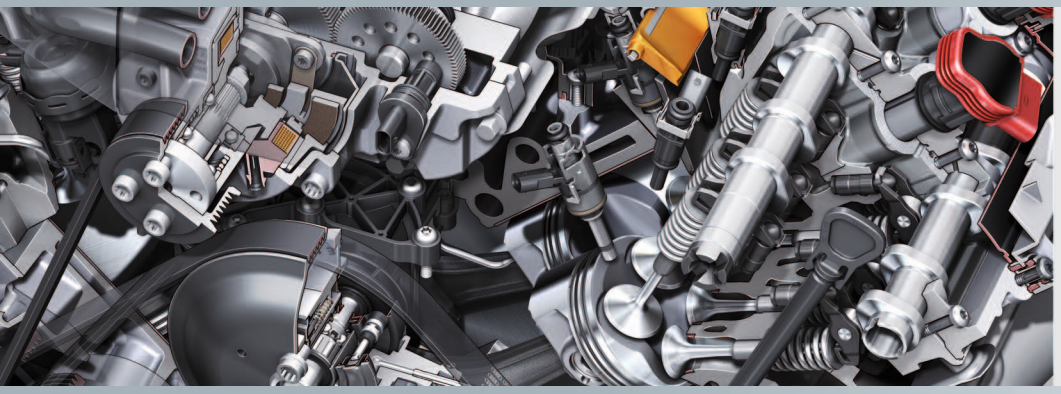
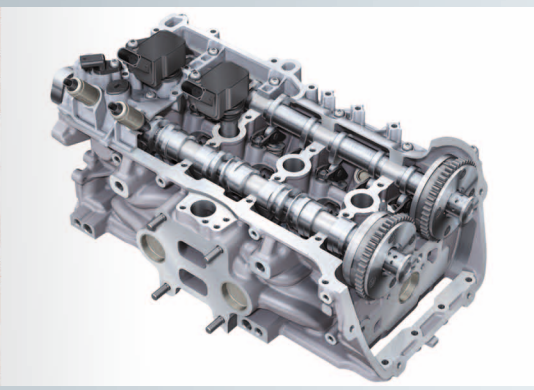
Selbststudienprogramm 626
Nur für den internen Gebrauch





Audi Grundlagen Motorentechnik

Audi
Service Training

Die Motorentechnik von Audi ist geprägt von kontinuierlicher Weiterentwicklung mit dem Ziel der Effizienzsteigerung. Damit einher geht die wachsende Begeisterung des Kunden für das Fahrzeug. Schon daraus ergibt sich eine breite Palette verschiedenster Motoren für unterschiedlichste Ansprüche und Fahrzeugvarianten. Hinzu kommen marktspezifische Besonderheiten.

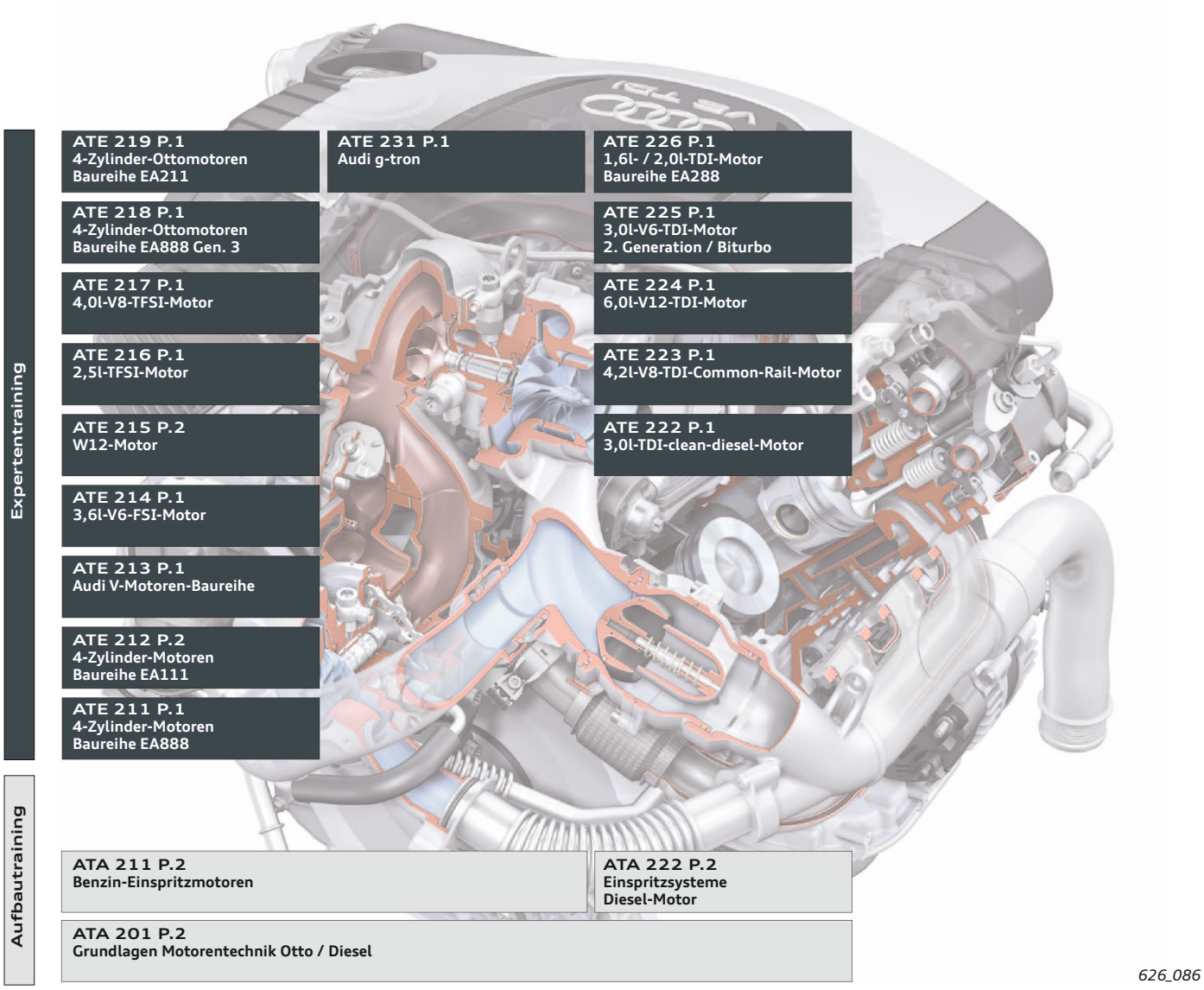
Neu einsetzende Motorentechnik wird seit vielen Jahren in den Selbststudienprogrammen von Audi vorgestellt. Ziel ist es hier vor allem, den Mitarbeitern der Serviceorganisation ein Verständnis für die zahlreichen Neuerungen und Prozesse zu vermitteln – und das über die Reparaturanweisungen von Reparaturleitfäden hinaus.

Das hier vorliegende Selbststudienprogramm verfolgt einen Ansatz, der die bisherigen Ziele noch ergänzt. Auf den Seiten dieses Selbststudienprogramms finden Sie Informationen zum grundsätzlichen Aufbau und zur Funktion der Motoren und ihrer Technik bei Audi. Darüber hinaus werden zahlreiche Motor-Teilsysteme vorgestellt und erläutert.

Audi QR-Code

In diesem SSP sind QR-Codes enthalten, mit denen Sie auf zusätzliche interaktive Medien zugreifen können, siehe „Informationen zu QR-Codes“ auf Seite 123.

Trainingbausteine zu den Antriebsaggregaten



626_086

Lernziele des Selbststudienprogramms

In diesem Selbststudienprogramm finden Sie grundlegende Informationen zur Motorentechnik bei Audi. Es bildet die Grundlage für den Trainingsbaustein ATA 201 P.2.
Wenn Sie dieses Selbststudienprogramm durchgearbeitet haben, können Sie folgende Fragen beantworten:

- Welche Motorbauarten werden bei Audi eingesetzt?
- Wie sind die Komponenten der Motormechanik und -steuerung aufgebaut?
- Wie funktionieren die Komponenten der Motormechanik und -steuerung?
- Welche Motor-Teilsysteme gibt es und wie funktionieren sie?

Inhaltsverzeichnis

Einleitung
Prinzip der Wirkungsweise des Viertakt-Ottomotors 4
Motorentechnik bei Audi 6

Motorkennbuchstaben
Einführung 7
Motorkennbuchstaben im Fahrzeug 8

Motorbauarten
Reihenmotor und V-Motor 10
VR-Motor und W-Motor 11

Motorkomponenten
Zylinderblock 12
Kurbelwelle 18
Kolben 22
Kolbenringe 27
Kolbenbolzen 28
Pleuel 29
Zahnriemenantrieb 31
Kettentrieb 33
Ausgleichswellen 37
Zylinderkopf 39
Dichtungen am Motor 44
Nockenwellen 46

Motorsteuerung
Ventiltrieb 48
Nockenwellenverstellung 52
Motorschmierung 56

Teilsysteme
Kurbelgehäuseentlüftung 71
Motorkühlsystem 73
Kühlmittelregler als 3/2-Wegeventil 78
Luftversorgung 81
Schaltsaugrohr 85
3-stufiges Schaltsaugrohr 86
Aufladung 88
Ladeluftkühlung 97
Abgasrückführung 98
Abgasanlage 103
Zündsystem 114
Vorglühanlage 118
Kraftstoffsystem 120

Anhang
Informationen zu QR-Codes 123

Das Selbststudienprogramm vermittelt Grundlagen zu Konstruktion und Funktion neuer Fahrzeugmodelle, neuen Fahrzeugkomponenten oder neuen Techniken.
Das Selbststudienprogramm ist kein Reparaturleitfaden! Angegebene Werte dienen nur zum leichteren Verständnis und beziehen sich auf den zum Zeitpunkt der Erstellung des SSP gültigen Datenstand.
Die Inhalte werden nicht aktualisiert.
Für Wartungs- und Reparaturarbeiten nutzen Sie bitte unbedingt die aktuelle technische Literatur.

Hinweis

Verweis

Einleitung

Prinzip der Wirkungsweise des Viertakt-Ottomotors

Alle bei Audi eingesetzten Verbrennungsmotoren arbeiten nach dem Viertakt-Prinzip. Dies gilt unabhängig davon, ob der Motor mit Benzin, Diesel, Erdgas oder Ethanol betrieben wird. Über eine Kurbelwelle wird die Auf- und Abbewegung der Kolben in eine Drehbewegung umgewandelt. Die Bewegung der Kolben im Zylinder wird dabei von Kurbeln, über Pleuelstangen umgesetzt. Bei 2 Kurbelwellenumdrehungen (720°) wird nur während 1 Umdrehung (320°) Arbeit verrichtet.

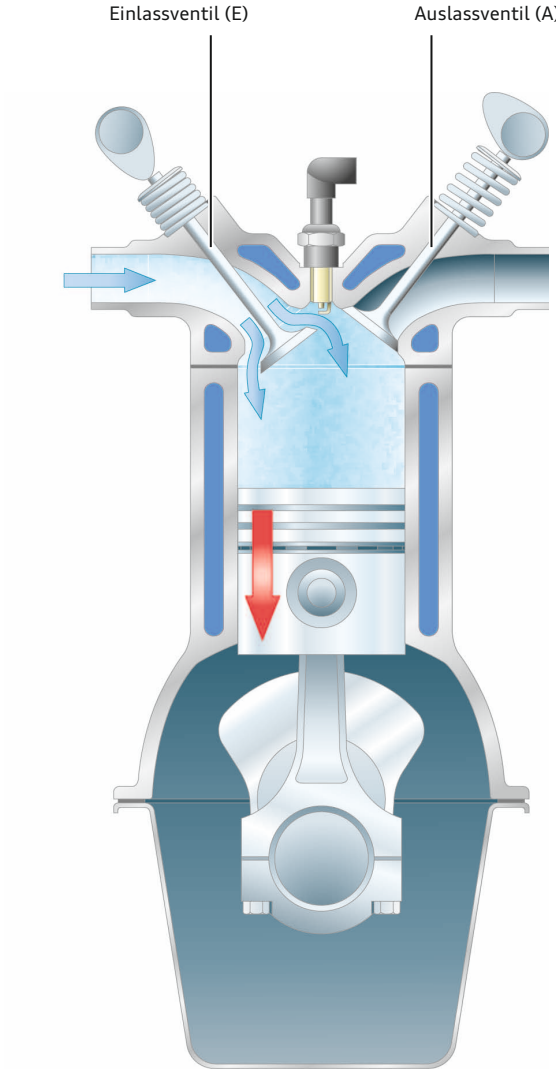
Damit der Motor gleichmäßig läuft, verwendet man mehrere Zylinder, die mit gegeneinander versetzten Arbeitstakten Arbeit verrichten. Jeder Zylinder hat 2 Ventile – das Einlassventil E und das Auslassventil A. Beide Ventile werden durch einen Mechanismus jeweils zum richtigen Zeitpunkt geöffnet und geschlossen.

1. Takt – Ansaugen

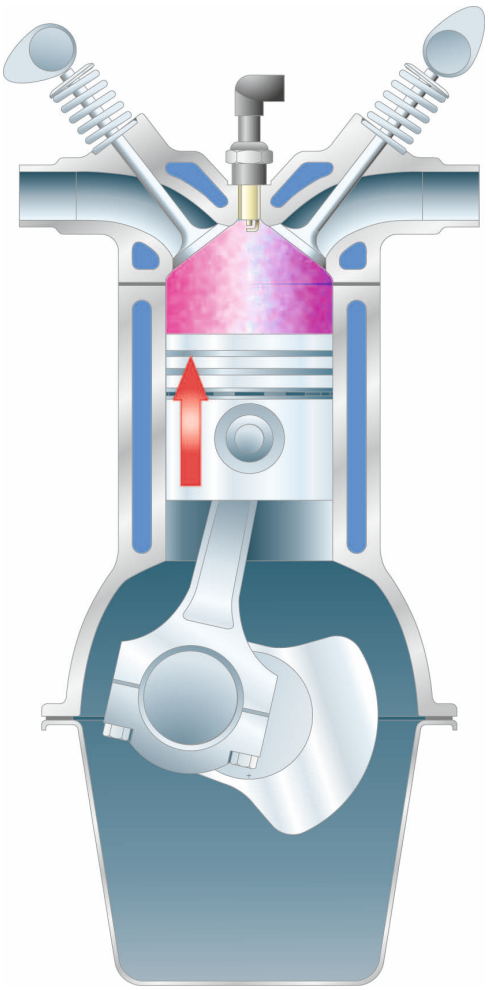
Zu Beginn des 1. Takts steht der Kolben am „oberen Totpunkt“ (OT). Das Auslassventil wird geschlossen und das Einlassventil geöffnet. Der Kolben bewegt sich in Richtung Kurbelwelle. Während der Abwärtsbewegung des Kolbens wird ein Gasgemisch oder Luft durch das Einlassventil in den Zylinder gesaugt. Motoren mit innerer Gemischbildung, wie Dieselmotoren oder Benzin-Direkteinspritzmotoren, saugen hier nur Luft an. Bei äußerer Gemischbildung, wie es bei Motoren mit Saugrohreinspritzung der Fall ist, wird ein Gemisch aus Luft und dem zerstäubten Kraftstoff angesaugt. Wenn der Kolben den „unteren Totpunkt“ (UT) erreicht hat, wird das Einlassventil geschlossen und der 1. Takt ist beendet.

2. Takt – Verdichten und Zünden

Der Kolben bewegt sich in Richtung oberer Totpunkt. Die dafür benötigte mechanische Arbeit wird aus der kinetischen Energie der rotierenden Schwungmasse, bei Mehrzylindermotoren aus dem Arbeitstakt eines anderen Zylinders gewonnen. Das Gemisch oder die Luft im Zylinder wird nun auf einen Bruchteil seines ursprünglichen Volumens verdichtet. Die Höhe des Kompressionsgrads ist von der Motorbauart abhängig. Bei Ottomotoren ohne Aufladung ist ein Verdichtungsverhältnis von über 10:1 üblich. Dieselmotoren ohne Aufladung verdichten in einem Verhältnis von bis zu 20:1. Mit Aufladung ist es wesentlich weniger. Durch die Kompression wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch bei Benzinmotoren auf etwa 450 °C erwärmt. Bei Dieselmotoren erwärmt sich die Luft auf etwa 650 °C. Kurz vor dem Erreichen des oberen Totpunkts wird bei Benzinmotoren die Zündung, bei Dieselmotoren die Voreinspritzung ausgelöst. Der genaue Zeitpunkt ist abhängig von Last und Drehzahl.



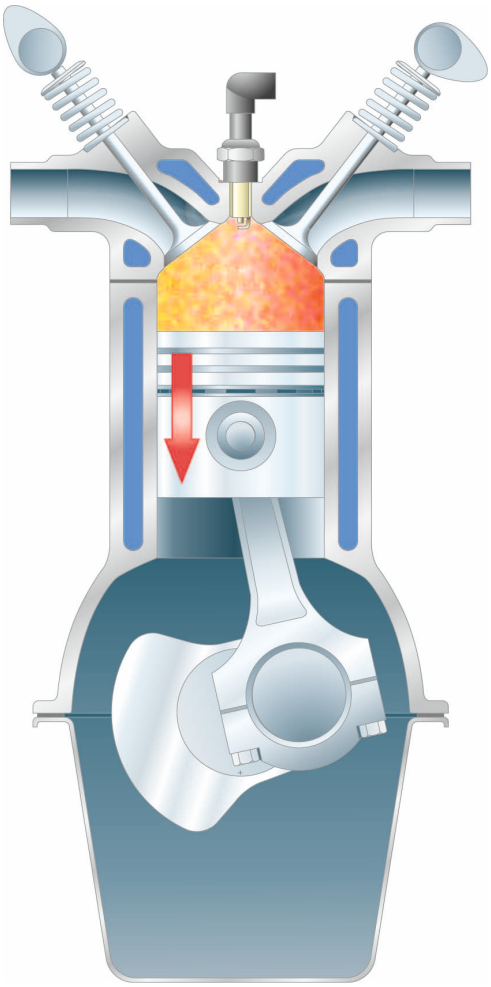
626_238



626_239

3. Takt – Arbeiten

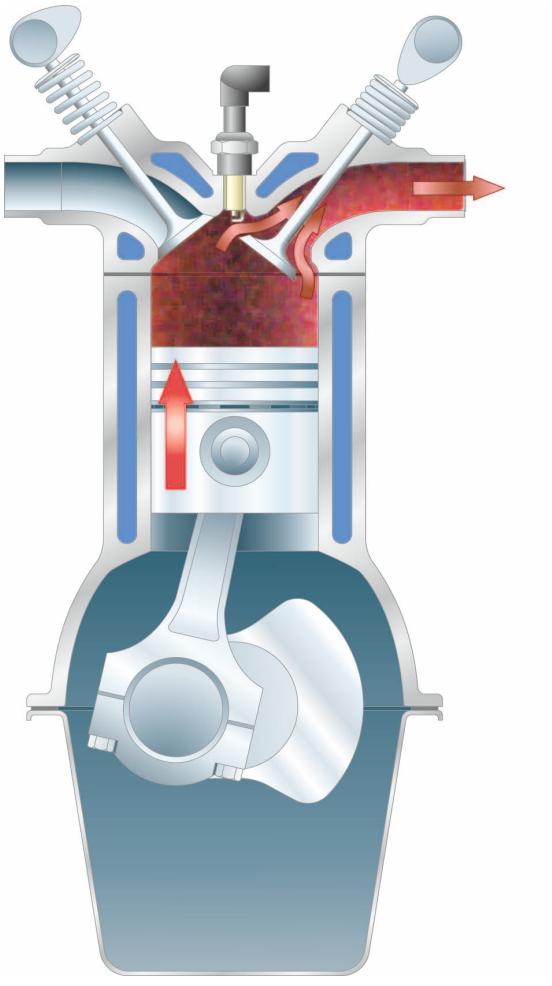
Nachdem der Kolben den oberen Totpunkt erreicht hat, verbrennt das Kraftstoff-Luft-Gemisch in Benzinmotoren durch Fremdzündung weiter. Bei Dieselmotoren folgt an dieser Stelle die Haupteinspritzung, welche sich selbständig entzündet. Die Temperatur des brennenden Gasgemischs eines Ottomotors beträgt zwischen 2200 °C und 2500 °C. Der Druck im Brennraum beträgt bis zu 120 bar. Beim Dieselmotor sind es zwischen 1800 °C und 2500 °C sowie 160 bar. Der Kolben bewegt sich nun in Richtung des unteren Totpunkts. Das verbrennende Kraftstoff-Luft-Gemisch verrichtet mechanische Arbeit am Kolben und kühlt sich dabei ab. Kurz vor Erreichen des unteren Totpunkts liegt bei Benzinmotoren noch ein Restdruck von etwa 4 bar an. Bei Dieselmotoren sind es etwa 3 bar. Das Auslassventil beginnt sich zu öffnen.



