuche an einem modernen, elektronisch geregelten Ladedrucksystem mittlerweile mehr als den Einsatz eines einfachen Manometers oder einer Handunterdruckpumpe, um den aktuellen Ladedruck auf einer Probefahrt unter Last oder die Funktion der Turboladerverstellung festzustellen.

Mit dem Einzug der Elektronik ist die Fehlersuche am Ladedrucksystem und am Turbolader selbst nicht einfacher geworden. Vielmehr teilt sich die Diagnose und Fehlersuche bei typischen Kundenbeanstandungen wie „mangelhafte Motorleistung“, „zu geringe Endgeschwindigkeit“, „mangelndes Durchzugsvermögen“, „hoher Kraftstoffverbrauch“ oder „starkes Rauchen beim Beschleunigen“ in eine mechanische und eine elektronische Fehlersuche auf: Spätestens wenn die mechanische Prüfung kein eindeutiges Ergebnis – oder gar ein „OK“ des Turboladers ergibt –, schlägt die Stunde der Steuergerätediagnose.

Ein systematisches und überlegtes Vorgehen ist dabei besonders wichtig. Als erstes sollte man den Fehlerspeicher des Motormanagements auslesen, um sich einen Überblick zu verschaffen. Wie gesagt: Nicht immer ist die Aufladung schuld, wenn die Motorleistung fehlt. Allerdings enthält der

Fehlerspeicher nicht immer eindeutige Hinweise auf die tatsächliche Defekursache. Fehlerspeichereinträge wie „Ladedruck zu gering“ oder „Ladedruck – Regelgrenze unterschritten“ müssen daher nicht zwangsläufig auf einen „ausgelutschten“ Turbolader hinweisen. Auch ein schadhafter Luftmassenmesser, ein vom Marder verbissener Unterdruckschlauch im Ladedruckregelkreis oder ein fehlerhafter Ladedrucksensor können derartige Fehlercodes ebenfalls verursachen.

**In der Praxis hat sich deshalb die „Duale Diagnose“, also die Kombination aus mechanischen und elektronischen Prüfungen und Tests, bewährt.** Dabei sollte man sich allerdings immer an die gültigen Herstellervorgaben halten und zudem auch die aktuellen BTS-Serviceinformationen berücksichtigen, die wichtige Tipps für die Fehlersuche bieten. Zudem sollte man sich immer vom Einfachen (und Billigeren) zum Schwierigen (und manchmal auch Unwahrscheinlicheren) vortasten. Folgender Prüfungsablauf hat sich bewährt:

### Mechanische Prüfungen

- Probefahrt („Ist die Kundenbeanstandung nachvollziehbar?“);
- Sichtprüfung: Ladedruckschläuche (Risse, Dichtigkeit, Schellen), Unterdruckverschlauchung der Ladedruckregelung (Marderverbiss!), elektrische Verkabelung der Ladedruckregelung (Sensoren, Stellglieder, Verstellung der variablen Turbinengeometrie);
- Abhören von Nebengeräuschen (Pfeifen, Zischen, Rauschen → Undichtigkeiten Ladeluft- oder Unterdrucksystem);
- Ladedruck mit dem Manometer/Diagnosegerät (Herstellervorgaben beachten!) auf Probefahrt prüfen;
- Weitere mechanische Prüfungen wie in Band 1 „Turboladerschäden“ beschrieben.

**Wichtig: Zuerst alle mechanischen Schäden reparieren, dann weiter diagnostizieren.**



## Elektronische Diagnose

- Fehlerspeicher auslesen und protokollieren;
- Fehlercodes interpretieren (direkte/indirekte Hinweise auf vorhandene Fehler);
- Bei „unplausiblen“ beziehungsweise „unmöglichen“ Fehlern: Fehlerspeicher löschen, auf Probefahrt gehen. Anschließend Fehlerspeicher erneut auslesen und auf Relevanz prüfen;
- Relevante Steuergeräte-Ist-Werte auslesen (Herstellerangaben beachten), falls möglich, Soll-Ist-Vergleich vornehmen;
- Stellglieddiagnose/Funktionstests mit dem Diagnosetester vornehmen;
- Weiterführende Prüfungen mit Multimeter (Spannung, Stromaufnahme, Widerstand) und Oszilloskop (Spannungssignale, Ansteuerung, Signal-Reinheit, etc.).



## Der kleine Unterschied

Seit dem flächendeckenden Einsatz von Turboladern bei Dieselmotoren Mitte der achtziger Jahre hat es in der Turboladerentwicklung mit der Einführung der variablen Turbinengeometrie (VTG, VNT, VGS) nochmals einen kräftigen Leistungsschub gegeben. Die VTG ermöglicht es, den Strömungsquerschnitt der Turbine in Abhängigkeit des Motorbetriebspunktes zu verstellen. Dadurch lässt sich über einen weiten Drehzahlbereich die gesamte Abgasenergie nutzen, zudem ermöglicht die VTG einen für jeden Betriebspunkt optimalen Strömungsquerschnitt der Turbine. Gegenüber einem Turbolader mit herkömmlicher Ladedruckregelung lässt sich der Wirkungsgrad des Turboladers – und damit des Motors – erheblich verbessern. Wie ein Turbolader mit variabler Turbinengeometrie genau funktioniert, ist im BTS Technik-Ratgeber Band 2 „Turboladerbauarten, Funktion“ auf Seite 10 detailliert beschrieben.

Darüber hinaus kommen bei der neuesten Generation VTG-Lader immer öfter auch elektrische Ladedrucksteller zum Einsatz. Die Vorteile im Vergleich zu einem pneumatischen Magnetventil sind:

- Kürzere Verstellzeit und damit ein schnellerer Aufbau des Ladedrucks;
- Informationen werden vom elektrischen Steiler an das Motorsteuergerät zurückgegeben.

**Typische Beanstandungen**, die auf einen Fehler an, beziehungsweise im Umfeld der VTG hinweisen, sind:

- Leistungsmangel;
- Zögernde Gasannahme („Turboloch“);
- Schlechte, beziehungsweise verzögerte Beschleunigung;
- Kurzzeitig extreme Leistung, dann Notlauf und Leistungseinbruch;
- Ruckeln während der Fahrt und beim Beschleunigen;

# Variable Turbinengeometrie

- Schwarzrauch;
- Motorkontrollleuchte (MI-Lampe) leuchtet;
- Motormanagement geht in den Notlauf (deutlich reduzierte Leistung, Motor dreht nur bis zu einer bestimmten Drehzahl);
- Fehlerspeichereinträge „Ladedruck zu gering“, „Ladedruck Regelgrenze unterschritten“.

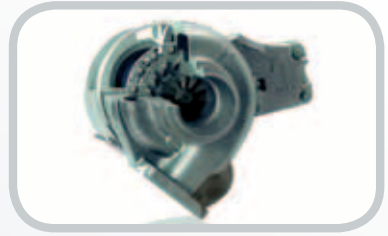
Häufig werden solche Beanstandungen einem defekten Turbolader zugeschrieben. Doch - wie eingangs schon erwähnt - haben mit der Elektronifizierung des Aufladesystems die Fehlerursachen zugenommen, und man muss neben mechanischen Fehlern immer auch elektrische und elektronische Fehler in Betracht ziehen. Zudem darf man das Turbolader-Umfeld nicht vergessen.

## Mögliche Fehlerursachen:

- Defekte elektropneumatische Ventile (Steuerdose, Druckwandler, Versteller der VTG);
- Ein defekter elektrischer Ansteller der VTG;
- Leckagen im Unterdrucksystem (Schläuche, Leitungen, Ventile);
- Eine schadhafte Unterdruckpumpe (defekt/bringt zu wenig Leistung) bei Diesel-Motoren;
- Ein schwergängiger, beziehungsweise hakender VTG-Verstellmechanismus (z. B. wegen Verkokung/Ölkohle, siehe dazu auch Seite 11).

## Diagnose:

- Fehlerspeicher auslesen;
- Ansteuerung und Tastverhältnis der Steuerdose prüfen (Istwert-Auslese mit Diagnosetester, PWM-Signal mit Oszilloskop (siehe Seite 7), Spannung/Masse mit Multimeter);
- VTG-Verstellmechanismus auf Freigängigkeit prüfen: Beim Verschieben der Betätigungsstange von Hand/mit Hilfe der Unterdruckpumpe darf diese nicht haken/sich schwergängig bewegen oder blockiert sein;
- Unterdruckanlage mit Handunterdruckpumpe prüfen.



Bei einem Turbolader mit variabler Turbinengeometrie (VTG) ermöglichen die verstellbaren Leitschaufeln des Turbinenrades eine optimale Ladedruckregelung.



Bei der neuesten Generation VTG-Lader kommen immer öfter auch elektronische Ladedrucksteller zum Einsatz, um die Leitschaufeln zu verstellen.



Der Verstellmechanismus der VTG muss sich leicht und ohne zu haken bewegen lassen. Bei unterdruckbetätigten VTG-Ladern lässt sich die Funktion mit der Handunterdruckpumpe prüfen.

# Die Ladedruckregelung

## Ständig unter Druck

Das Aufladesystem moderner Turbomotoren ist recht komplex und besteht längst nicht nur aus dem Turbolader selbst, sondern darüber hinaus auch noch aus zahlreichen Sensoren und Aktuatoren. Während die **Sensoren**, beispielsweise für den Ladedruck, die angesaugte Luftmasse, die Ansaugluft- oder die Kraftstofftemperatur, das Steuergerät des Motormanagements mit Informationen versorgen, führen **Aktuatoren** wie der elektropneumatische Druckwandler, die Steuerdose für die Ladedruckregelung, der Ansteller der VTG oder auch das AGR-Ventil die vom Steuergerät in Sekundenbruchteilen exakt errechneten Aktionen aus. **Ziel ist es, eine optimale Leistung und ein bestmögliches Ansprechverhalten des Motors zu erzielen und dabei den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen so gering wie möglich zu halten.**

Mit einer rein mechanischen Regelung des Ladedrucks (LD) wäre dies schon seit langem nicht mehr zu bewerkstelligen. Moderne Turbomotoren – sowohl Otto- als auch Dieselmotoren – verfügen daher über eine elektronische LD-Regelung. Gegenüber einer rein pneumatischen Regelung, die lediglich den Vollast-Ladedruck begrenzt, lässt sich der Ladedruck über eine flexible, elektronische Regelung auch im Teillastbereich optimal einstellen. Das Motormanagement berücksichtigt dabei Eingangsgrößen wie etwa Ladelufttemperatur, Einspritzparameter, Zündwinkel oder die Kraftstoffqualität.