626_240

4. Takt – Ausstoßen

Entfernt sich der Kolben wieder vom unteren Totpunkt, wird mit der Aufwärtsbewegung des Kolbens das Abgas aus dem Zylinder geschoben. Am Ende des Ausstoßtakts kommt es zur sogenannten Ventilüberschneidung. Das Einlassventil wird geöffnet bevor der Kolben den oberen Totpunkt erreicht und bevor das Auslassventil geschlossen ist. Das Auslassventil schließt erst kurz nachdem der Kolben den oberen Totpunkt erreicht hat.



626_241

Ventilsteuerung

Pro Zylinder gibt es mindestens 1 Einlass- und 1 Auslassventil. Auch 3, 4 oder 5 Ventile pro Zylinder sind nicht unüblich. Motoren mit 4 Ventilen erreichen wegen des schnelleren Gasaustauschs eine höhere Drehzahl und können dadurch mehr Leistung abgeben als Motoren mit 2 Ventilen. Sogenannte 16V-Motoren sind meist 4-Zylinder-Motoren mit jeweils 4 Ventilen pro Zylinder. Die Ventile werden bei Serienmotoren von einer oder mehreren Nockenwellen gesteuert. Diese werden von der Kurbelwelle über Zahnriemen oder Steuerkette angetrieben.

Die Nockenwelle dreht sich mit halber Kurbelwellendrehzahl. Liegt die Nockenwelle unten, das heißt nicht im Zylinderkopf, werden die hängenden Ventile über Stoßstangen und Kipphebel betätigt, bei Motoren mit stehenden Ventilen (bis in die 50er Jahre) direkt über Stößel. Die Stoßstangen können entfallen, wenn die Nockenwelle oben liegt. Dies ist die im Motorenbau am häufigsten verwendete Variante. Hier werden die Ventile über Kipphebel, Tassenstößel oder Schlepphebel gesteuert.

Motorentechnik bei Audi

1,2l-TFSI-Motor



626_002

3,0l-V6-TDI-Motor



626_006

2,0l-TDI-Motor



626_004

3,0l-V6-TFSI-Motor



626_005

Gerade die Motorentechnik spiegelt das Audi Glaubensbekenntnis – Vorsprung durch Technik – besonders deutlich wieder. Ist sie doch geprägt von modernsten Technologien hinsichtlich Fertigung aber auch was den effizienten Betrieb der Motoren anbetrifft. Stellvertretend sei in diesem Zusammenhang der breite Einsatz von Dieselmotoren mit TDI-Technologie zu Beginn der 1990er Jahre genannt, der diese Entwicklung einleitete.

Bei der Entwicklung neuer Motoren steht nicht nur der sportliche Anspruch sondern auch die Wirtschaftlichkeit, insbesondere der Schutz von Ressourcen, im Vordergrund. Neben der weiterentwickelten TDI-Technologie – inzwischen mit moderner Common-Rail-Einspritztechnik – sind zahlreiche weitere technische Errungenschaften hinzugekommen. Zu nennen sind hier die Benzindirekteinspritzung FSI mit Turboaufladung, die Zylinderabschaltung „cylinder on demand“ oder auch das Ultra low emission system (SCR) bei Dieselmotoren. Ergänzt wird das Segment durch Motoren, die auch mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden können, wie etwa Erdgas oder Bioethanol – ein Beitrag zu nachhaltiger Mobilität.

Neben dem Einsatz zahlreicher neuer Technologien ist die Motorenpalette von Audi in den vergangenen Jahren enorm gewachsen. So reicht die Bandbreite inzwischen vom 4-Zylinder-Reihenmotor mit 1,2 Litern Hubraum bis zum imposanten W12-Motor mit 6,3 Litern Hubraum. Doch auch dazwischen gibt es zahlreiche moderne Aggregate, wie etwa die Motorenbaureihe EA888 mit ihren 1,8l- und 2,0l-TFSI-Motoren, die gleich in mehreren Fahrzeugbaureihen eingesetzt wird – sowohl im Quer- als auch im Längseinbau.

Neben dem erwähnten W12-Motor wird die Leistungsspitze bei den Benzinmotoren in erster Linie durch den 4,0l-V8-TFSI bestimmt, der Dank Zylinderabschaltung und 2 Turboladern sowohl sportlich aber auch wirtschaftlich zu betreiben ist.

Bei den Dieselmotoren ist der 3,0l-V6-TDI zu nennen, der besonders durch seine große Variantenvielfalt hervorsticht. So gibt es Varianten mit Ultra low emission system (SCR), die die strengsten Abgasnormen erfüllen, aber auch sportliche Varianten mit Doppelaufladung.

Die weitere Entwicklung von Motoren bei Audi wird sicher von Effizienzsteigerung geprägt sein. Hier spielen Leichtbau und neue Werkstoffe eine große Rolle, die mit dem Konzept Audi ultra umgesetzt werden. Hinzu kommen werden weitere Systeme und Technologien, die Audi Fahrzeuge auch in Zukunft zu dem machen, was das Kredo von Audi verspricht.

Audi – Vorsprung durch Technik

626_076

Motorkennbuchstaben

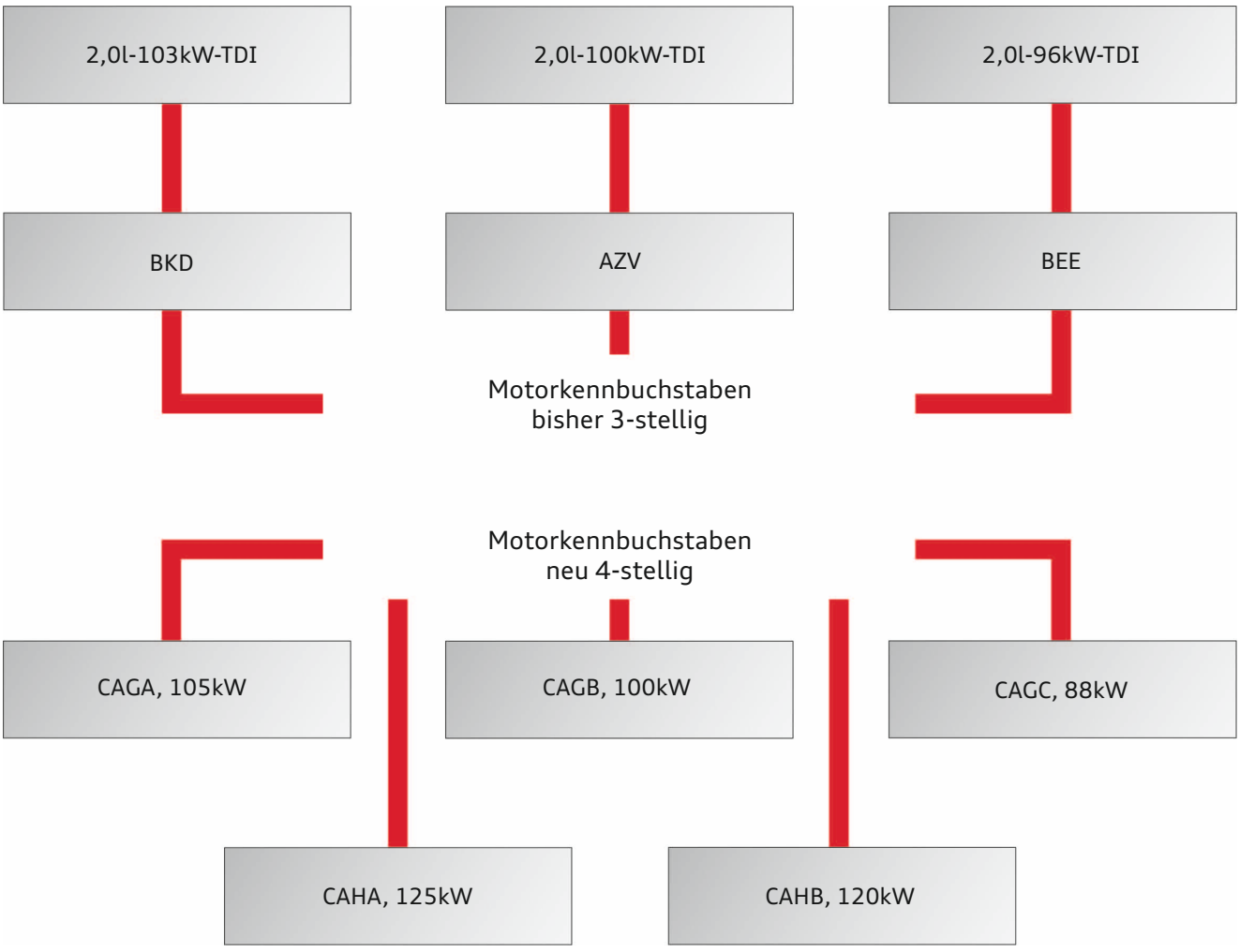
Einführung

Zur Reduzierung der Motorkennbuchstaben-Vielfalt wurden die 3-stelligen Motorkennbuchstaben um eine 4. Stelle ergänzt. Das gilt nur für Motoren mit identischem Grundaggregat, aber unterschiedlichen Leistungen. Die Leistungsdifferenzierung erfolgt bei diesen Motoren nur über das Motorsteuergerät, wobei die Software zur Realisierung der abweichenden Leistung und des Drehmoments angepasst wird. Motoren mit geändertem Abgaskonzept erhalten keine geänderten Motorkennbuchstaben.

Informationen zu häufig gestellten Fragen:

1. Welchen Vorteil haben die 4-stelligen Motorkennbuchstaben?
   - Die Vielfalt an Motorkennbuchstaben nimmt ab.
   - Es wird nicht mehr für jede Leistungsstufe ein separater Motorkennbuchstabe benötigt.
2. Wird es weiterhin Motoren geben, die einen 3-stelligen Motorkennbuchstabe erhalten?
   - Ja, Motoren, bei denen keine Leistungsvarianten vorgesehen sind, werden auch weiterhin 3-stellige Motorkennbuchstaben erhalten.
3. Werden Motoren mit Leistungsvarianten, die bereits 3-stellige Motorkennbuchstaben besitzen, neue Motorkennbuchstaben erhalten?
   - Nein, bereits bestehende Motorkennbuchstaben bleiben erhalten.

Die Vergabe der neuen Motorkennbuchstaben soll an folgendem Beispiel erläutert werden:



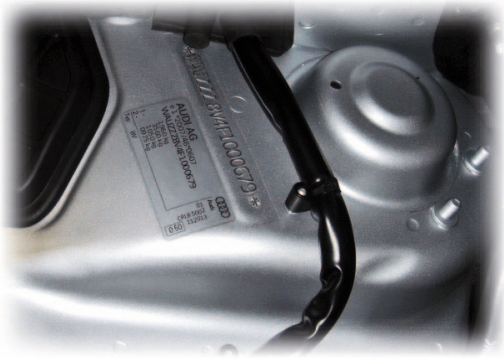
626_088

Die neue Generation der Motorkennbuchstaben ist wie folgt zu erkennen:

- Die erste Stelle des Motorkennbuchstabens ist ein „C“.
- Auf dem Zylinderblock bleiben die 3-stelligen Motorkennbuchstaben bestehen.
- Die 4-stelligen Motorkennbuchstaben sind ausschließlich auf dem Fahrzeugdatenträger, dem Motorsteuergerät und dem Typenschild zu ersehen.

Motorkennbuchstaben im Fahrzeug

Am Stoßdämpfer:
Der 4-stellige Motorkennbuchstabe ist auf dem Typenschild am Stoßdämpfer vorn rechts dokumentiert.



626_016

Am Zahnriemenschutz:
Ein Aufkleber mit dem 3-stelligen Motorkennbuchstaben und einer laufenden Nummer ist im sichtbaren Bereich (Zahnriemenschutz, Ventildeckel) des Motors angebracht.



626_015



Am Zylinderblock:
Auf dem Zylinderblock bleiben die 3-stelligen Motorkennbuchstaben erhalten. Sie sind in den Zylinderblock eingeschlagen.



626_014

Am Motorsteuergerät:
Ein Aufkleber mit dem 4-stelligen Motorkennbuchstaben ist im sichtbaren Bereich des Motorsteuergeräts angebracht.



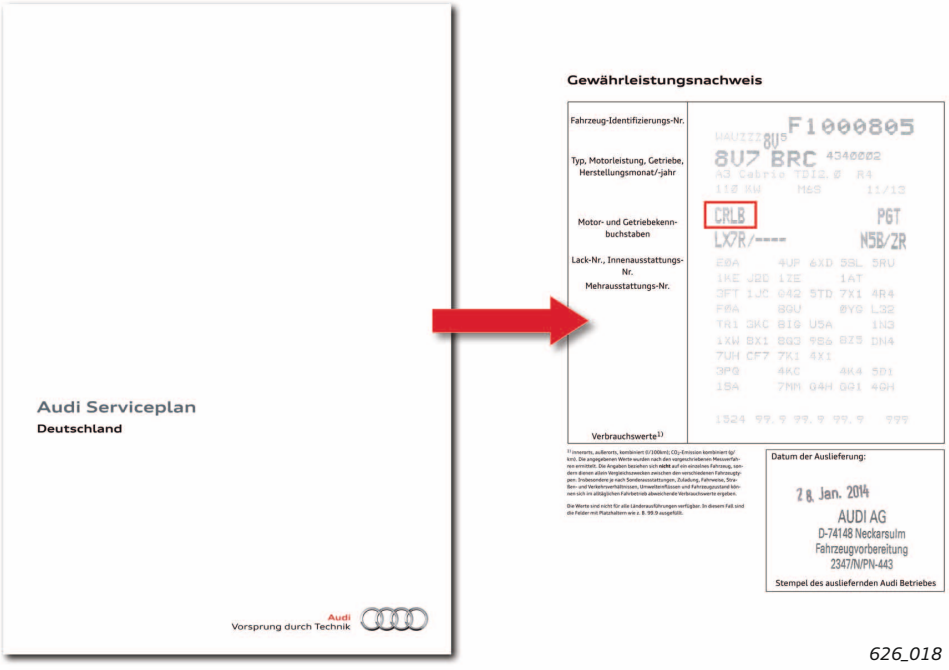
626_019

In der Ersatzradmulde:
Der 4-stellige Motorkennbuchstabe ist auf dem Fahrzeugdatenträger in der Ersatzradmulde im Kofferraum dokumentiert.



626_017

Im Serviceheft:
Der 4-stellige Motorkennbuchstabe ist auf dem Fahrzeugdatenträger im Serviceheft dokumentiert.



626_013

626_018

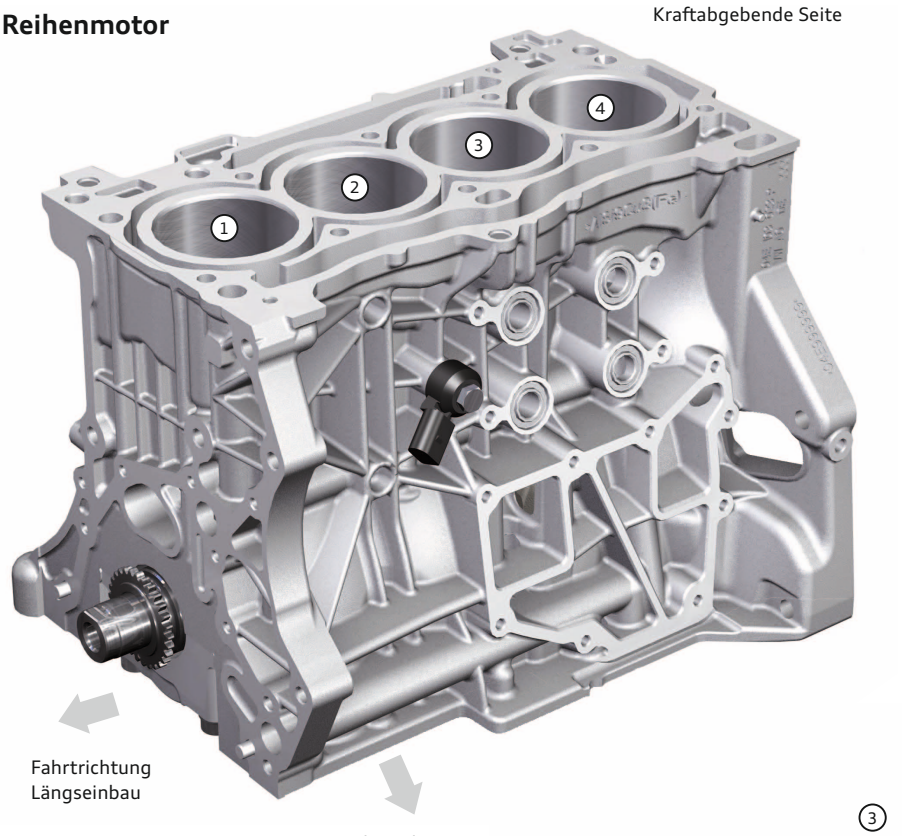
Motorbauarten

Reihenmotor und V-Motor

Eine der ältesten und einfachsten Bauformen ist der Reihenmotor. Hier sind die Zylinder in einer Reihe angeordnet. Solange man die Anzahl der Zylinder und ihren Hubraum begrenzt, ist der Reihenmotor relativ kompakt. Ein 2,0l-4-Zylinder-Motor passt beispielsweise in fast jeden Motorraum.
Je mehr Zylinder in einen Reihenmotor integriert werden, desto länger wird er und ist somit für kleinere Motorräume nicht mehr geeignet.
Die Zylindernummerierung beginnt bei Audi generell auf der zur Kraftabgabe gegenüberliegenden rechten Seite.

Durch die Entwicklung des V-Motors wurde es möglich, einen kleinen 4-Zylinder-Reihenmotor ohne zusätzlichen Platzbedarf durch einen 6-Zylinder-Motor zu ersetzen.
Beim V-Motor sind die Zylinder in 2 abgewinkelten Ebenen angeordnet, auch Zylinderbänke genannt. Betrachtet man den Motor von vorn, ist leicht zu erkennen, warum er V-Motor genannt wird.
Der Winkel zwischen den Zylinderbänken der meisten V-Motoren beträgt entweder 60° oder 90°. V-Motoren werden bei Audi mit 6, 8 oder 10 Zylindern eingesetzt.

Reihenmotor

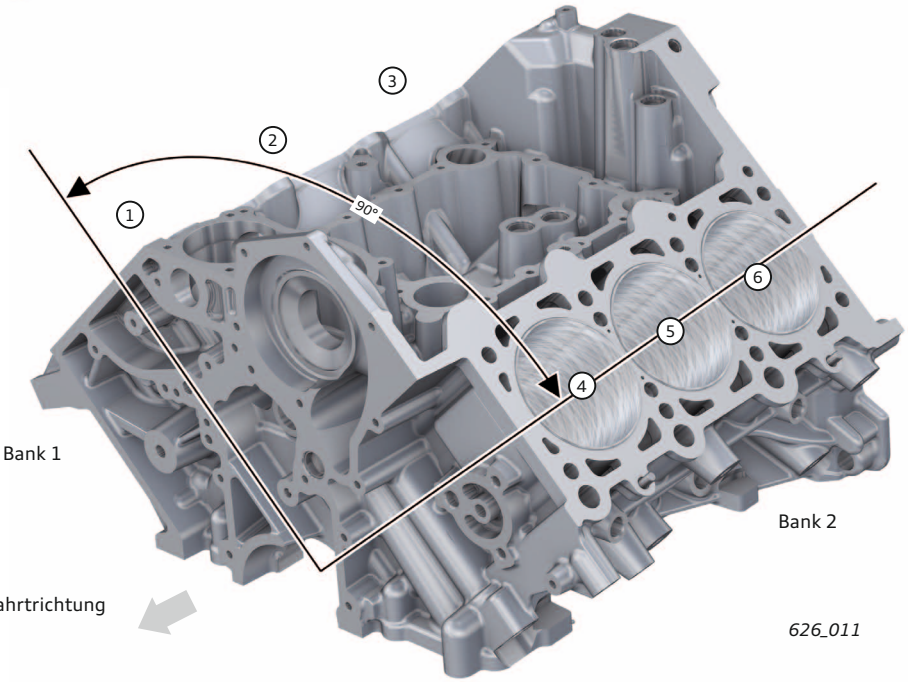


Zündfolgen:

3-Zylinder-Motor	1-2-3
4-Zylinder-Motor	1–3–4–2
5-Zylinder-Motor	1–2–4–5–3

626_010

V-Motor



Zündfolgen:

6-Zylinder-Motor	1–4–3–6–2–5
8-Zylinder-Motor	1–5–4–8–6–3–7–2
10-Zylinder-Motor	1–6–5–10–2–7–3–8–4–9

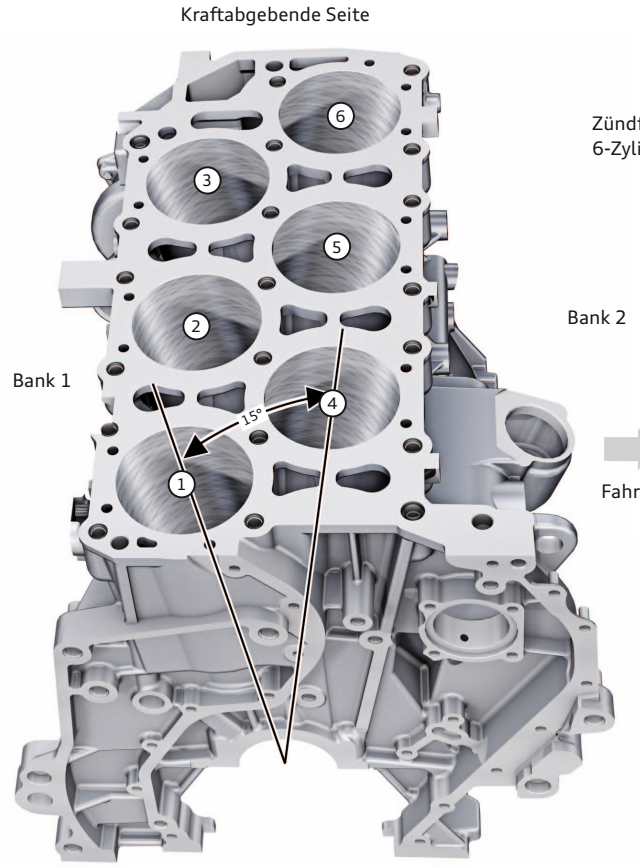
626_011

VR-Motor und W-Motor

Ein weiterer Schritt war die Entwicklung des VR-Motors. Mit dieser Konstruktion ergeben sich günstige Platzverhältnisse im Motorraum. Das V-Profil wurde beibehalten, aber die Zylinder stehen enger zusammen. Um das Aggregat kompakter zu gestalten, wurde der Bankwinkel auf 15° reduziert. Das bedeutet, dass der VR-Motor, im Gegensatz zum konventionellen V-Motor, mit nur einem Zylinderkopf auskommt. Der VR-Motor ist auch schmaler als ein V-Motor und kürzer als ein Mehrzylinder-Reihenmotor. Die Laufruhe eines Reihenmotors ist ein weiterer Vorteil des VR-Konzepts.

Die VR-Bauweise erlaubt es, 6 Zylinder auf kleinstem Raum unterzubringen. Wenn jedoch noch mehr Zylinder und noch mehr Hubraum gefordert werden, ist auch die VR-Konstruktion zu lang. Um dieses Problem zu lösen, entwickelte man den W-Motor. Im Prinzip wurden dafür 2 VR-Bänke zusammengesetzt. Auch hier erklärt sich der Name durch das Profil. Von der Stirnseite sieht man die Zylinderanordnung als doppeltes V, das man sich auch als W vorstellen kann. Wie im VR-Motor sind auch hier in jeder Zylinderbank die Zylinder um 15° versetzt und der Winkel zwischen beiden Zylinderbänken beträgt 72°.
Die Konstruktion des W-Motors ergibt einen sehr kompakten Mehrzylindermotor, der im Vergleich zu einem V-Motor wenig Platz im Motorraum beansprucht. W-Motoren bieten so Leistung und Laufkultur größerer Motoren auch für Fahrzeuge mit kleinerem Motorraum.

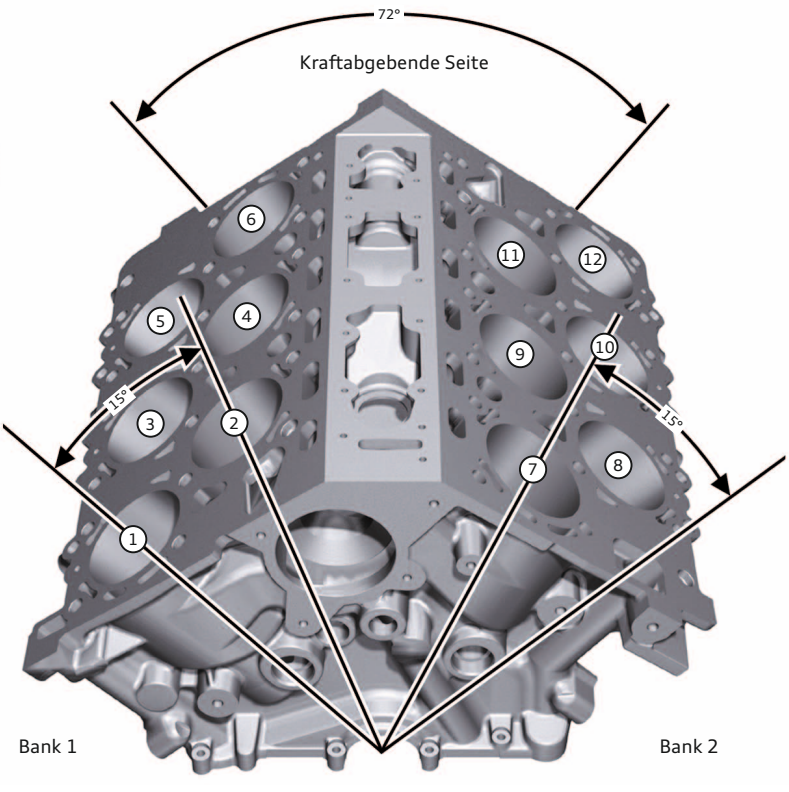
VR-Motor



Zündfolge:
6-Zylinder-Motor 1–5–3–6–2–4

626_001

W-Motor



Zündfolge:
12-Zylinder-Motor 1–12–5–8–3–10–6–7–2–11–4–9

626_012

Motorkomponenten

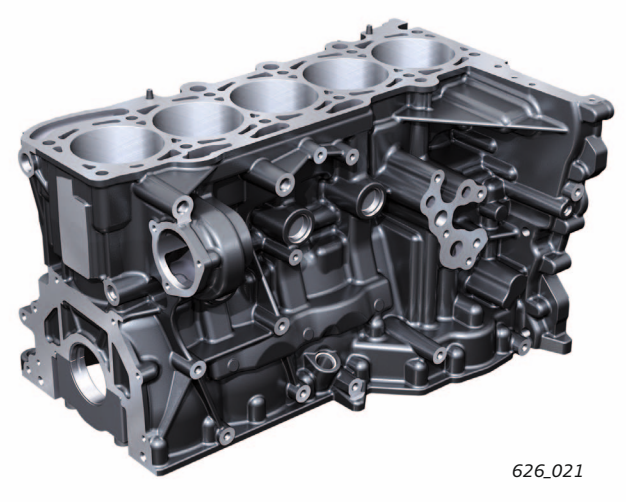
Zylinderblock

Der Zylinderblock bildet das Kernstück eines Motors. Er spiegelt im Wesentlichen die Bauart des Triebwerks wieder. Ein Zylinderblock muss immensen Anforderungen gerecht werden.

So muss er z. B. den hohen Verbrennungsdrücken standhalten sowie eine rasche Ableitung der durch die Verbrennung entstandenen Wärme gewährleisten.

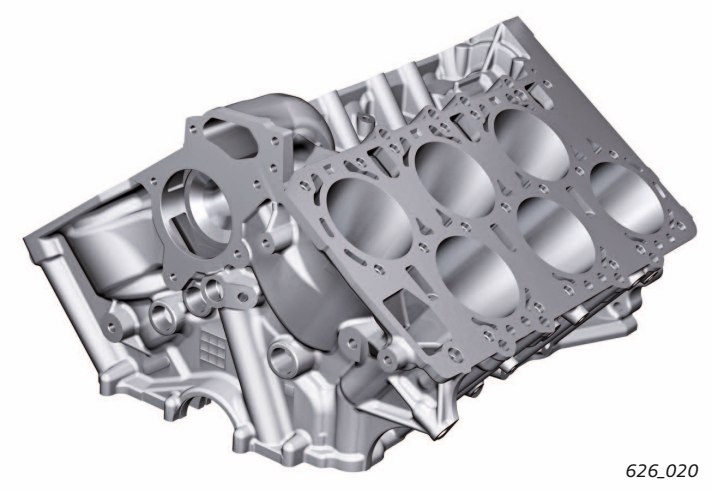
Zylinderblockvarianten nach Anordnung der Zylinder

5-Zylinder-Reihenmotor



626_021

W-12-Zylinder-Motor



626_020

Funktion

- Aufnahme der Gas- und Massenkräfte in den Kurbelwellenlagern bzw. in der Verschraubung des Zylinderkopfs.
- Aufnahme des Triebwerks, bestehend aus Kolben, Pleuel, Kurbelwelle und Schwungrad.
- Aufnahme der Zylinder.
- Lagerung der Kurbelwelle.
- Aufnahme der Kanäle zum Transport von Betriebsstoffen.
- Integration eines Systems für die Kurbelgehäuseentlüftung.
- Anschluss zum Getriebe und zum Antrieb der Ventilsteuerung.
- Aufnahme und Führung von Elementen für die Kraftübertragung z. B. Ketten.
- Anschluss und Aufnahme von Nebenaggregaten.
- Verschluss des Kurbelraums nach außen.

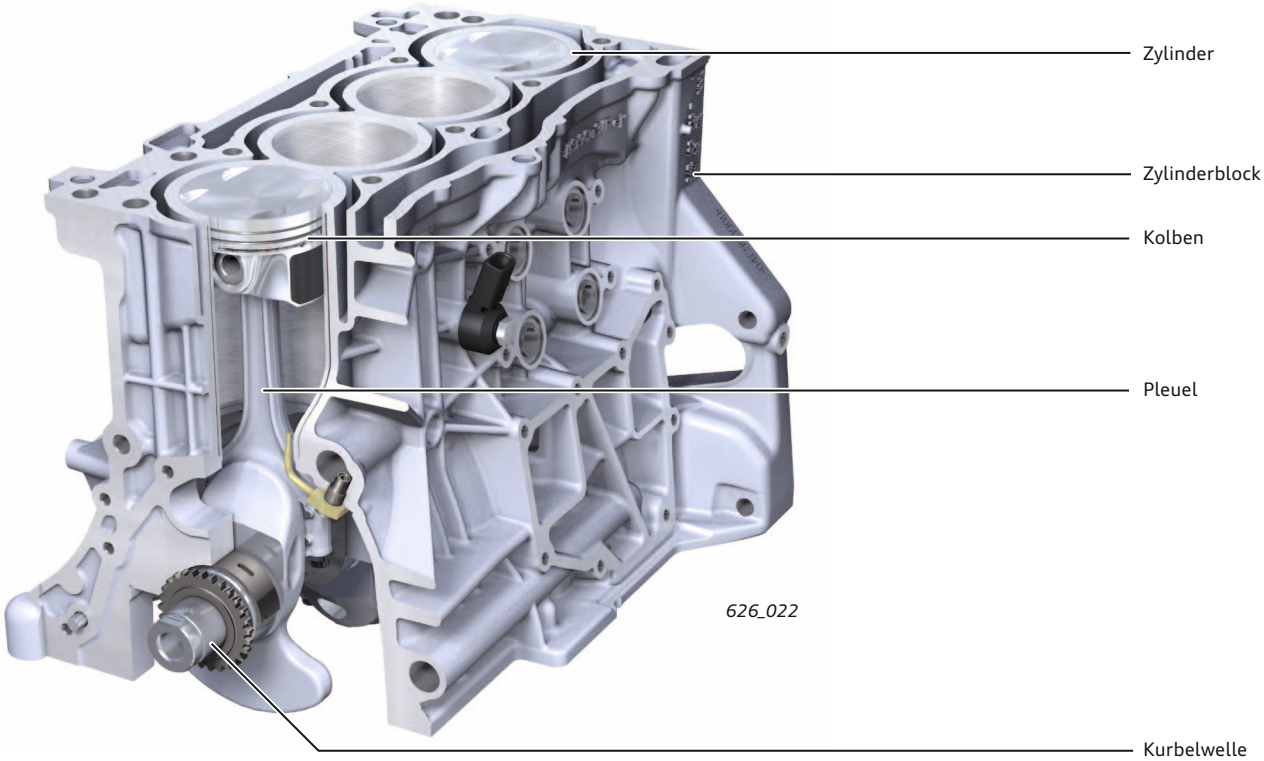
Beanspruchungen

- Auftretende Gaskräfte
- Innere Massenmomente (Biegemomente), resultierend aus rotierenden und oszillierenden Massenkräften.
- Innere Torsionsmomente (Kippmomente) zwischen den einzelnen Zylindern.
- Kurbelwellendrehmoment
- Freie Massenkräfte und Massenmomente, resultierend aus oszillierenden Massenkräften.

Integrierte Systeme

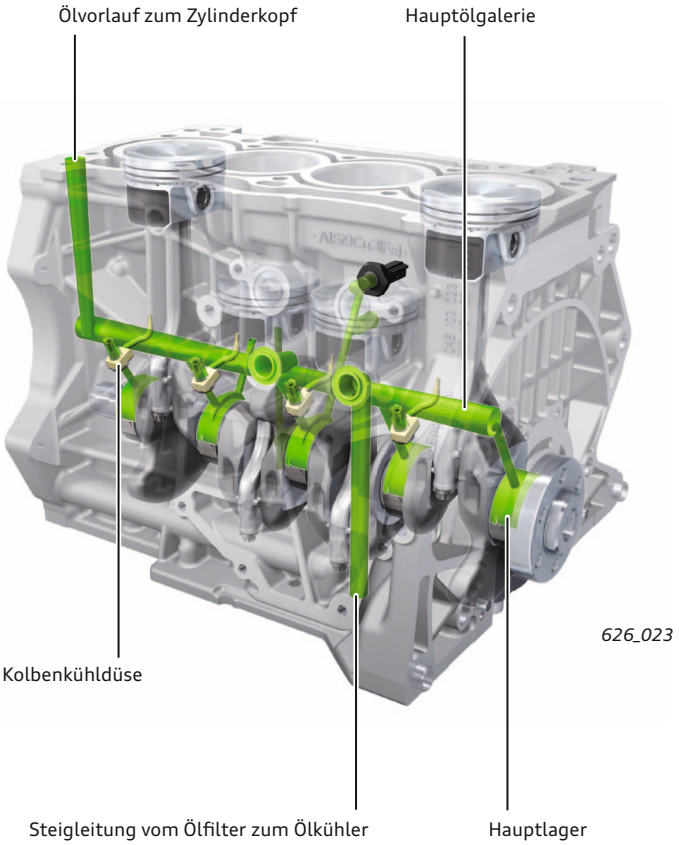
Im Inneren des Zylinderblocks befinden sich die Zylinder. In ihnen bewegen sich die Kolben auf und ab. Über Pleuel sind diese mit der Kurbelwelle verbunden. Die Oberflächen von Zylindern, Kolben und Kolbenringen müssen besonders verschleißfest sein, da sie die Abdichtung der Brennräume gewährleisten müssen.

Eine reibungsarme Führung der Kolben in den einzelnen Zylindern reduziert zudem den Kraftstoffverbrauch, denn der Kolben kann sich in diesem Fall wesentlich leichter bewegen. Außerdem befinden sich zahlreiche Kanäle des Schmier- und des Kühlsystems im Zylinderblock.