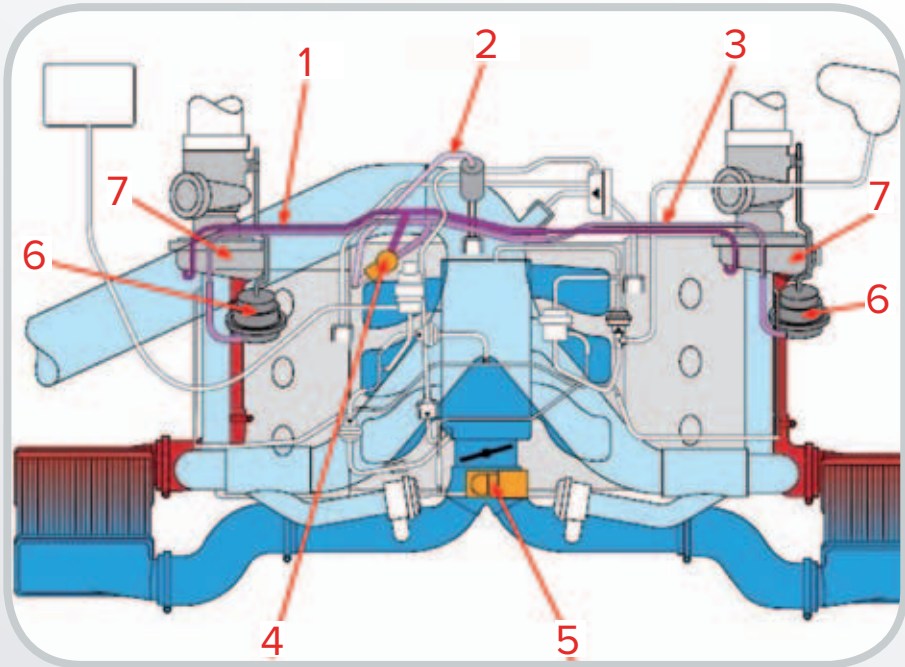
Bei Turboladern mit Ladedruckregelklappe leitet ein Wastegate einen Teil der Abgase zur Druckregelung an der Turbine vorbei. Als Regelorgan kommt ein klappen-gesteuertes Wastegate zum Einsatz,

das entweder von einer unter-, beziehungsweise überdruckgesteuerten Steuerdose oder von einem Aktuator (elektrisch gesteuerter LD-Regler) betätigt wird. Die Ansteuerung des Wastegate erfolgt kennfeldgesteuert über ein elektrisches Umschaltventil, welches vom Motorsteuergerät in einem bestimmten Tastverhältnis (= Ansteuerung zu unterschiedlichen Zeitanteilen, siehe dazu auch Infokasten „Pulsweiten-Modulation“ auf Seite 7) angetaktet wird. Je nach Tastverhältnis wird die Membran des LD-Regelventils mit Steuerdruck beaufschlagt, wodurch sich dessen Öffnungsquerschnitt verändert. Der Steuerdruck für die Ladedruckregeldose ist ein „Mischdruck“, der sich aus dem aktuellen Ladedruck und dem Druck am Eintritt des Turboladers (= ca. Umgebungsdruck) bildet.

Bei neueren Turbolader-Generationen übernehmen zunehmend elektrisch gesteuerte Aktuatoren die Ladedruckregelung. Die Vorteile im Vergleich zu einem pneumatischen Magnetventil sind:

- Kürzere Verstellzeit und damit ein schnellerer Aufbau des Ladedrucks;
- Höhere Betätigungskräfte möglich, wodurch das Wastegate auch bei hohen Abgasmasseströmen sicher geschlossen bleibt, um den Soll-Ladedruck zu erreichen;
- Das Wastegate lässt sich unabhängig vom Ladedruck betätigen und kann deshalb im unteren Last-/Drehzahlbereich geöffnet werden. Dadurch sinken der Grundladedruck und die Ladungswechselarbeit des Motors, was wiederum den Wirkungsgrad steigert;
- Fällt ein elektronischer Ladedrucksteller aus, drückt der Abgasstrom das Wastegate-Ventil auf, wodurch der Ladedruck drastisch sinkt (→ Fehlercode!).

# Die Ladedruckregelung



**Der Ladedruckkreis:** Im Bild das Beispiel eines V6-Diesel-Direkteinspritzers mit zwei Turboladern. (1) Ladedruck, (2) Atmosphärendruck (= Umgebungsluftdruck), (3) Steuerdruck, (4) Magnetventil für Ladedruckbegrenzung, (5) Ladedrucksensor, (6) Steuerdöse für Ladedruckregelung, (7) Turbolader.

## Die Ladedruckregelung – Schalten und Walten

### Elektro-Umschaltventil:

Als Ladedruckregelventil kommt häufig ein als 3/2-Wegeventil ausgelegtes Elektro-Umschaltventil (EUV) zum Einsatz. Seine Funktion ist mit einem Schalter im elektrischen Stromkreis vergleichbar, allerdings schaltet das EUV nicht Strom, sondern Druck oder Unterdruck. EUV sind überall dort am Motor zu finden, wo Luftdrücke (Unter- oder Überdruck) zu steuern oder zu regeln sind, um Motorkomponenten (Stellglieder/Aktuatoren) pneumatisch zu betätigen, etwa das Wastegate des Turboladers oder das Schaltventil der Abgasrückführung (AGR).

### Elektrischer Druckwandler:

Elektrische Druckwandler (EDW) sind eine Weiterentwicklung der Elektro-Umschaltventile (EUV) und stellen die Vorstufe zum elektropneumatischen Druckwandler (EPW, siehe unten) dar. Sie bestehen im Prinzip aus einem EUV mit angebautelem Druckbegrenzer, welcher einen annähernd konstanten Unterdruck erzeugt. Das in den Druckwandler integrierte EUV wird vom Motorsteuergerät mit einem Tastverhältnis von 20 % bis 85 % angetaktet und kann dadurch einen pneumatischen Steller, etwa für die Schaufelverstellung der VTG oder ein AGR-Ventil, exakt ansteuern und betätigen.