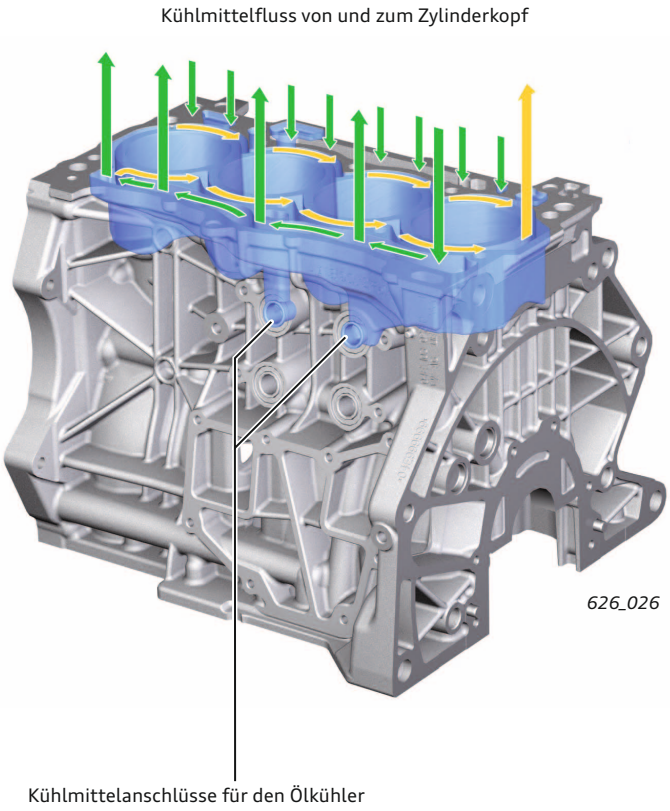
626_022

Ölkanäle



626_023

Kühlsystem



626_026

Unterscheidung verschiedener Zylinderblockvarianten

Grundsätzlich lassen sich Motoren anhand ihrer Zylinderblöcke unterscheiden. Anzahl und Anordnung der darin enthaltenen Zylinder lassen eine Unterteilung in die Kategorien Reihen-Motor, V-Motor, VR-Motor und W-Motor zu.

Aber auch innerhalb dieser Kategorien lassen sich Zylinderblöcke anhand folgender Kriterien typisieren:

Gestaltung der Oberseite	Charakteristik der Zylinder	Fertigung des Zylinderblocks
Open-Deck-Bauweise	Zylinderlaufbuchsen	Druckguss
Closed-Deck-Bauweise	Material der Zylinderlauffläche ▸ Plasmabeschichtung (untereutektisch) ▸ Alusil®-Verfahren (übereutektisch)	Kokillenguss
	Struktur der Zylinderlauffläche	Lost-Foam-Verfahren
	Verbundtechnik	Sandguss
		Squeeze Casting (Pressguss)

Gestaltung der Oberseite

Ein Merkmal zur Unterscheidung von Zylinderblöcken ist die konstruktive Gestaltung der Oberseite (Deckplatte) des Zylinderblocks.

Hier unterscheidet man zwischen „Open-Deck-Bauweise“ und „Closed-Deck-Bauweise“.

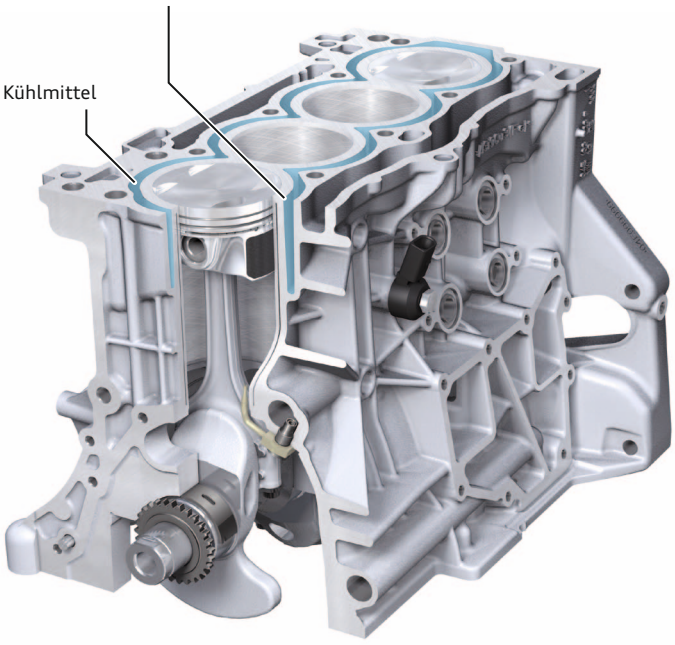
Open-Deck-Bauweise

Die Open-Deck-Bauweise zeichnet sich dadurch aus, dass der Raum, welcher den Zylinder umgibt, nach oben hin offen ist. Das darin enthaltene Kühlmittel kann somit bis in den stark belasteten oberen Zylinderbereich wirken und die entstehende Wärme über die gesamte Höhe des Zylinders ableiten. Außerdem kann bei dieser Bauart der Verzug der Zylinder während der Montage des Zylinderkopfs deutlich eingeschränkt werden. Nachteilig ist die verringerte Steifigkeit des Zylinderblocks. Dieser Effekt kann durch den Einsatz einer Zylinderkopfdichtung aus Metall kompensiert werden. Generell lässt diese Bauart viel Spielraum, um den Herstellungsprozess der Zylinderblöcke effektiver zu gestalten.

Closed-Deck-Bauweise

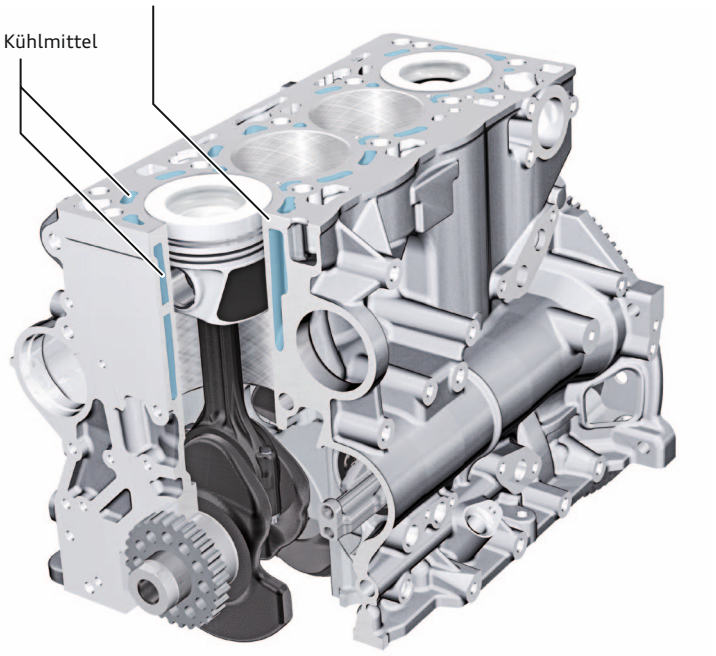
Bei der Closed-Deck-Bauweise ist der Raum um die Zylinder herum weitgehend geschlossen. Die Deckplatte verfügt hier lediglich über definierte Öffnungen, welche den Fluss des Kühlmittels vom Bereich um den Zylinder herum in den Zylinderkopf ermöglichen. Vorteil dieser Bauweise ist die, im Vergleich zur Open-Deck-Bauweise, deutlich erhöhte Steifigkeit des Zylinderblocks. Deutlicher Nachteil ist hier, dass die Kühlung nicht über die gesamte Höhe des Zylinders stattfinden kann. Außerdem sind Zylinderblöcke dieser Bauart nur mit erheblichem Aufwand produzierbar.

Nach oben geöffnete Deckplatte



626_024

Nach oben geschlossene Deckplatte



626_025

Charakteristik der Zylinder

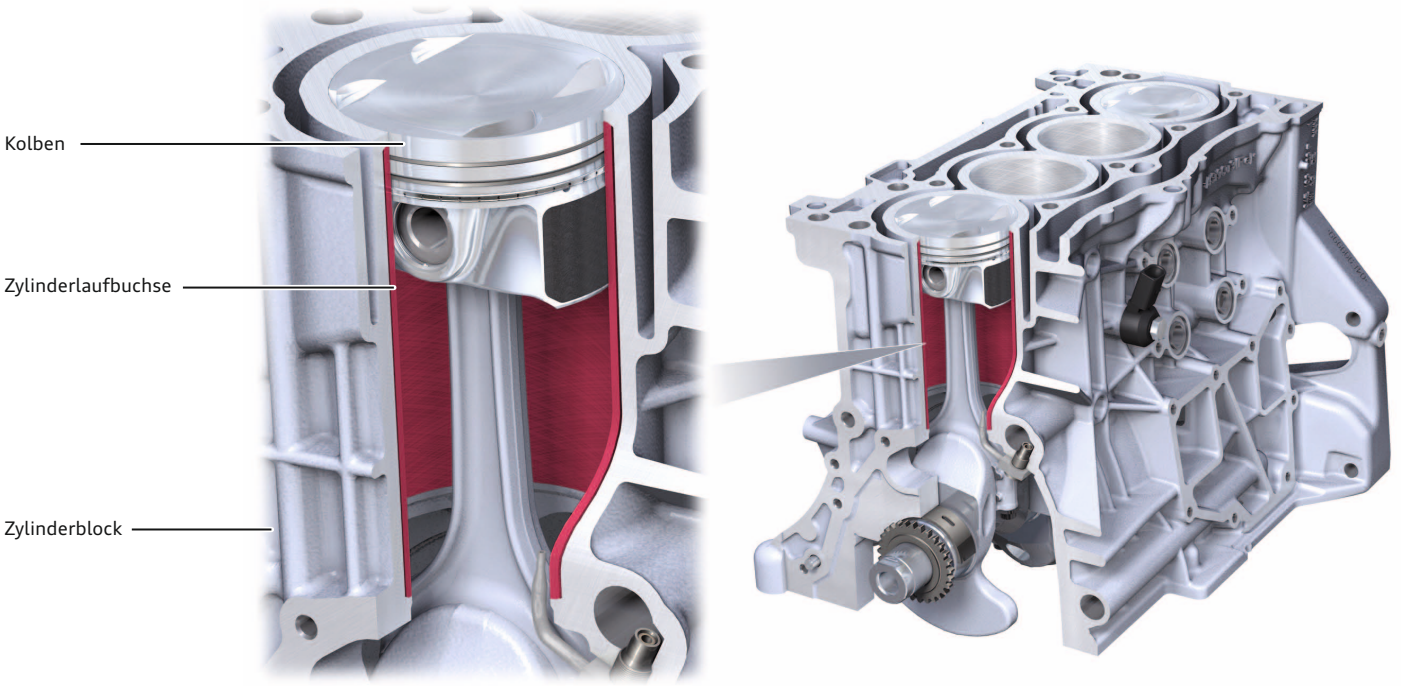
Der Charakter eines Zylinders wird maßgeblich durch 4 Teilbereiche geprägt:

- Zylinderlaufbuchsen
- Material der Zylinderlauffläche
- Struktur der Zylinderlauffläche
- Verbundtechnik

Zylinderlaufbuchsen

Um Reibung und Verschleiß an Kolben und Zylindern zu reduzieren, laufen die Kolben nicht im direkten Kontakt mit dem Zylinderblock. Stattdessen werden in den Zylinderblock dünnwandige Buchsen eingegossen oder eingebaut, in denen sich die Kolben auf und ab bewegen.

Diese Buchsen nennt man „Zylinderlaufbuchsen“. Ein positiver Nebeneffekt der Zylinderlaufbuchsen ist die Verbesserung der Stabilität des Zylinderblocks.



626_034

Material der Zylinderlauffläche

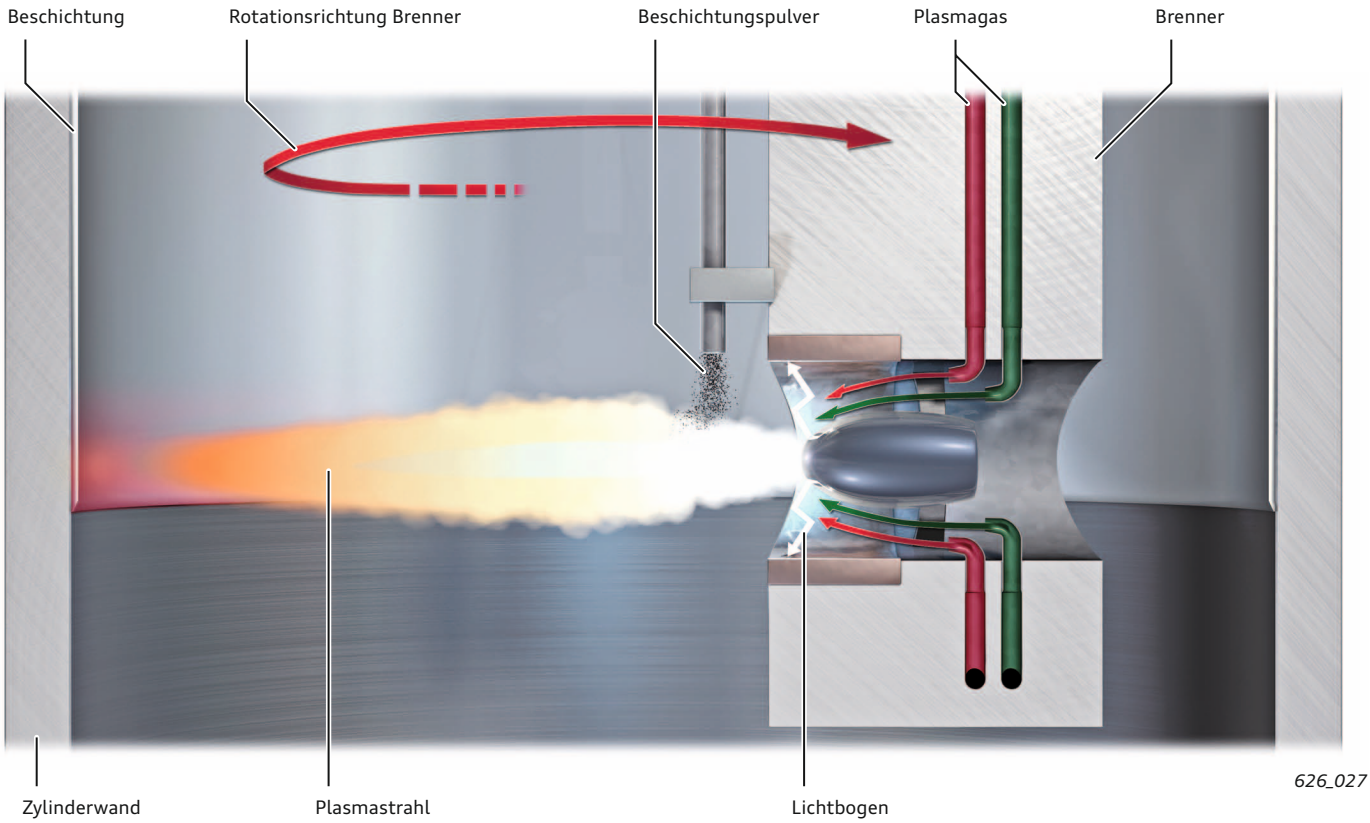
Um Gewicht zu sparen, werden Zylinderblöcke zunehmend aus Aluminium-Legierungen gefertigt. Da auch die Kolben aus diesem Material bestehen, kommt es zu deutlich verminderten Laufeigenschaften innerhalb des Zylinders. Dieser Umstand begründet sich darin, dass der Reibungskoeffizient von Aluminium zu Aluminium sehr hoch ist. Um das Laufverhalten zu verbessern und den Verschleiß des Zylinders dennoch so gering wie möglich zu halten, muss das Material der Lauffläche entsprechend behandelt werden.

Ziel ist die Schaffung einer möglichst harten und reibungsarmen Zylinderlauffläche. Für diesen Zweck wurden 2 Verfahren entwickelt. Das erste Verfahren sieht die Beschichtung der Zylinderlauffläche mittels Plasmabeschichtungsverfahren vor. Dem gegenüber steht das sogenannte „Alusil®-Verfahren“. Da beide Verfahren direkt auf die Zylinderlauffläche des Zylinderblocks wirken, kann in diesen Motoren auf den Einsatz von Zylinderlaufbuchsen verzichtet werden.

Plasmabeschichtung

Die Plasmabeschichtung sorgt dafür, dass die Kolben mit möglichst wenig Reibungsverlust über die Zylinderlauffläche gleiten. Da die aufgetragene Schicht nur 0,2 mm dick und der Einsatz von Zylinderlaufbuchsen nicht erforderlich ist, kann bei Motoren dieser Bauart eine deutliche Gewichtseinsparung erreicht werden. Die Beschichtung erfolgt unter Zuhilfenahme eines rotierenden Brenners. Dieser wird von einem Plasmagas durchströmt, welches an der Austrittsdüse durch einen Lichtbogen entzündet wird. Das Plasmagas wird dadurch auf etwa 11.700 °C erhitzt und in den Plasmazustand versetzt. Dabei wird es auf 600 m/s beschleunigt.

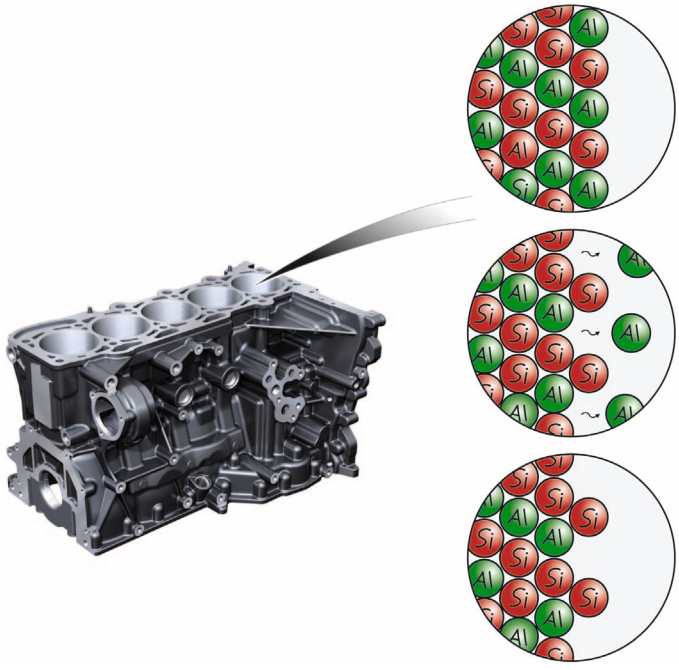
In den entstandenen Plasmastrahl wird ein Beschichtungspulver eingeblasen, welches sich auf etwa 2500 °C erhitzt und dadurch aufschmilzt. Außerdem wird das inzwischen flüssige Beschichtungspulver auf bis zu 150 m/s beschleunigt. Mit dieser Geschwindigkeit treffen die im Plasmastrahl enthaltenen Teilchen letztlich auf die Zylinderwand, wo sie in die Unebenheiten der Oberfläche eindringen. Anschließend erstarrt die aufgetragene Schicht, wodurch eine formschlüssige Verbindung zwischen Beschichtung und Zylinderwand entsteht. Abschließend werden die Zylinderlaufflächen in einem speziellen Honverfahren bearbeitet.



626_027

Alusil®-Verfahren

Für dieses Verfahren ist es Voraussetzung, dass der Zylinderblock aus einer Aluminium-Silicium-Legierung mit hohem Siliciumanteil besteht. Gefertigt werden die Zylinderblöcke im Niederdruck-Kokillenguss-Verfahren. Dabei wird in die mehrfach verwendbare Gussform, auch Kokille genannt, die Metallschmelze über ein Steigrohr, meist von unten, mittels Druckluft eingebracht. Schon während des Gießens der Zylinderblöcke wird darauf geachtet, dass sich vor allem im Bereich der Zylinderlauffläche Siliciumkristalle bilden. Dies kann durch die Kühlung der Kokille im Bereich der späteren Zylinderlauffläche erreicht werden. Ein erhöhter Anteil an Silicium im Material der Zylinderlauffläche hat zur Folge, dass dieser Bereich besonders widerstandsfähig wird. Im Anschluss werden die Zylinderlaufflächen in einem speziellen Honverfahren bearbeitet. Abschließend wird die Oberfläche durch ein elektrochemisches Ätzverfahren veredelt. Durch das Ätzen wird das weiche Aluminium, welches sich um die Siliciumkristalle herum befindet, abgetragen. Dadurch wird die Widerstandsfähigkeit der Zylinderlauffläche noch einmal deutlich gesteigert.



626_028

Nachbehandlung durch Honen

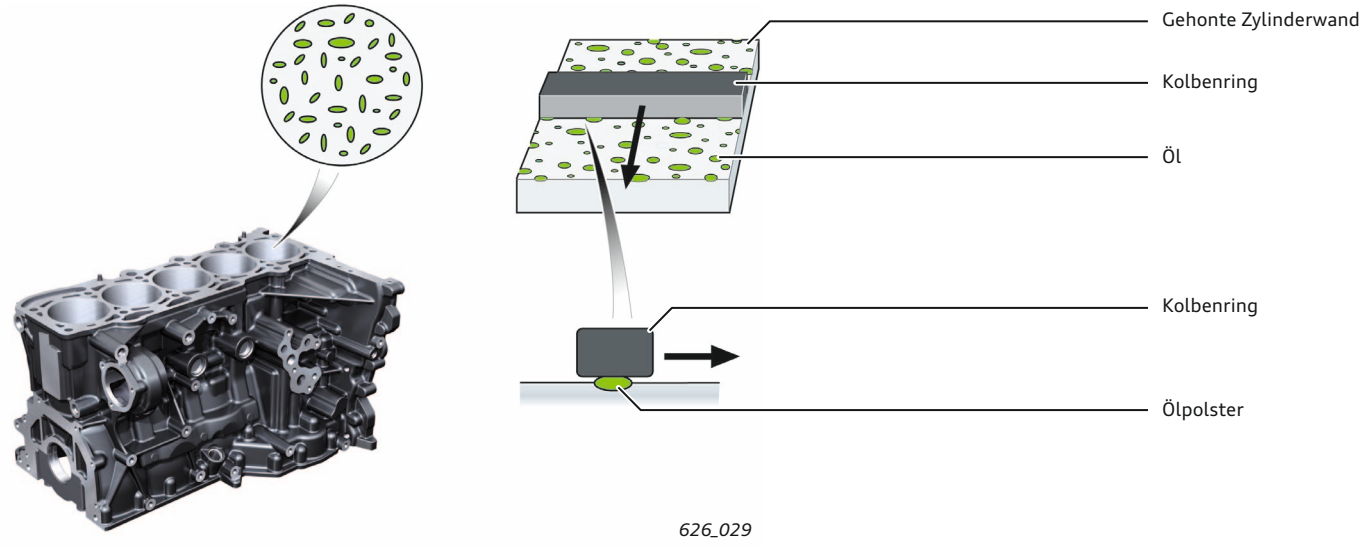
Sowohl plasmabeschichtete, als auch im Alusil®-Verfahren gefertigte Zylinderblöcke müssen an den Zylinderlaufflächen mechanisch nachbearbeitet werden. Dabei wird in einem Honverfahren eine feine Oberflächenstruktur in die Zylinderlaufflächen eingeschliffen. In dieser Struktur kann der Ölfilm, welcher die Schmierung des laufenden Kolbens gewährleisten soll, besser gehalten werden als es auf der unbearbeiteten Oberfläche der Fall wäre.

Die erzeugten Oberflächenstrukturen weichen dabei bei den Varianten mit Plasmabeschichtung und der Variante des Alusil®-Verfahrens voneinander ab.

Honen bei plasmabeschichteten Zylinderlaufflächen

Das Honen der Zylinder erfolgt bei plasmabeschichteten Zylinderlaufflächen als letzter Arbeitsschritt vor der Montage der Kolben. Um die aufgebrachte Beschichtung nicht wieder zu entfernen, wurde ein Honverfahren entwickelt, bei dem sehr kleine Vertiefungen in der Oberfläche entstehen. Diese sogenannten Mikrodruckkammern sind in der aufgetragenen Beschichtung bereits enthalten und werden durch das Honen lediglich geöffnet.

Innerhalb dieser Vertiefungen wird das Öl gehalten. Läuft nun ein Kolbenring über eine solche Mikrodruckkammer, wird innerhalb der Vertiefung ein Druck erzeugt, welcher gegen den Kolbenring wirkt. Als Folge schwimmt der Kolbenring auf dem Ölpolster, was Reibung und Verschleiß erkennbar reduziert.

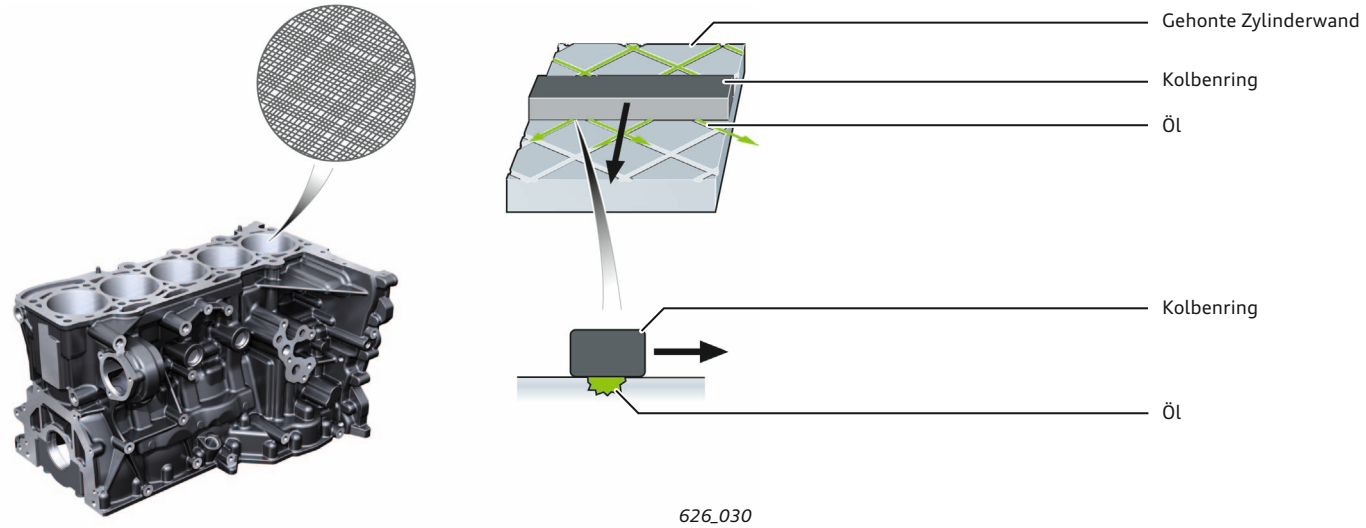


626_029

Honen bei im Alusil®-Verfahren gefertigten Zylinderlaufflächen

Das Honen der Zylinder erfolgt bei dieser Variante des Zylinderblocks als vorletzter Arbeitsschritt vor der Montage der Kolben. Im Anschluss erfolgt noch das elektrochemische Ätzen der Zylinderlaufflächen. Das Honen der Zylinder erfolgt mittels einer hydraulisch vorgespannten Honahle.

Honsteine schleifen dabei eine feine Oberflächenstruktur in die Zylinder ein. Hier wird später das Öl gehalten, um eine ausreichende Schmierung zu gewährleisten.



626_030

Kurbelwelle

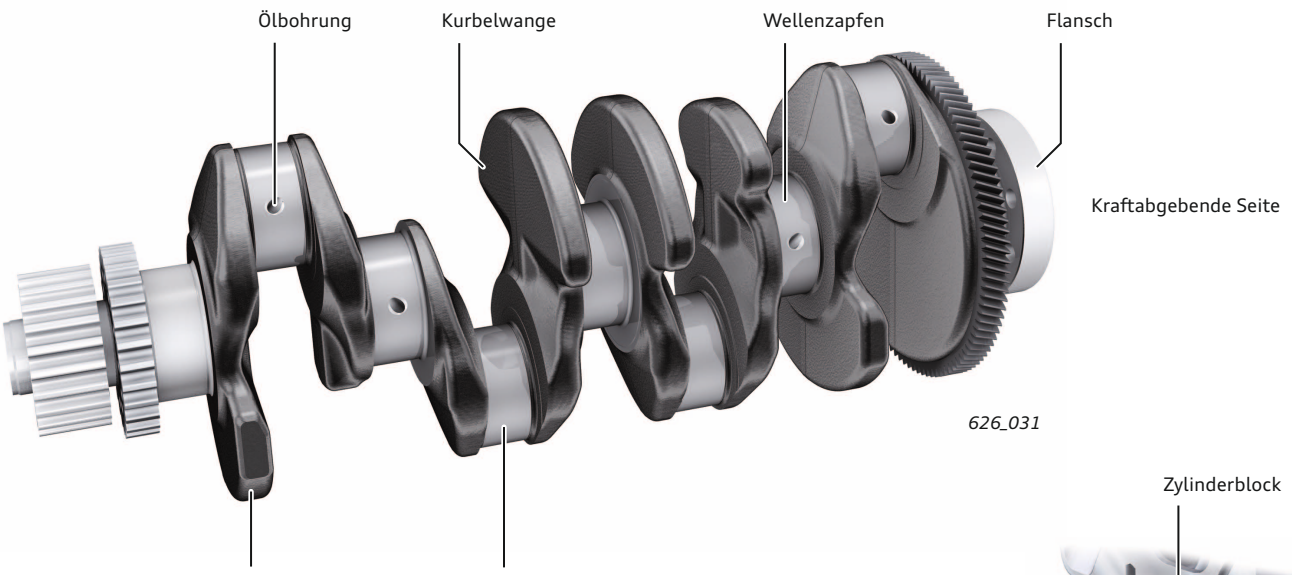
Die Kurbelwelle befindet sich im unteren Bereich des Zylinderblocks. An ihr sind die Pleuel angelenkt. Dadurch kann die Auf- und Abbewegung der Kolben in eine Drehbewegung umgewandelt werden.

Diese ergibt das Drehmoment, welches für den Fahrzeugantrieb notwendig ist.

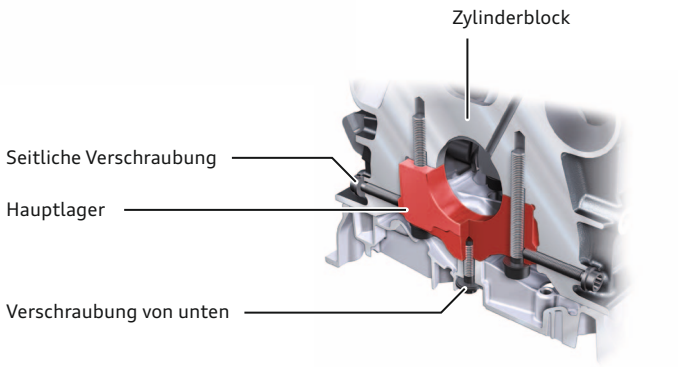
Aufbau

Die in einer Achse angeordneten Wellenzapfen dienen zur Lagerung der Kurbelwelle im Zylinderblock. Diese sogenannten Hauptlager sind von unten und aus Stabilitäts- und Komfortgründen zusätzlich von den Seiten mit dem Zylinderblock verschraubt.
Die Kurbelzapfen nehmen die Pleuellager auf. Wellen- und Kurbelzapfen sind jeweils durch eine Kurbelwange miteinander verbunden.

Ein Gegengewicht, welches sich gegenüber dem Kurbelzapfen befindet, gleicht die Massenverhältnisse von Kurbelzapfen und Kurbelwangen aus. Durch Wuchtbohrungen werden mögliche Massenunterschiede ausgeglichen. Ölbohrungen zur Schmierung der Pleuellager führen von den Wellen- bis zu den Kurbelzapfen.
An der kraftabgebenden Seite befindet sich zudem ein Flansch, an dem das Schwungrad befestigt ist.



626_031



626_196

Fertigung

Kurbelwellen können gegossen oder geschmiedet werden. Beide Fertigungsverfahren führen zu unterschiedlichen Eigenschaften der Kurbelwelle.

Ein Vergleich der Eigenschaften beider Varianten zeigt, warum geschmiedete Kurbelwellen verstärkt zum Einsatz kommen.

Gegossene Kurbelwellen

Vorteile:
- Geringe Herstellungskosten
- Einfache Bearbeitung
- Geringes Gewicht

Nachteile:
- Geringe Steifigkeit
- Schlechtes Schwingungsverhalten
- Hoher Verschleiß

Geschmiedete Kurbelwellen

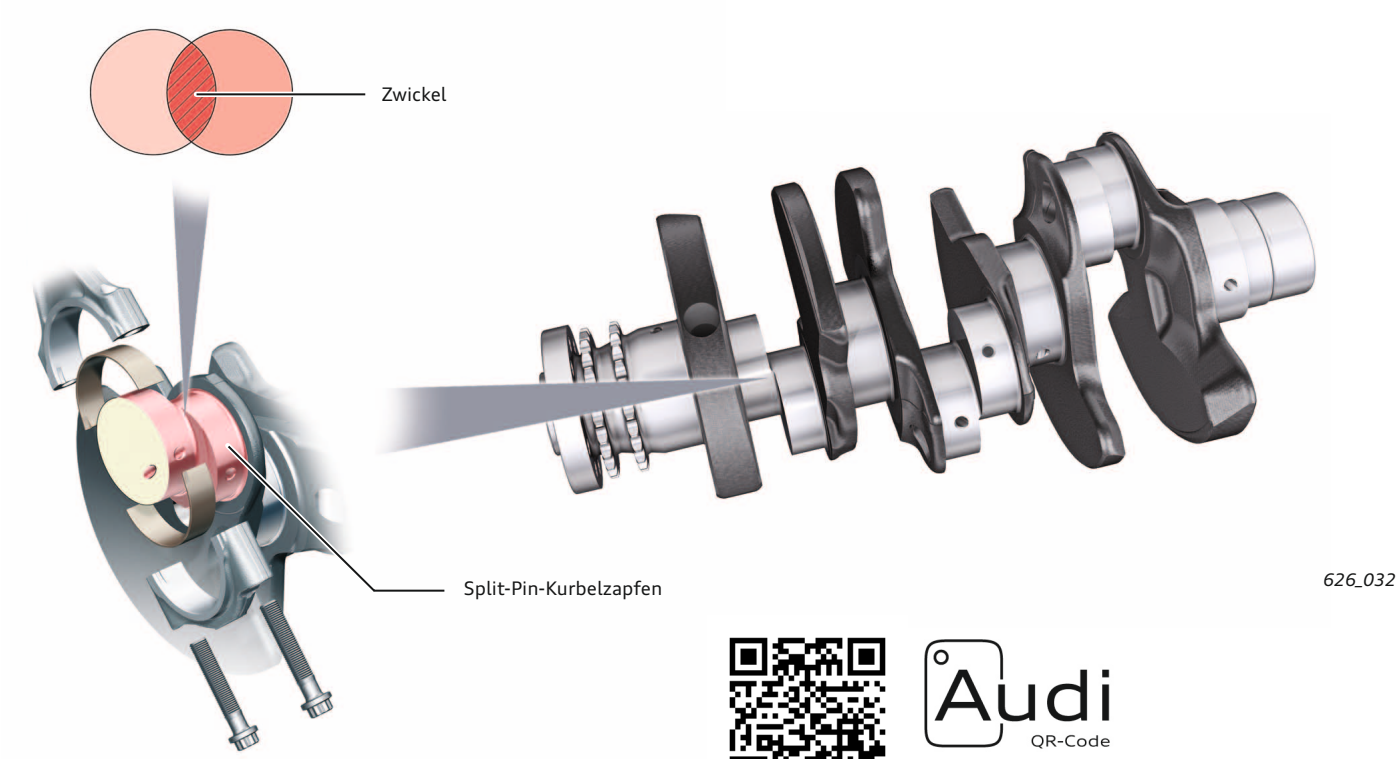
Vorteile:
- Hohe Steifigkeit
- Gutes Schwingungsverhalten
- Geringer Verschleiß

Nachteile:
- Höhere Herstellungskosten
- Aufwendige Bearbeitung
- Hohes Gewicht

Split-Pin

Bei V- und W-Motoren greifen jeweils 2 sich gegenüberliegende Kolben auf einen gemeinsamen Kurbel- bzw. Hubzapfen zu. Um dennoch die Laufruhe des Motors nicht zu gefährden, müssen die Zündabstände der einzelnen Zylinder präzise aufeinander abgestimmt werden. Diese Abstimmung lässt sich durch den Einsatz gekröpfter Kurbelzapfen realisieren, die auch als „Split-Pin“ bezeichnet werden. Der Versatz der Hubzapfen wird dabei maßgeblich vom Bankwinkel der Zylinderbänke bestimmt.

Für einen Bankwinkel von 90° werden Split-Pin-Kurbelwellen mit 18° Hubzapfenversatz gefertigt. Damit erreicht man einen gleichmäßigen Zündabstand von 72° Kurbelwelle. Split-Pin-Kurbelwellen werden in der Regel geschmiedet. Dies begründet sich darin, dass geschmiedete Kurbelwellen deutlich stabiler sind und es bei gekröpften Kurbelzapfen zu enormen Krafteinwirkungen an der Versatzstelle kommt. Dieser sogenannte „Zwickel“ ist daher im Betrieb bruchanfälliger. Die Kurbelwellenzapfen werden daher an der Anbindung zur Kurbelwellenwange „rolliert“. Durch die Verdichtung des Materials wird die Festigkeit der Kurbelwelle erhöht.



626_032

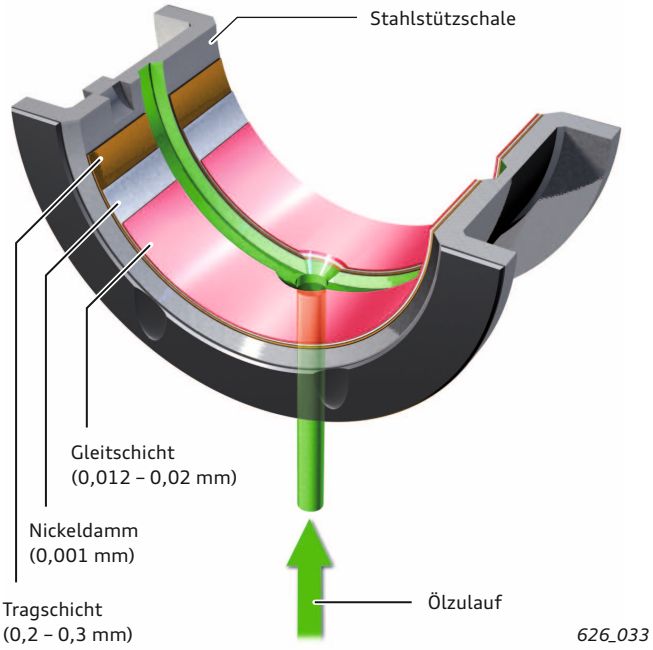
Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und schauen Sie sich ein kurzen Video zum Rollieren an.