# Die Ladedruckregelung

## Elektropneumatischer Druckwandler:

Elektropneumatische Druckwandler generieren – vergleichbar einem „Dimmer“ – aus Unterdruck und dem Umgebungsdruck (Atmosphärendruck) einen Mischdruck (Steuerdruck), mit dessen Hilfe sich pneumatische Steller (Unterdruckdosen) stufenlos verstellen lassen. Typische Einsatzgebiete elektropneumatischer Druckwandler (EPW) sind die Verstellung der Leitschaukeln bei Turboladern mit variabler Turbinengeometrie (VTG) sowie die Ansteuerung von Ventilen der Abgasrückführung (AGR). EPW werden durch ein pulsweitenmoduliertes Signal (siehe Infokasten „Pulsweitenmodulation“ auf S. 7) vom Motorsteuergerät angesteuert.



## Ventile im Ladedruckkreis:

- (1) Elektro-Umschaltventil (EUV),
- (2) elektropneumatischer Druckwandler (EPW),
- (3) Elektro-Umschaltventil (EUV),
- (4) elektrischer Anschluss.

Ein EPW funktioniert ähnlich wie ein Dimmer im Stromkreis: der Steuerdruck für den unterdruckgesteuerten Aktuator lässt sich stufenlos einstellen.

## Diagnose:

Die elektronisch angesteuerten Ventile im Ladedruckkreis werden von der Eigendiagnose/On-Board-Diagnose (OBD) überwacht und etwaige Fehler im Fehlerspeicher des Motorsteuergeräts abgelegt. Allerdings überwacht die OBD nicht die Funktion des Ventils, sondern nur dessen elektrische Seite (Durchgang, Kurz- oder Masseschluss). Fehlercodes lassen sich mit dem OBD-Scan-tool oder dem Steuergeräte-Diagnosetester auslesen. Typische Defekte sind:

- Elektrische Fehler (z. B. Wicklung defekt);
- Fehler in der elektrischen Ansteuerung (Kabelbruch, Masse- oder Plus-Versorgung fehlt);
- Schadhafte Unterdruckleitungen;
- Schadhafte/defekte Vakuumpumpe.

Bei einer Fehlersuche sind allerdings die Systemkenntnisse des Werkstattfachmanns gefragt, der sich nicht blind auf den Fehlerspeicher verlässt und nur das darin als fehlerhaft abgelegte (und möglicherweise falsche) Bauteil erneuert, sondern die Fehlercodes hinterfragt und nach deren Ursachen sucht. Dazu gehört beispielsweise, die Dichtheit eines elektropneumatischen Ventils mit der Handunterdruckpumpe zu prüfen. Weiterführende elektrische Prüfungen (Ansteuerung, Masseverbindung, Widerstand der Spule, etc.) sind mit einem handelsüblichen Multi-Meter möglich.

Hilfreich ist zudem ein Oszilloskop, um elektrische Signale sichtbar zu machen und um das Tastverhältnis (siehe Infokasten auf S. 7) zu prüfen. Mit Hilfe des Diagnosetesters lassen sich außerdem über den Stellgliedtest elektrische Ventile aktivieren, wobei ein deutliches Schaltgeräusch zu hören sein sollte. Darüber hinaus lässt sich das Tastverhältnis mit der Istwert-Auslese numerisch darstellen.



# Ladedruckprobleme



**Elektropneumatischer Druckwandler (EPW):** Anschlüsse: Vakuum (weiß, oben), Steuerdruck (blau, Mitte), Umgebungsluft (grün, unten), elektrischer Anschluss (ganz unten).

## Ladedruckprobleme

Die Regelung des Ladedrucks erfolgt bei modernen Turbomotoren elektronisch über das Motormanagement. Zu den Haupteingangssignalen des Motorsteuergeräts gehören unter anderem Ladedruck, Drosselklappenstellung und Klopfneigung. Übliche Korrekturgrößen sind Ansauglufttemperatur, Motortemperatur, Drehzahl und Umgebungsdruck. Aus diesen Werten berechnet das Motorsteuergerät ein so genanntes PWM-(pulsweiten-moduliertes) Spannungssignal (siehe Infokasten) und steuert damit ein elektropneumatisches Taktventil an, welches wiederum das Ladedruckregelventil per Unterdruck öffnet, beziehungsweise schließt. Die Vorteile der elektronischen Ladedruckregelung:

- Spontanes Ansprechen (kein „Turbo-Loch“ mehr);
- Konstante Leistungsabgabe, da Ladedruck unabhängig vom Umgebungsdruck;
- Ladedruck lässt sich kennfeldgesteuert bis zur Klopfgrenze steigern.

## Ladedruck prüfen:

Mit der elektronischen Ladedruckregelung ist die Fehlersuche gleichermaßen einfacher und aufwändiger geworden. Einfacher, weil moderne Ladedruckregelsysteme eigendiagnosefähig sind und sich viele Tests mit dem Diagnosegerät und der Messtechnik erledigen lassen: Der Ladedruck etwa lässt sich über die „Istwert- oder Parameter-Auslese“ minutenschnell sowohl numerisch als auch grafisch darstellen. Und aufwändiger, weil es mehr Einflussgrößen und mögliche Fehlerursachen gibt. In jedem Fall ist ein strukturiertes, überlegtes Vorgehen bei Fehlercodes wie „Ladedruck zu hoch“ oder „Ladedruck zu gering“ wichtig, denn die Ursachen dafür können aufgrund der zahlreichen „elektronischen Helferlein“ vielfältig sein.