Aufbau des mittleren Führungslagers

Die Kurbelwellenlager sollen die Kurbelwelle im Kurbelgehäuse aufnehmen, abstützen und führen.

Um den Verschleiß zu minimieren, soll dabei möglichst wenig Reibung auftreten. Je nach Motorauslegung kommen verschiedene Lagerschalen an den Hauptlagern zum Einsatz. Eine der Bauformen stellt das sogenannte „Dreistofflager“ dar. Sie zeichnet sich durch besonders hohe Verschleißfestigkeit und enorme Belastbarkeit aus.
Durch halbmondförmige Anlaufscheiben wird die Kurbelwelle im mittleren Lager axial geführt. Dreistofflager bestehen aus einer Stahlstützschale, einer dünnen Tragschicht und der eigentlichen Gleitschicht. Eine Ölnut mit integrierter Bohrung sorgt für die Schmierung der Hauptlager.



626_033

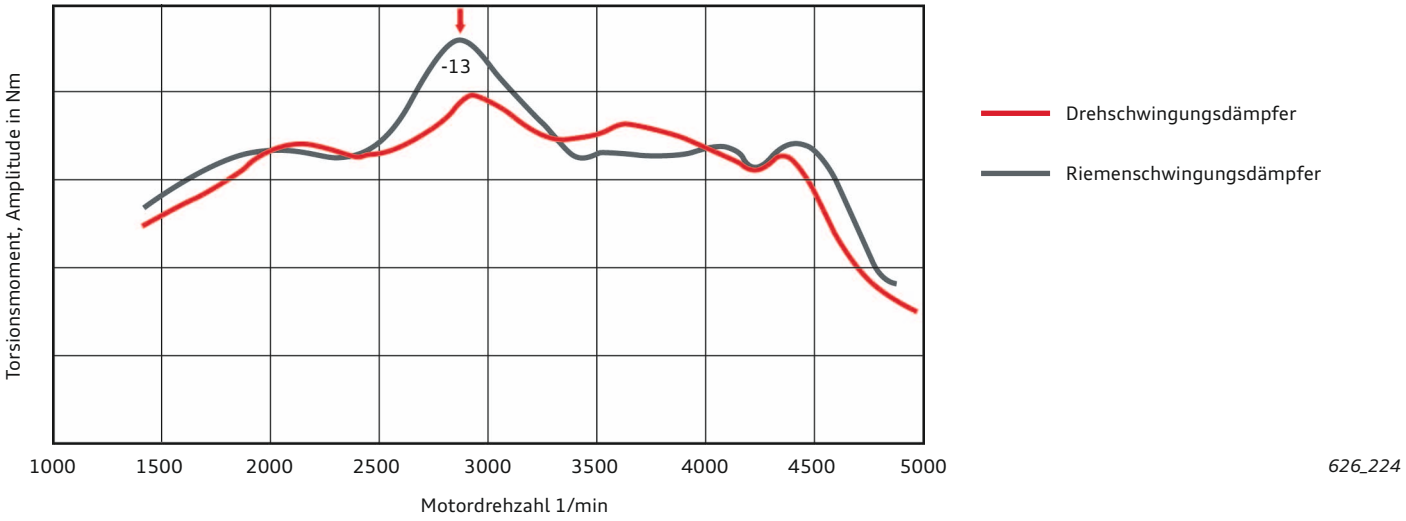
Audi QR-Code

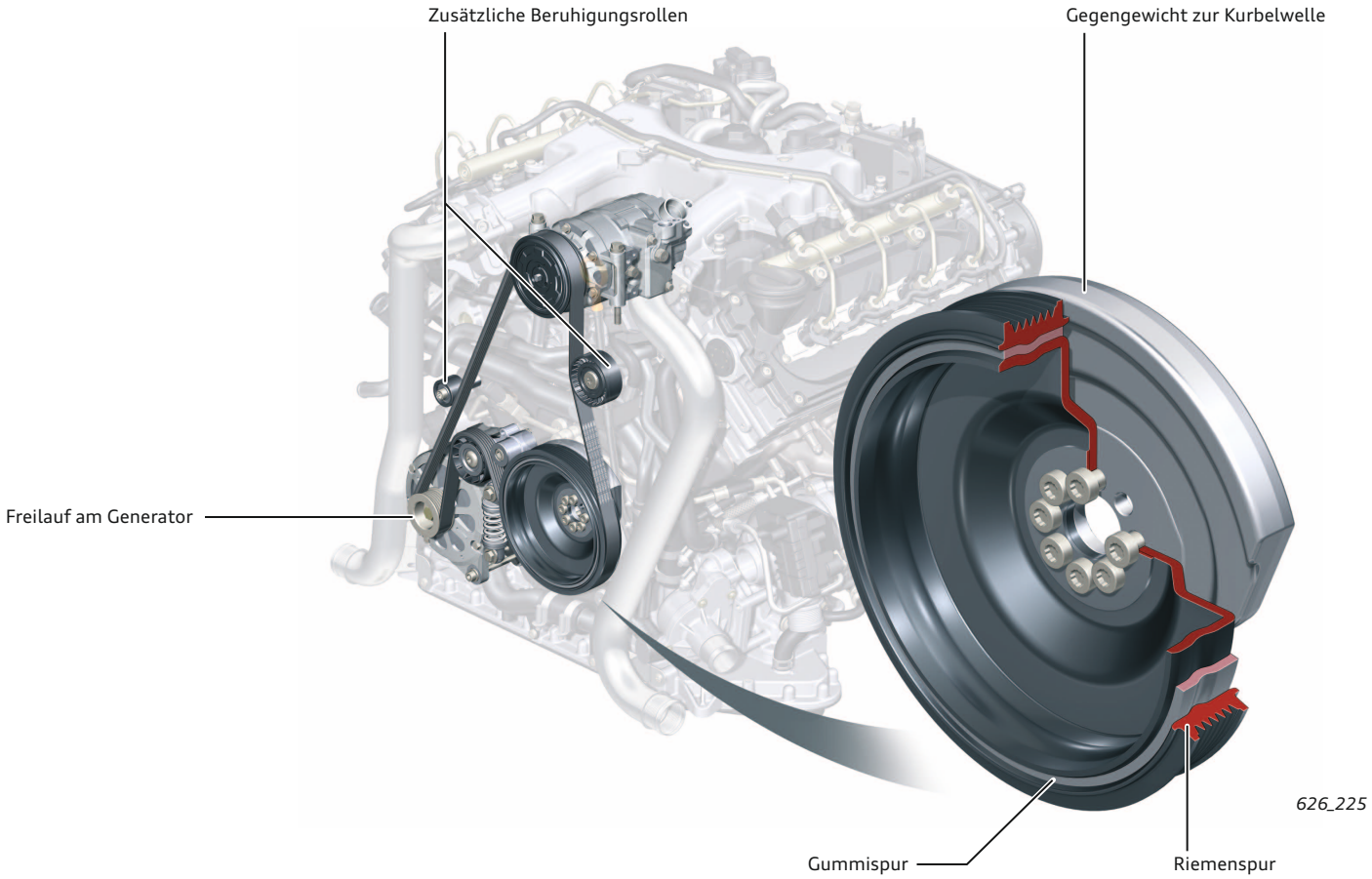
Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Kurbelwelle an einem V12-Motor.

Drehschwingungsdämpfer (beispielhaft am 4,2l-V8-TDI-Motor)

Wenn kurzfristig hohe Drehmomente freigesetzt werden, kann durch das Spiel im Kurbeltrieb das gesamte System schwingen und neben einer eventuellen Geräuschentwicklung auch zu mechanischen Schäden führen. Auch deshalb ist rechtzeitiges Dämpfen von Drehschwingungen sehr wichtig.
Wichtig bei dieser Art von Dämpfung ist eine große Masse des Schwungrings. Sie sollte zusätzlich möglichst weit außen mit großem Durchmesser angeordnet sein. Anders als beispielsweise beim Schwungrad ist aber diese Masse über Dämpfergummi mit dem zu dämpfenden Drehteil verbunden. Im Bild unten ist die hintere Dämpfungsmasse an die Kautschukschicht und diese wiederum mit der vorderen Keilriemenscheibe durch Vulkanisierung verbunden.

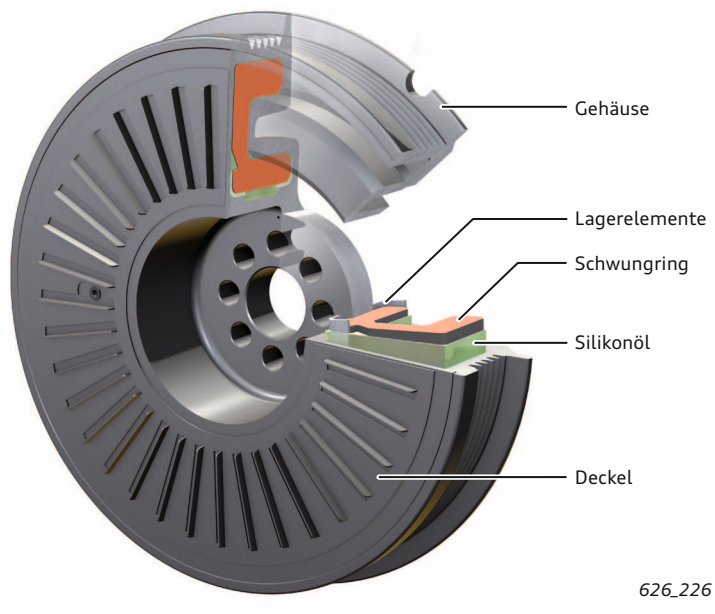
Dies gestattet der trägeren Masse die Gegenbewegung zu einer nicht ganz gleichmäßig drehenden Kurbelwelle.
Die Riemenscheibe an der Kurbelwelle ist mit einem Drehschwingungsdämpfer ausgerüstet. Um die auftretenden Schwingungen bei den unterschiedlichen Beschleunigungen der Kolben bei der Verbrennung, des Poly-V-Riemens zu dämpfen, wurden ein Freilauf im Generator und eine zusätzliche Beruhigungsrolle verbaut. Der Drehschwingungsdämpfer wurde so ausgelegt, dass die im mittleren Drehzahlbereich auftretenden Torsionsmomente gegenüber einem Riemenschwingungsdämpfer, um etwa 13 % geringer sind. Daraus resultiert eine geringere Kurbelwellenbelastung und eine verbesserte Motorakustik. Der Riementrieb treibt den Generator und den Klimakompressor an.





Drehschwingungsdämpfer (beispielhaft am 4,0l-V8-TFSI-Motor)

Der Visko-Dämpfer reduziert Drehschwingungen. Diese werden durch die am Verbrennungsmotor auftretenden Gas- und Massenkräfte (innermotorische Verbrennung und rotierende sowie oszillierende Massen) erzeugt. Durch die Schwingungen kommt es zu einer relativen Drehbewegung zwischen Gehäuse und Schwungring.
Inzwischen gibt es Schwingungsdämpfer, die in einem äußeren ringförmigen Hohlkörper mit Silikonöl gefüllt sind. Dieses ist noch reaktionsschneller in der Lage, ungleiche Kurbelbewegungen auszugleichen.
Dabei wird das Silikonöl auf Scherung beansprucht. Diese Beanspruchungen wirken auf der gesamten Oberfläche im Spalt zwischen Schwungring und Gehäuse. Die Summe der Beanspruchungen ergibt den Dämpfungseffekt.

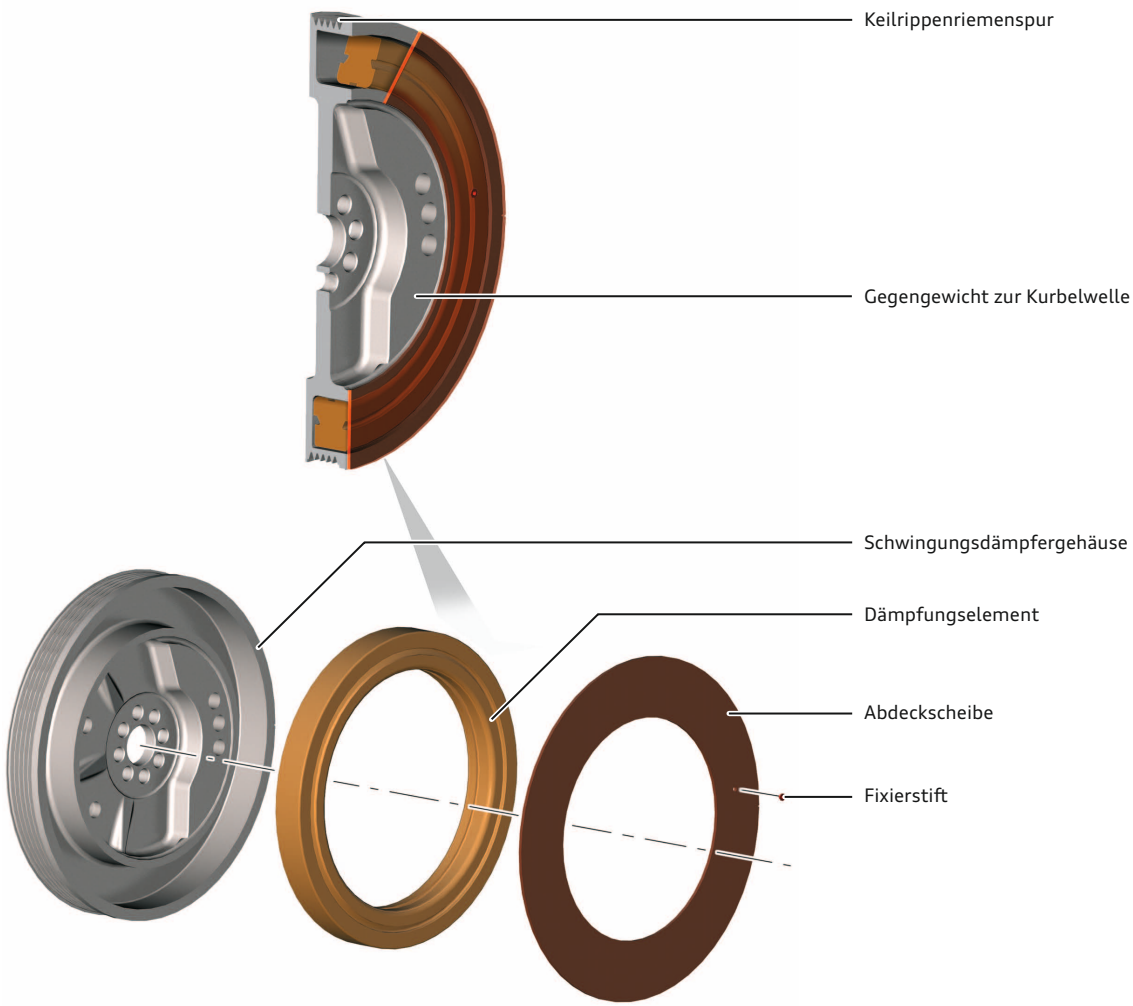


626_226

Visko-Schwingungsdämpfer (beispielhaft am 5,2l-V10-FSI-Motor)

Beim V10-FSI-Motor wird ein Visko-Dämpfer verbaut, dabei ist die Nähe zum Auslöser der Schwingungen wichtig. Als dämpfendes Medium wird ein zähflüssiges Viskoseöl in einem Ring in die Riemenscheibe eingelassen.

Dieses Viskoseöl dämpft die Relativbewegung zwischen Dämpfungselement und Schwingungsdämpfergehäuse.



626_227

Kolben

Die Kolben sind elementare Bestandteile eines jeden Hubkolbenmotors. Sie sind beweglich innerhalb der Zylinder gelagert und dichten den Brennraum gegen den Zylinderblock ab. Sie nehmen den bei der Verbrennung entstehenden Gasdruck auf und geben diesen über die Pleuelstange als Drehkraft an die Kurbelwelle weiter. Die Kolben sind dabei sehr hohen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt.

Anforderungen an die Kolben:

- Hohe Festigkeit
- Fresssicherheit
- Laufruhe
- Geringes Gewicht
- Geringer Ölverbrauch
- Geringe Schadstoffemission

Bereiche eines Kolbens

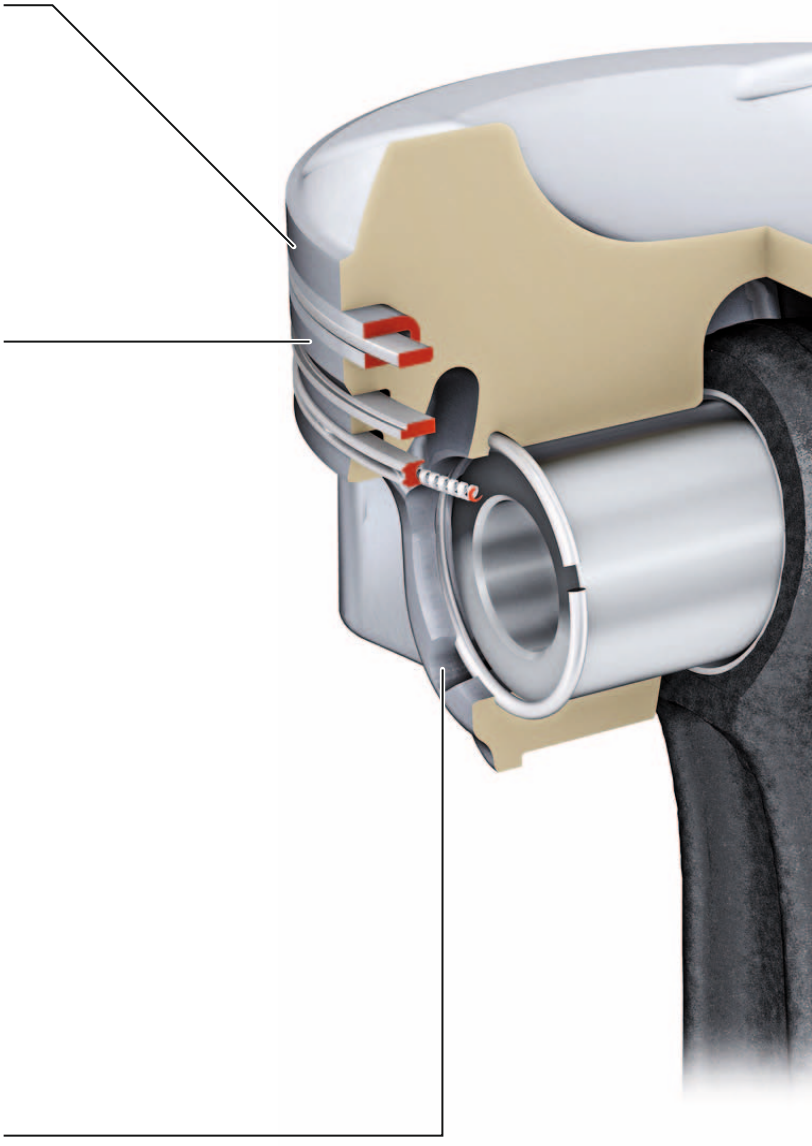
Feuersteg

Der Feuersteg schützt den obersten Kolbenring vor zu starker Erwärmung. Ein abgerundeter Übergang im Inneren optimiert die Wärmeableitung und versteift den Kolbenboden.