Eine weitere wichtige Prüfung ist die Ansteuerung der elektrischen Schaltventile. Das so genannte Tastverhältnis lässt sich numerisch über die „Istwert- oder Parameter-Auslese“ ermitteln oder das PWM-Signal als Signalkurve mit dem Oszilloskop grafisch darstellen.



Elektronische Ladedruckregelsysteme sind eigendiagnosefähig. Fehler werden im Fehlerspeicher abgelegt.

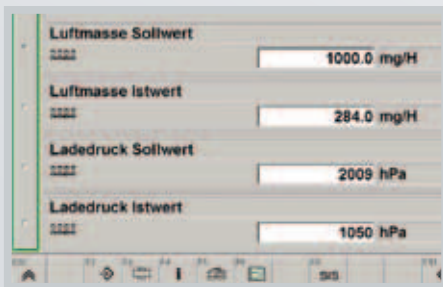
# Ladedruckprobleme

## Ladedrucksensor prüfen:

Der Ladedrucksensor misst den Absolutdruck vor der Drosselklappe, aus dem das Motorsteuergerät einen Korrekturwert für den Ladedruck berechnet. Liefert der Sensor falsche oder unplausible Werte, hat dies unmittelbaren Einfluss auf die Höhe des Ladedrucks. Typische Ausfallursachen sind interne Kurzschlüsse, ein beschädigtes Messelement sowie eine fehlende Spannungs-/Masseversorgung.

## Diagnose:

- Fehlerspeicher auslesen;
- Istwerte auslesen (Plausibilität!);
- Signalbild mit dem Oszilloskop prüfen.

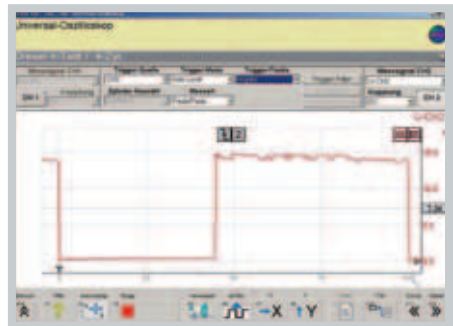


Der Ladedruck lässt sich mit dem Diagnose-tester auslesen. Im Beispiel baut der Lader keinen Druck auf (Ladedruck-Istwert = Umgebungs-luftdruck), die angesaugte Luftmasse ist viel zu gering.

## Pulsweitenmodulation

Elektropneumatische Ventile werden vom Motorsteuergerät masseseitig mit konstanter Frequenz angetaktet. Man spricht von einem Rechteck-Signal (= PWM-Signal) mit variabler Schaltdauer. Die Einschaltdauer wird als „Tastverhältnis“ bezeichnet und lässt sich mit dem Testgerät in Prozent (%) auslesen. Alternativ kann man das PWM-Signal mit dem Oszilloskop messen und das Signalbild beurteilen. Es gilt folgende Faustregel:

- Ladedruck niedrig
  - Tastverhältnis groß
  - Taktventil offen
  - Ladedruckregelventil geschlossen
  - Turbine enthält vollen Abgasstrom.
- Ladedruck hoch
  - Tastverhältnis klein
  - Taktventil geschlossen
  - Ladedruckregelventil geöffnet
  - Turbine erhält gedrosselten Abgasstrom



Über das Tastverhältnis lässt sich die Ansteuerung der elektropneumatischen Schaltventile und der VTG-Verstellung prüfen. Neben der Signal-darstellung mit dem Oszilloskop ist die Istwert-Auslese möglich.

# Ladedruckprobleme

## Saugrohrdrucksensor

Der Saugrohrdrucksensor misst den Absolutdruck (Unterdruck) im Saugrohr nach der Drosselklappe und kann direkt im Ansaugrohr sitzen oder mittels Schlauchleitung mit dem Saugrohr verbunden sein. Zusammen mit weiteren Messwerten, etwa des Ansaugluft-Temperaturfühlers, des Luftmassenmessers oder eines Drehzahlgebers, kann das Motorsteuergerät daraus die angesaugte Luftmasse berechnen. Der Absolutdruck dient als Grundlage für die Gemischaufbereitung und die Zündungssteuerung. Ein schadhafter Saugrohrdrucksensor kann sich mit starkem Leistungsverlust, schlechter Beschleunigung oder Beschleunigungsaussetzern bemerkbar machen.

Typische Ausfallursachen: interner Kurzschluss, beschädigtes Messelement, fehlende Spannungs-/Masseversorgung, Kurzschluss sowie gerissene oder beschädigte Unterdruckschläuche.

### Diagnose:

- Fehlerspeicherauslese;
- Istwert-Auslese;
- Signalbild mit dem Oszilloskop prüfen;
- Unterdruckschläuche prüfen.