Ringsteg

Der Ringsteg ist der Teil des Kolbens, der sich zwischen 2 Kolbenringnuten befindet. Vor allem der oberste Ringsteg wird stark vom Brennraumdruck beansprucht. Um Ringstegbrüche zu vermeiden, muss dieser Ringsteg daher besonders widerstandsfähig ausgelegt sein. Die Höhe des oberen Ringstegs verschiedener Motortypen steht dabei im Verhältnis zum Kolbendurchmesser, siehe Tabelle.

Motorentyp	Höhe des oberen Ringstegs im Verhältnis zum Kolbendurchmesser
Benzinmotor	4,5 – 5 %
Dieselmotor	6 %
Dieselmotor mit Turbolader	7 – 8 %

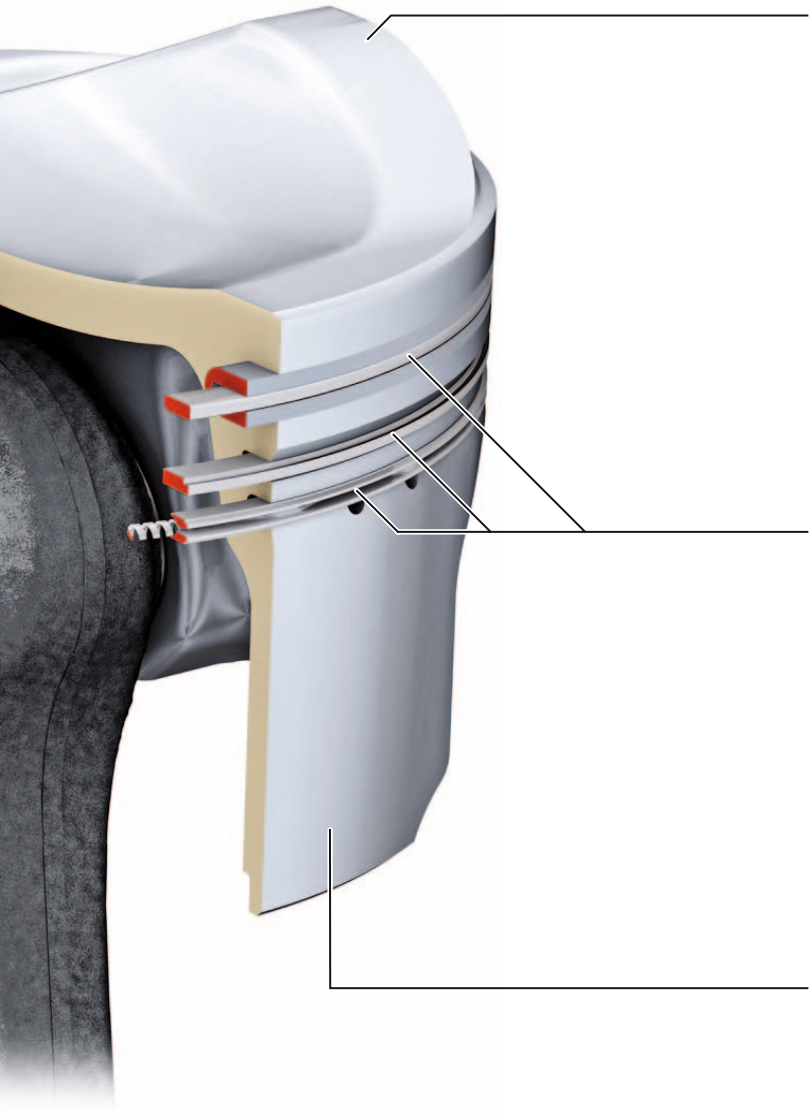


Bolzenauge

Das Bolzenauge, auch Bolzennabe genannt, dient als Aufnahme für den Kolbenbolzen. Hier wird die Kolbenkraft auf den Kolbenbolzen übertragen.

Beanspruchungen

- Zünddrücke von 50 bar – 180 bar am Kolbenboden und der Verbrennungsmulde.
- Seitenkräfte am Schaft des Kolbens.
- Flächenpressung an der Nabe des Kolbens.
- Beschleunigung bis zu 25.000 m/s².
- Gleitreibung an den Ringnuten, dem Kolbenschaft und den Bolzenlagern.
- Kolbenkippen
- Temperaturen:
  - Kolbenboden/Muldenkante: 200 °C – 400 °C
  - Bolzennabe: 150 °C – 260 °C
  - Kolbenschaft: 120 °C – 180 °C



626_036

Kolbenboden

Der Kolbenboden bildet gemeinsam mit dem Zylinder und dem Zylinderkopf den Brennraum. Seine Form wird maßgeblich von der Anordnung der Ventile und dem Motorkonzept bestimmt. So verfügen beispielsweise die Kolbenböden von FSI-Motoren über eine Strömungsmulde, welche die Luftführung optimiert.

Kolbenringe

Die Kolbenringe dichten den Brennraum gegen den Zylinder beweglich ab. Die Zone eines Kolbens, in der sich die Kolbenringe befinden bezeichnet man als Kolbenringzone. Die Höhe der Kolbenringzone richtet sich nach Anzahl und Größe der verbauten Kolbenringe. Die meisten Kolben verfügen über 3 Kolbenringe – 2 Verdichtungsringe und 1 Ölabstreifring.

Kolbenschaft

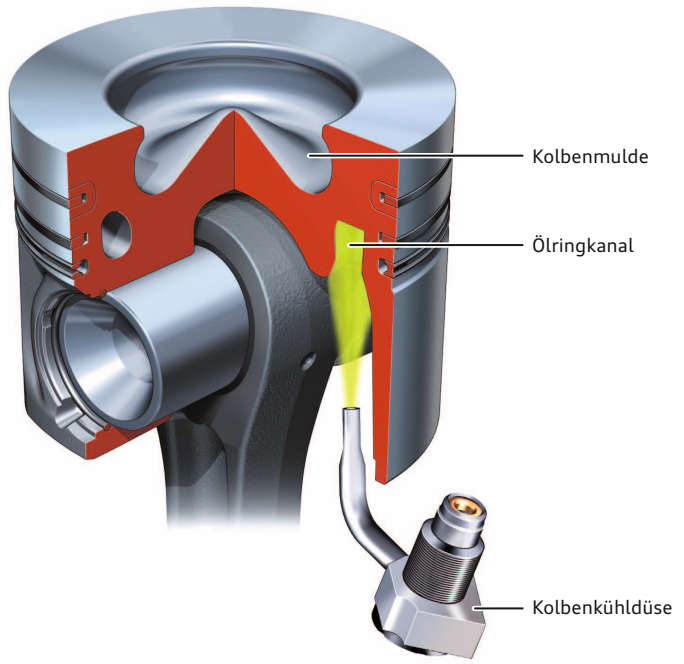
Der Kolbenschaft sorgt für die Geradeführung des Kolbens im Zylinder. Außerdem überträgt er die Seitenkraft auf die Zylinderwand. Eine große Schaftlänge und eine enge Führung wirken dem Kolbenkippen entgegen. Um den Verschleiß der Oberfläche des Kolbenschafts zu verringern, wird diese in einem speziellen Verfahren beschichtet, siehe Seite 25.

Besonderheiten bei Kolben von Dieselmotoren

Die Kolben eines Dieselmotors unterscheiden sich im Aufbau von den Kolben eines Benzinmotors. So verfügen Dieselmotorenkolben über eine sogenannte „Kolbenmulde“, in der der eingespritzte Kraftstoff mit der Luft vermischt wird. Für diesen Zweck sind die Kolbenmulden auf die Strahllage der Einspritzventile abgestimmt.

Kolbenkühlung

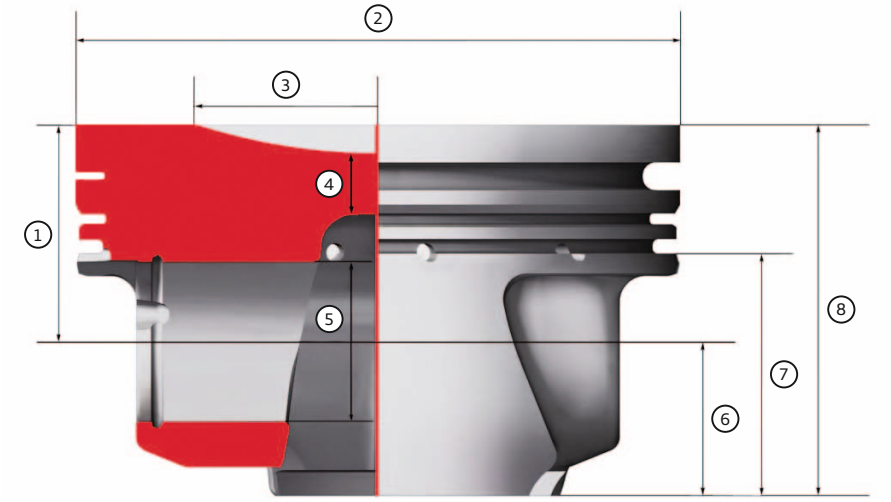
Je nach Bauart können die Kolben außerdem über eine aktive Kolbenkühlung verfügen. Diese Technik wird eingesetzt, um die Temperatur in besonders beanspruchten Bereichen, wie dem Kolbenboden oder der Ringzone, zu minimieren. Dazu befindet sich im Inneren des Kolbens ein Ölringkanal, der mittels einer Kolbenkühldüse mit Motoröl versorgt wird und somit den Kolbenboden kühlt. Dieser Ölringkanal wird mithilfe eines eingelegten Salzkerns beim Gießen ausgebildet.



626_037

Kolbenmaße

Der Charakter eines Kolbens wird maßgeblich durch seine Geometrie und die damit verbundenen Abmessungen bestimmt.



626_038

Nummer	Bedeutung	Definition
1	Kompressionshöhe	Gibt den Abstand zwischen der Mitte des Kolbenbolzens und der Oberkante des Feuerstegs an.
2	Kolbendurchmesser	Gibt den Durchmesser des Kolbenbodens an.
3	Maximaler Durchmesser der Kolbenmulde	Gibt den maximalen Durchmesser der Kolbenmulde an.
4	Dicke des Kolbenbodens	Gibt die Dicke des Kolbenbodens an.
5	Durchmesser des Kolbenbolzens	Gibt den Durchmesser des Kolbenbolzens an.
6	Untere Länge	Gibt den Abstand zwischen der Mitte der Kolbenbolzenbohrung bis zum Ende des Schafts an.
7	Länge des Schafts	Gibt die Länge des Kolbenschafts an.
8	Gesamte Länge des Kolbens	Gibt die Gesamtlänge des Kolbens an.

Desachsierung der Nabenbohrung

Unter Desachsierung versteht man den Versatz der Bolzenachse zur Längsachse des Kolbens. Damit werden die Aufschlagimpulse des Kolbens entscheidend beeinflusst, was das Anlageverhalten beim Seitenwechsel optimiert. Resultat ist die Reduzierung von Kolbenlaufgeräuschen. Außerdem kann das Auftreten von Beschädigungen der Zylinderlaufbuchsen, sogenannte Kavitationen, minimiert werden.

Einbauspiel des Kolbens

Für den Einbau eines Kolbens in den Zylinder ist das Einbauspiel des Kolbens zu beachten. Das Einbauspiel ergibt sich aus der Differenz des Zylinderdurchmessers und des größten Kolbendurchmessers. Der Wert kann auf dem Kolbenboden dokumentiert sein. Außerdem findet sich dort eine Angabe zur Einbaurichtung des Kolbens. Die Einbaurichtung muss unbedingt beachtet werden.

Fertigung

Entsprechend der gewünschten Bauart unterscheiden sich Kolben hinsichtlich ihrer Fertigung. Je nach späterem Einsatz und der damit verbundenen Belastung werden die Kolben in unterschiedlichen Verfahren gefertigt. Gemeinsam ist allen Kolbenbauarten, dass sie nach der Fertigung einer Oberflächenbehandlung unterzogen werden. Dies minimiert den Verschleiß und verbessert die Laufeigenschaften. Einige Kolben werden dazu am Kolbenschaft mit einer sogenannten Ferroprint-Beschichtung versehen.

Fertigungsverfahren:

- Schmieden
- Pressen
- Gießen
  - Kokillenguss
  - Schleuderguss
  - Strangguss
  - Verdrängungsguss (Flüssigpressen)

Bauarten

Unterschiedliche Motorbauarten bedingen den Einsatz unterschiedlicher Kolbenbauarten. Wesentliche Unterschiede bestehen dabei vor allem in Form, Material und Aufbau der Kolben.

Die auffälligsten Unterschiede finden sich dabei in der Geometrie der Kolbenböden und Kolbenmulden. Die nachfolgende Übersicht zeigt einige mögliche Kolbenbauarten.

TDI-Motor mit Kolbenmulde



626_039

V8-TFSI-Motor mit Ventiltaschen



626_041

FSI-Motor für Schichtladebetrieb



626_042

W12-Motor mit angeschrägtem Kolbenboden



626_040

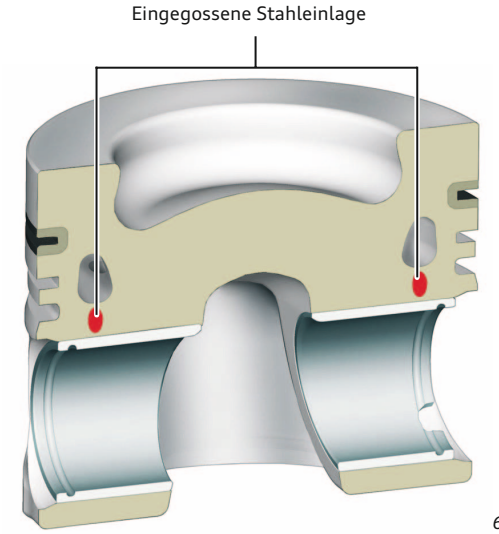
Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Funktion des Kolbenbodens bei einem Dieselmotor.

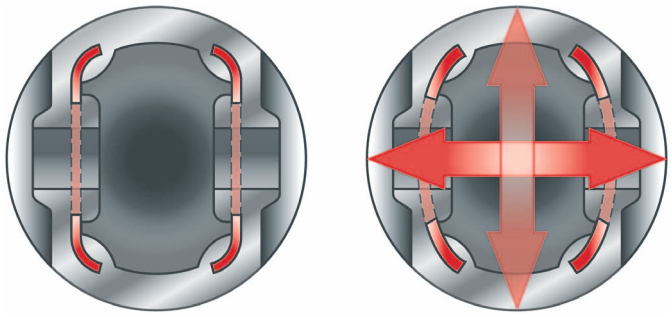
Regelkolben

Unter dem Begriff „Regelkolben“ werden Kolben zusammengefasst, die eine gezielte bzw. geregelte Wärmeausdehnung aufweisen. Dabei lenkt eine, in das Leichtmetall eingegossene Stahleinlage die Wärmeausdehnung in eine bestimmte Richtung.

Vergleicht man einen warmen und einen kalten Regelkolben, so zeigt sich, dass die Stahleinlage als Bimetall wirkt. Die Wärmeausdehnung wird dadurch hauptsächlich in die Richtung der Achse des Kolbenbolzens gelenkt. Um die Ausdehnung des Kolbens auszugleichen, wird der Bereich um den Kolbenbolzen herum oval ausgelegt.



626_043

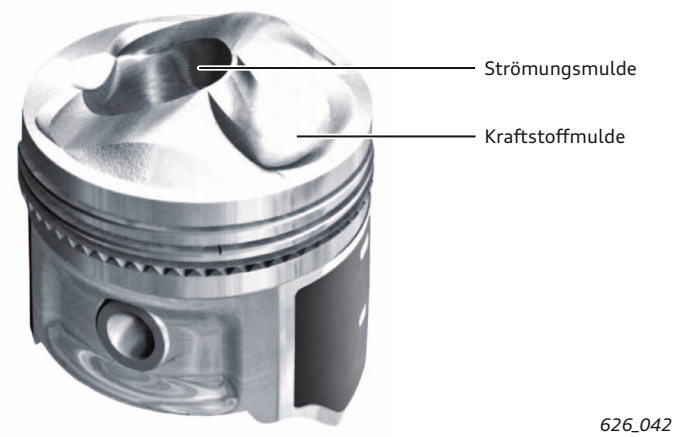


626_044

Strömungsmulde

Die Kolben direkteinspritzender Benzinmotoren verfügen über Mulden im Kolbenboden, welche die Führung der Gasströme innerhalb des Brennraums beeinflussen.

Neben Strömungsmulden verfügen einige dieser Kolben zusätzlich über Kraftstoffmulden, denen eine besondere Bedeutung im sogenannten Schichtladebetrieb zukommt.

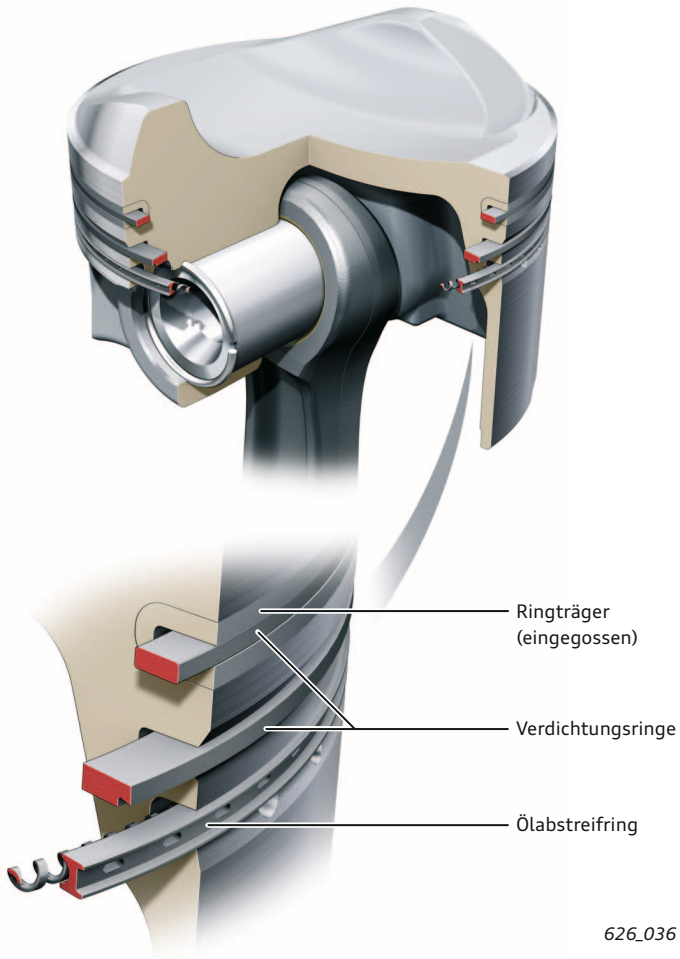


626_042

Kolbenringe

Die Kolbenringe befinden sich im oberen Bereich des Kolbens. Man unterscheidet in „Verdichtungsringe“ und „Ölabstreifringe“. Verdichtungsringe sind stets über dem Ölabstreifring angeordnet.