## Vakuumpumpe/Unterdruckanlage prüfen:

Unterdruck wird im Automobil als Hilfsenergie eingesetzt, bei Turbomotoren beispielsweise, um den Ladedruck oder die Abgasrückführung zu steuern. Ladedruckprobleme haben deshalb häufig eine einfache Ursache, die ebenso häufig „übersehen“ wird: Lecks und Undichtigkeiten im Unterdrucksystem. Neben defekten Schläuchen, undichten Schalt- und Steuerventilen kommen immer wieder auch undichte Unterdruckspeicher und schadhafte Vakuumpumpen vor. Ist die Vakuumpumpe verschlissen oder defekt, produziert sie nicht mehr genügend Unterdruck, um pneumatisch betätigte Aktuatoren (z. B. Versteller für VTG, Ladedruckregeldose, Waste-Gate-Ventil, etc.) vollständig zu öffnen, was zu einem unzureichenden Ladedruckaufbau, beziehungsweise Leistungsmangel führt.

### Luftfilter prüfen:

Bei Ladedruckproblemen sollte man immer auch an den Luftfilter denken: Ein zugesetzter oder verstopfter Luftfilter beeinträchtigt einerseits die angesaugte Luftmenge (Fehlmessung Luftmassenmesser > Ladedruck zu gering!) und kann andererseits aufgrund des „Staubsauger-Effekts“ die Turbinendrehzahl unzulässig erhöhen und im Extremfall zum Überdrehen führen. Aus diesem Grund sollte ein Luftfiltercheck zu jedem Turbo-Test dazugehören.

*Undichtigkeiten im Unterdrucksystem führen zu Ladedruckproblemen.  
Die Dichtigkeit lässt sich mit der Handunterdruckpumpe prüfen.*

## Nebenschauplätze

Nicht immer ist der Turbolader selbst schuld, wenn einem aufgeladenen Motor die Puste ausgeht. Aufgrund der Elektrifizierung des Ladedrucksystems muss der Werkstattfachmann bei Turbolader-Problemen zunehmend „systemübergreifend“ denken und auch weitere Fahrzeugsysteme und deren Komponenten bei der Fehlersuche und Diagnose berücksichtigen. Nachfolgend sind einige der häufigsten „Nebenschauplätze“, die dem ersten Anschein nach auf ein Turbolader-Problem hinweisen, aufgeführt.

### Luftmassenmesser

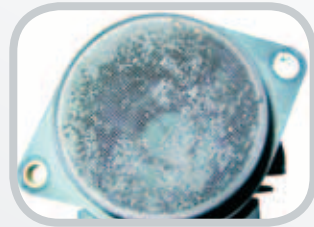
Häufig ist bei modernen Turbomotoren ein defekter Luftmassenmesser die Ursache für Leistungsverlust und Ruckeln, denn die angesaugte Luftmasse gehört zu den Basisparametern, aus denen das Motorsteuergerät die Höhe des Ladedrucks beziehungsweise das Taktverhältnis für die elektropneumatischen Ventile berechnet. Eine geringe gemessene Luftmasse bedeutet einen geringen Ladedruck – und damit eine geringe Motorleistung. Allerdings leuchtet bei diesem Fehler nicht in jedem Fall die Motorkontrollleuchte (MI-Lampe) auf, vielfach ist sogar auch der Fehlerspeicher leer.

Mögliche Ursachen können Kabelbrüche, Kontaktfehler an den elektrischen Anschlüssen, eine beschädigte Messzelle, eine Drift der Messzelle (= Verlassen des Messrahmens) sowie mechanische Beschädigungen sein.

### Diagnose:

- Fehlerspeicher auslesen;
- Sichtprüfung: Stecker, Verkabelung, Gehäuse und Sensorelemente auf Beschädigung;

- Istwert-Auslese der angesaugten Luftmasse mit dem Diagnosetester. Achtung: Die Messung erfolgt üblicherweise unter Last, da die Werte im Leerlauf oder bei der freien Beschleunigung nicht aussagekräftig sind (Herstellerangaben beachten!);
- Versorgungsspannungen und Ausgangssignale mit Multimeter (Spannung, Widerstand) oder Oszilloskop (Signalbild) prüfen.



*Ein derart verschmutzter Luftmassenmesser liefert zu geringe Messwerte für den Luftdurchsatz ans Motorsteuergerät. Die Folgen sind Leistungsverlust und ein zu geringer Ladedruck, weil zu wenig Kraftstoff eingespritzt wird.*

### Abgasrückführung AGR

Viele AGR-Systeme verkoken mit zunehmender Laufleistung und unter ungünstigen Betriebsbedingungen. Die Ablagerungen können nicht nur die Funktion des AGR-Ventils beeinträchtigen und dieses am Schließen oder Öffnen hindern, sondern vor allem auch den Ansaugkrümmer zusetzen. Dies verringert den Luftdurchsatz und beeinträchtigt die Zylinderfüllung, was zum Leistungsverlust führt. Dieser wird dann oftmals (und irrtümlich) dem Turbolader zugeschrieben.

### Diagnose:

- Fehlerspeicher auslesen;
- Ansteuerung prüfen (Spannungsvorsorgung, Tastverhältnis);
- Stellgliedtest durchführen;
- Unterdruckanlage auf Dichtheit prüfen;
- AGR-Ventil abbauen und auf Ablagerungen prüfen.

# Nebenschauplätze

## Schubumluftventil

Bemängelt der Kunde ein ausgeprägtes „Turbo-Loch“, kann das Schubumluftventil (auch: By-Pass- oder Pop-off-Ventil, Schnarrventil) die Ursache sein. Dieses verhindert beim plötzlichen Schließen der Drosselklappe ein unnötiges Abbremsen des Turboladers und bewirkt bei einem Lastwechsel ein schnelleres Ansprechen des Turboladers. Bei geschlossener Drosselklappe entsteht im Schiebebetrieb ein Staudruck durch die in Bewegung befindliche Luftsäule, welcher das Verdichterrad abbremst und zu hohen Belastungen der Drosselklappe und der Turbinenseite führt.

Damit das Verdichterrad weiterlaufen kann, wird ein Umluftventil eingesetzt. Dabei handelt es sich entweder um ein saugrohrgesteuertes Umluftventil (Abblasventil) oder – bei neueren Motoren – um ein elektrisches Schubumluftventil, das ein Umpumpen der Luft von der Verdichterseite zur Ansaugseite ermöglicht.

### Diagnose:

- Fehlerspeicher auslesen;
- Ansteuerung prüfen (Spannungsversorgung; Tastverhältnis);
- Membrane des Schubumluftventils prüfen (Membrane kann brechen und somit nicht mehr schließen).



Starke Ablagerungen am AGR-Ventil und im Ansaugkrümmer führen zum Leistungsverlust und können einen defekten Turbolader „vorgaukeln“.

## Ladeluftanlage:

Werden ein schlechtes Ansprechverhalten, mangelnde Leistung und unrunder Motorlauf beanstandet, können marode oder gelöste Ladeluftschläuche die Ursache dafür sein. Öldämpfe, Witterungseinflüsse und Alterung setzen den Schläuchen zu und machen sie porös, wodurch es zu Ladedruckverlusten kommt. Zudem kann mit der Zeit die Vorspannung der Schlauchschellen abnehmen, so dass diese lose werden und bei hohem Ladedruck einen Teil davon entweichen lassen. Ladeluftschläuche sind üblicherweise trocken zu montieren, um ein Abrutschen zu vermeiden, außerdem ist die vorgeschriebene Schellenart zu verwenden.

Häufig enthält der Fehlerspeicher bei einem undichten Ladeluftsystem Einträge wie „Ladedruck Regeldifferenz“ oder „Ladedruck zu gering“. Zum Prüfen der Dichtheit der Ladeluftanlage sind die Ladedruckschläuche auszubauen und auf poröse Stellen oder Rissbildung zu untersuchen. Alternativ lässt sich die Dichtheit der Anlage mit Hilfe einer Druckluftpistole, einem Druckmanometer und geeigneten Verschlussstopfen bei kaltem Motor prüfen. Wichtig: Bei diesem Test muss man unbedingt die Motor-, beziehungsweise Kurbelgehäuseentlüftung vom Ladedrucksystem entkoppeln, um Schäden an Simmeringen und Dichtungen zu vermeiden!

Beim Austausch eines mechanisch zerstörten Turboladers oder wenn der Verdacht besteht, dass feste Partikel ins Ladedrucksystem eingedrungen sind, ist unbedingt der Ladeluftkühler zu ersetzen, um teure Folgeschäden, sprich einen neuerlichen Ausfall des Turboladers, zu vermeiden. Ein Ausblasen oder Reinigen des Ladeluftkühlers ist nicht möglich.

# Nebenschauplätze

## Lambdasonde

Bei Otto-Motoren sollte man bei einem Leistungsmangel, beziehungsweise einem zu geringen Ladedruck, auch die Lambdasonde prüfen, da diese dem Motorsteuergerät wichtige Basisinformationen für die Gemisch-Zusammensetzung sowie zur Steuerung des Ladedrucks liefert. Agiert die Sonde zu träge oder liefert sie fehlerhafte Signale, kann das zur Gemischabmagerung und damit zu Leistungsverlusten, Aussetzern und einem zu geringen Wirkungsgrad des Turboladers führen.

### Diagnose:

- Fehlerspeicher auslesen (typischer Fehlercode „Lambdawert – Regelgrenze über-/unterschritten“ o. ä.);
- Istwert-Auslese Regelbereich;
- Signalbild mit Oszilloskop prüfen.



*Eine schadhafte Lambdasonde liefert dem Motorsteuergerät unplausible Werte, was zur Gemischabmagerung und einer reduzierten Motorleistung führen kann.*

Undichtigkeiten im Ladeluftsystem verhindern, dass sich der Ladedruck korrekt aufbaut. Beim Prüfen mit Druckluft muss man unbedingt die Kurbelgehäuse abkoppeln, um Schäden an Simmerringen und Dichtungen zu vermeiden.



## „Unprofessionelles Tuning“/Manipulation

Weist die Istwert-Auslese einen zu geringen oder einen zu hohen Ladedruck aus, kann eine verstellte Verbindungsstange zwischen der Membrandose der Steuerdose und der Regelstange des Turboladers die Ursache sein. Bei einem zu geringen Ladedruck ist vielfach eine gelöste Kontermutter schuld. Ist der gemessene Ladedruck indes zu hoch, lässt dies eher auf „unsachgemäßes Tuning“, sprich eine bewusste Manipulation, schließen. Sofern der Fahrzeughersteller keine Grundeinstellung der Regelstange vorgesehen hat, ist in einem solchen Fall der Turbolader zu erneuern.

## Chip-Tuning und Drehzahlerhöhung

Ein „unsachgemäßes Tuning“, sprich Manipulation, sollte der Diagnostizierende immer auch dann in Erwägung ziehen, wenn der ermittelte Ladedruck deutlich und über den gesamten Drehzahlbereich hinweg über dem herstellereitigen Sollwert liegt. Häufig werden bei solchen „Tuning-Maßnahmen“ durch ein Umprogrammieren von Kennfeldern im Steuergerät oder durch den Einsatz von „Zwischen-Steuergeräten“ Parameter wie die Kraftstofftemperatur oder der Rail-Druck manipuliert, worauf hin das Motorsteuergerät den Ladedruck erhöht. Typische Schäden eines dauerhaft deutlich zu hohen Ladedrucks sind Ausbrüche am Verdichterrad. Achtung: Im Extremfall können solche unsachgemäßen Manipulationen sogar zum Bersten der Turbine führen.

## Impressum:

### Inhalt und Text:

BTS GmbH  
Paradeisstr. 56 · 82362 Weilheim  
www.bts-turbo.de

Klaus Kuss  
Redaktionsbüro „der techniKKuss“,  
Maurerweg 30  
87616 Marktoberdorf-Rieder

### Konzept und Gestaltung:

r. wie marketing GmbH  
Töpfergrubenweg 2 · 95030 Hof  
www.r-wiemarketing.de

### Bildnachweis:

BTS GmbH; Liqui Moly;  
BorgWarner Turbo & Emissions Systems;  
Bosch; Garrett by Honeywell; Kuss.

## BTS-Experten-Tipp:

### **Keine Chancen für Chemie, wenn die variable Turbinengeometrie (VTG, VNT, VGS) klemmt.**

Bei Turboladern mit variabler Turbinengeometrie (VTG, VNT, VGS) kann es mit zunehmender Lauflistung zu einem schwergängigen Verstellmechanismus der Turbinenschaufeln kommen. Hauptursachen hierfür sind Rußablagerungen (z. B. über die Abgasrückführung) und eingetragene Motoröldämpfe (z. B. über die Kurbelgehäuseentlüftung). Je nach Verschmutzungsgrad kann dies zu Leistungsmangel - und im Extremfall - zum Total-Ausfall des Turboladers führen.

Die angebotenen Produkte – teils zum Beimschen in den Kraftstoff, teils als Sprühschaum oder als so genannte „professionelle Reinigungssysteme“ – erzielen nicht immer die gewünschte Wirkung.

Man muss sich vor dem Einsatz im Klaren sein um welche Art der Schwergängigkeit es sich handelt. Sind Verrußungen die Ursache, kann man durch den Einsatz von Chemie eine zufriedenstellendes Ergebnis erzielen. Prüfen kann man das zum Beispiel durch Demontage des AGR-Ventils. Ist dieses verrußt (siehe Abb. Seite 12) kann ein Versuch mit Chemie lohnen. Voraussetzung ist aber, dass die zugänglichen Leitungssysteme rund um die Motorentlüftung und um das AGR-Ventil vorab gründlich mechanisch oder im Ultraschallbad gereinigt werden. Danach können Reinigungssprays oder Kraftstoffsystemreiniger zum Einsatz kommen. Letztere haben noch den positiven Nebeneffekt, dass die Einspritzelemente und auch der Partikelfilter (Dieselmotor) mit gereinigt werden. Um die gewünschte Wirkung zu erzielen, ist der Kraftstoffsystemreiniger hoch konzentriert einzusetzen und das Fahrzeug möglichst bei einer Motordrehzahl von 3.000 U/min (Betriebstemperatur beachten!) 10 Minuten über die Autobahn zu bewegen. Bei anschließenden Lastwechseln kann die Motorelektronik in den Notlauf gehen. Dieser

erlischt nach einem Neustart. Ist das der Fall, sollte man den Partikelfilter demontieren und die davor sitzenden Rußpartikel entfernen. In den meisten Fällen verursacht zu hoher Abgasgedruck als Folge der gelösten Rußpartikel den Notlauf.

Für alle anderen Fälle der Schwergängigkeit konnten keine positiven Ergebnisse mit chemischen Produkten nachgewiesen werden. Eine häufiger auftretende Ursache bei Dieselmotoren, die im Kurzstreckenbetrieb genutzt werden, sind Anrostungen im Bereich der VTG-Leitschaufeln. Diese entstehen durch das bei der Verbrennung freigesetzte Wasser. Durch die fehlende Erwärmung und die geringen Abgasgeschwindigkeiten setzen sich Wassertröpfchen ab und verklemmen in Verbindung mit Rußpartikeln die Verstellung. Die Feuchtigkeit hält sich in dieser Kombination lange, dadurch korrodieren die VTG-Leitschaufeln. Das führt zum Verklemmen der VTG-Verstellung. Hier hilft dann nur der Tausch des Turboladers.

Sinnvoller ist es im Falle einer schwergängigen VTG-Verstellung, den Turbolader zu erneuern und den Kunden darauf hinzuweisen, dass sich ein Verkoken des VTG-Laders mit dem Einsatz von aschearmem Motoröl und der Verwendung von Kraftstoffzusätzen, um den Verbrennungsvorgang zu optimieren, aufgrund des so verringerten Rußausstoßes reduzieren und hinauszögern lässt.



*Ruß- und Ölkohleablagerungen können mit der Zeit dazu führen, dass der Verstellmechanismus der VTG schwerfällig wird und die Leitschaufeln klemmen. Ein zufriedenstellendes, dauerhaftes Entfernen der Ablagerungen ist weder mechanisch noch chemisch möglich.*



## Technik Ratgeber Band 3

2012



### **BTS GmbH**

Paradeisstraße 56  
D-82362 Weilheim

Tel.: + 49 8 81 627-300  
Fax: + 49 8 81 627-311

Web: [www.bts-turbo.com](http://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](mailto:info@bts-turbo.com)

Gedruckt auf klimaneutralem FSC zertifiziertem Papier.