Kolbenring	Funktion
Verdichtungsring	▸ Abdichtung des Kolbens gegenüber dem Zylinder ▸ Ableitung der Wärme vom Kolben zur Zylinderwand
Ölabstreifring	▸ Abstreifen des überschüssigen Öls von der Zylinderwand ▸ Rückführung des abgestreiften Öls in die Ölwanne



Fertigung

Kolbenringe müssen, aufgrund der hohen Kolbengeschwindigkeiten und der hohen Drücke im Zylinder, enormen Belastungen standhalten. Daher werden Kolbenringe aus Gusseisen oder hochlegierten Stählen gefertigt.
Bei besonders hoch beanspruchten Kolben werden widerstandsfähige Ringträger eingegossen, welche die oberen Kolbenringe führen. Ringträger kommen vor allem bei Dieselmotoren, vereinzelt aber auch bei FSI-Motoren, zum Einsatz.

Bauarten

Je nach Motorbauart und angedachtem Verwendungszweck gibt es unterschiedliche Bauarten von Kolbenringen.

Kolbenring	Querschnitt	Bezeichnung	Merkmale und Vorteile
Verdichtungsringe		Rechteckring	Einfache Fertigung.
		Minutenring	Verkürzt die Zeitspanne, die ein neuer Motor braucht, um sich einzulaufen.
		Trapezring	Verhindert das Steckenbleiben des Kolbenrings in einer mit Verkokungsrückständen gefüllten Nut.
		L-Ring	Durch geringe Eigenspannung können die Verbrennungsgase hinter den Kolbenring gelangen und damit den Anpressdruck an die Zylinderwand erhöhen.
Ölabstreifringe		Nasenring	Zusätzliche Ölabstreifwirkung.
		Ölschlitzring	Ölabstreifwirkung mit zusätzlichem Öldurchlass zum Kolbeninneren.
		Schlauchfeder-Ölring	Verbesserte Ölabstreifwirkung durch erhöhten Anpressdruck.

Kolbenbolzen

Der Kolbenbolzen verbindet Kolben und Pleuel kraftschlüssig und muss dabei enormen Belastungen standhalten. Aufgrund der oszillierenden Bewegungen des Kolbens, der auftretenden Gas- und Massekräfte sowie der schlechten Schmierbedingungen, stellen sich an den Kolbenbolzen eine Reihe von Anforderungen.

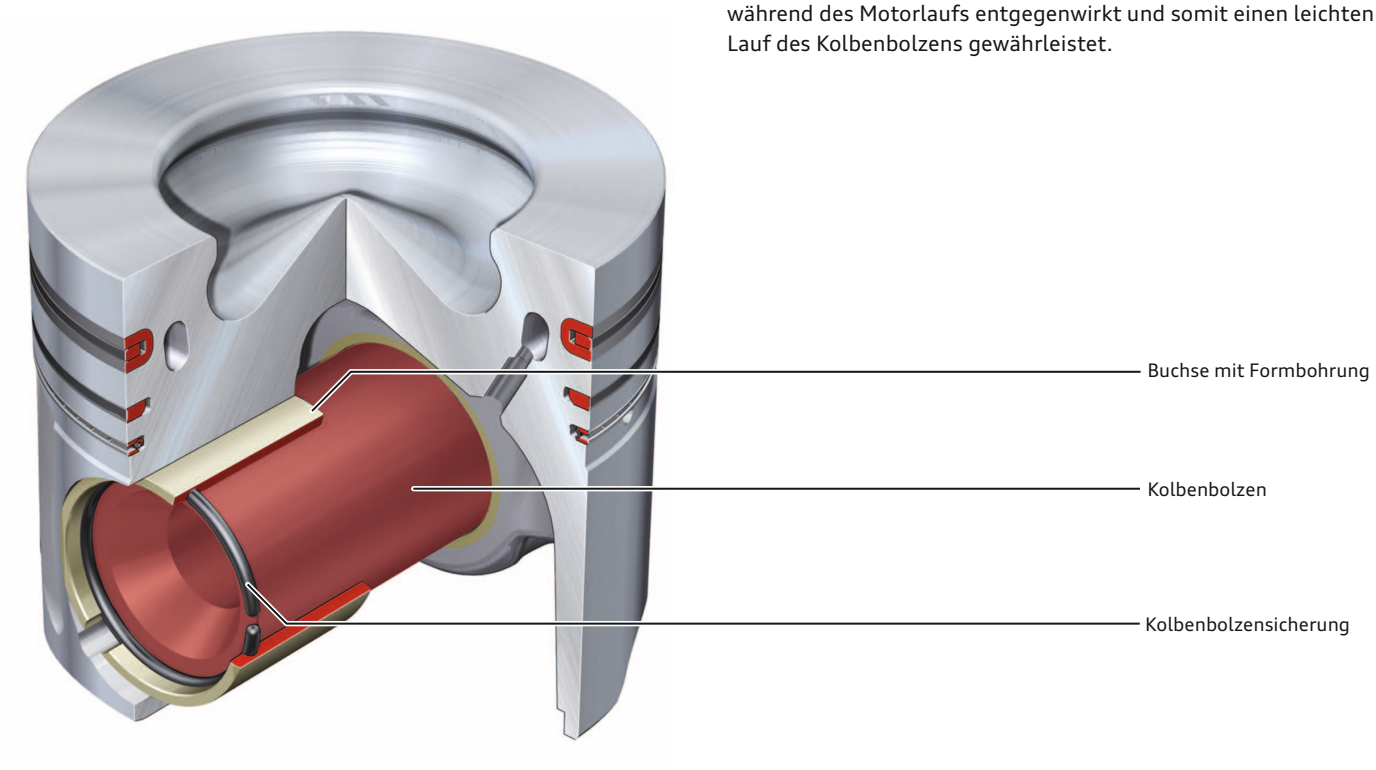
Anforderungen an den Kolbenbolzen:

- Geringes Gewicht
- Hohe Steifigkeit
- Hohe Wechselfestigkeit und Zähigkeit des Werkstoffs
- Hohe Oberflächengüte
- Hohe Oberflächenhärte
- Hohe Formgenauigkeit

Kolbenbolzenkonstruktion

In den meisten Motoren sind die Kolbenbolzen röhrenförmig konstruiert und werden schwimmend gelagert. Durch eine Kolbenbolzensicherung werden die Bolzen arretiert. Bei einigen Motoren werden die Kolbenbolzen durch Schrumpfspannung im Pleuel fixiert.

Um die Festigkeit des Kolbens zu steigern, verfügen einige Motoren, wie zum Beispiel der V6-TDI-Motor mit Biturboaufladung, über beschichtete Kolbenbolzen. Diese Beschichtung erhöht die Gleitfähigkeit des Bolzens und reduziert die Reibung in diesem Bereich. Durch den Einsatz von Buchsen mit Formbohrung wird der Druck zwischen Bolzen und Kolben gleichmäßig verteilt. Die Bohrung wird so ausgelegt, dass sie der Verformung des Kolbens während des Motorlaufs entgegenwirkt und somit einen leichten Lauf des Kolbenbolzens gewährleistet.



626_052

Kolbenbolzensicherung

Wird der Bolzen nicht mittels Schrumpfspannung im Pleuel arretiert, muss er gegen seitliche Bewegungen und Kollisionen mit der Zylinderwand gesichert werden. Dazu werden überwiegend außenspannende Sicherungsringe aus Federstahl, sogenannte Sprengringe, verwendet. Diese werden in Nuten am Außenrand der Nabenbohrung eingesetzt.

Bauformen von Sicherungsringen



626_053

Pleuel

Die Pleuel schließen sich nach unten an die Kolben an. Sie verbinden Kolben und Kurbelwelle miteinander und wirken so als Schubstange. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, die geradlinige (translatorische) Bewegung der Kolben in eine Drehbewegung der Kurbelwelle umzuwandeln.
Dabei unterliegen sie ständig wechselnden Zug- und Druckkräften. Hinzu kommen thermische Belastungen durch Reibung und Verbrennung.

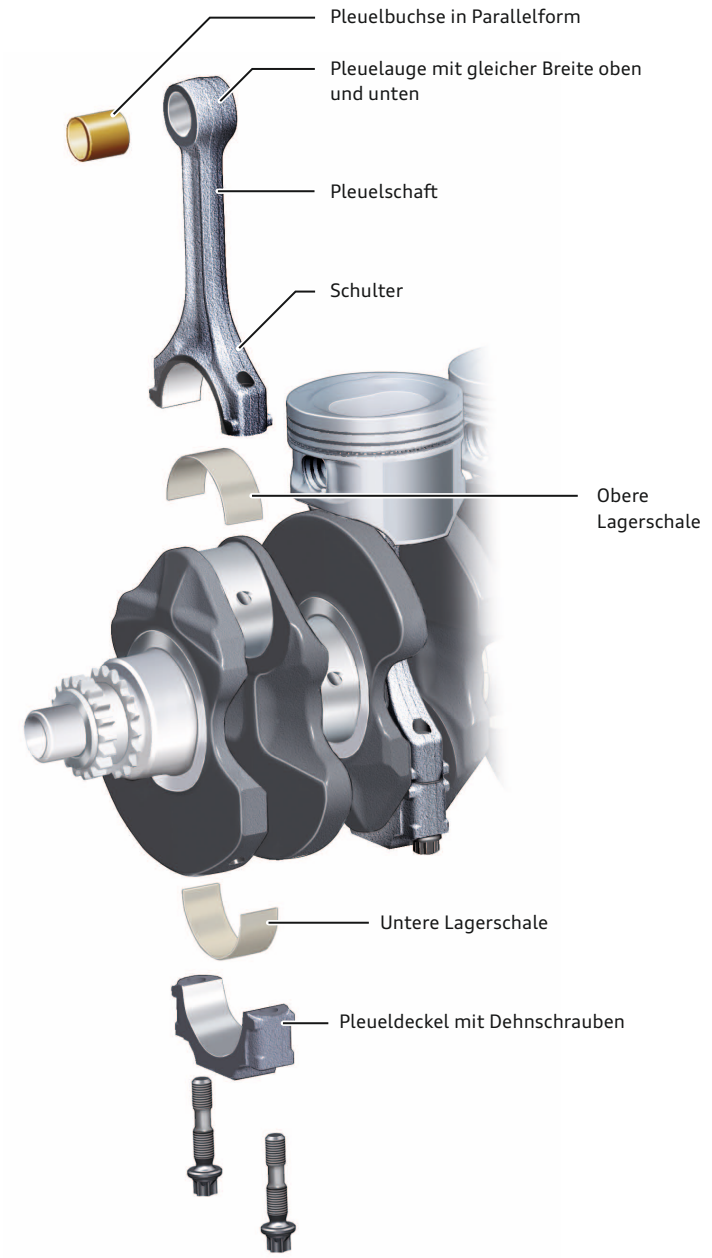
Aufbau

Das zentrale Element bildet der Pleuelschaft. Dieser wird häufig in Doppel-T-Form ausgeführt.
Im oberen Bereich des Pleuelschafts befindet sich das Pleuelauge mit integrierter Pleuelbuchse. Sie nimmt den Kolbenbolzen, welcher durch Spritzöl geschmiert wird, auf.
Im Pleuelfuß (-schulter) wird mithilfe von Dehnschrauben die Verbindung zum unteren Pleueldeckel hergestellt. Zwei Lagerschalen, je Kurbelwellenzapfen, übernehmen die Lagerung auf der Kurbelwelle.

Bauformen

Mit geringeren Platzverhältnissen und immer höheren Verbrennungsdrücken stellen sich hohe Anforderungen an die Pleuel.

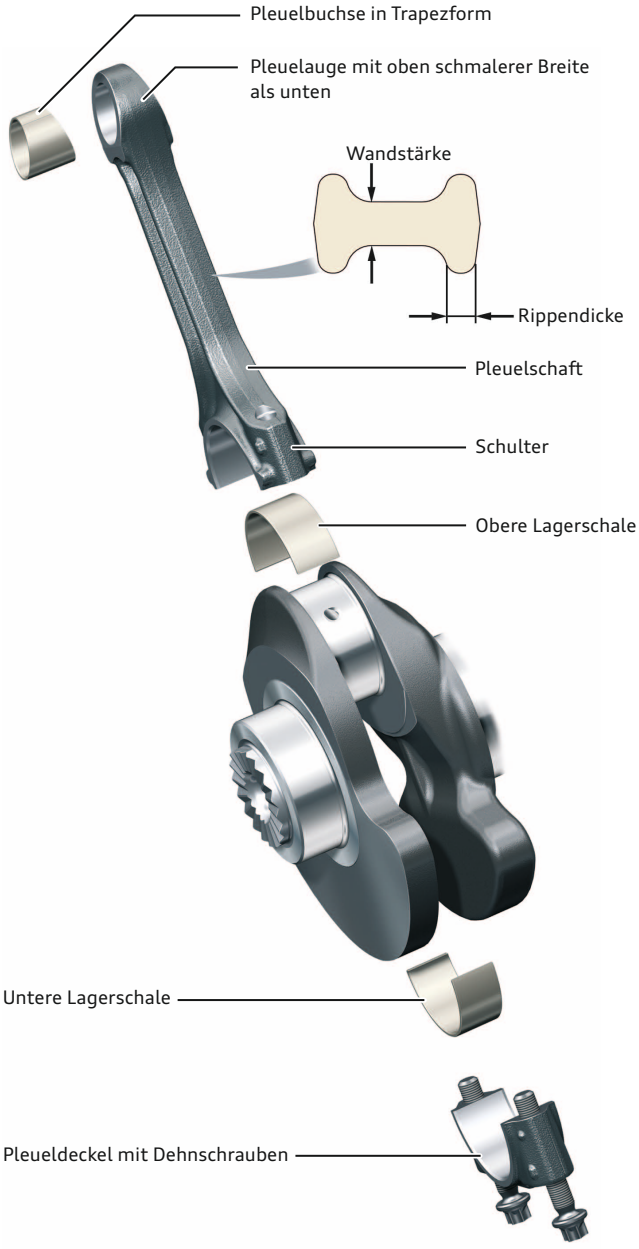
Parallelpleuel



626_197

Trapezpleuel

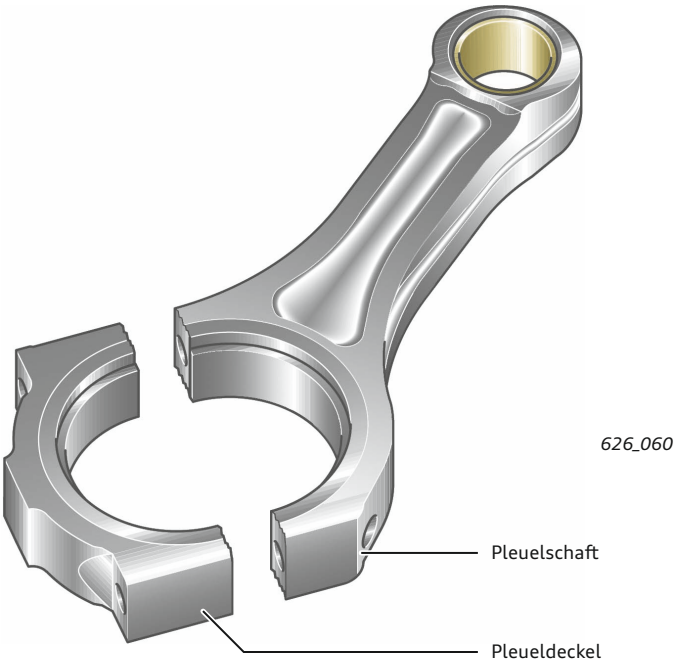
Ein Kolben mit Trapezanbindung in Kombination mit dem dazu passenden Trapezpleuel wird beiden Anforderungen gerecht. Im Vergleich zu herkömmlichen Kolben-Pleuel-Kombinationen, ist die Auflagefläche von Pleuelauge und Kolbenbolzen hier deutlich größer. Dadurch werden die Verbrennungskräfte besser verteilt und die Bauteilbelastung deutlich reduziert.



626_057

Schräggeteilte Pleuel

In einigen V-Motoren kommen schräggeteilte Pleuel zum Einsatz. Diese Bauform erlaubt es, den Pleuelschaft ohne Pleueldeckel durch die Zylinderbohrung zu montieren.



626_060

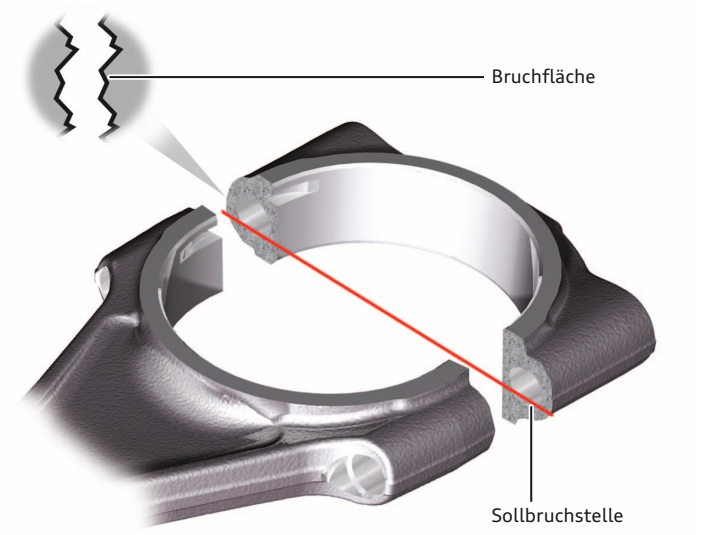
Fertigung

Pleuel werden überwiegend im Schmiedeverfahren gefertigt. Zur Herstellung werden verschiedene Materialien eingesetzt, aus denen sich unterschiedliche Produktionsverfahren ergeben. Besondere Bedeutung kommt bei der anschließenden Bearbeitung, der Trennung von Pleuelschaft und -deckel zu. Hier gilt es, eine hohe Passgenauigkeit zu gewährleisten, was mithilfe des Crackens hervorragend gelingt.

Beim Cracken erzeugt ein Laserstrahl eine Sollbruchstelle an der das Pleuel später gebrochen wird. Ein Trennwerkzeug führt dann den gezielten Bruch aus. Es entsteht eine unverwechselbare Bruchfläche. Beide Teile passen nur in einer Stellung zueinander.

Diese Technologie bietet gegenüber dem Schneiden deutliche Vorteile:

- Hohe Passgenauigkeit
- Guter Kraftschluss
- Keine zusätzlichen Zentrierhilfen erforderlich.
- Kostengünstigere Herstellung durch geringeren Materialeinsatz.



626_061

Pleuellagerung

Die Kurbelwellenzapfen werden so bearbeitet, dass sie eine hohe Passgenauigkeit mit den Lagerschalen erreichen.

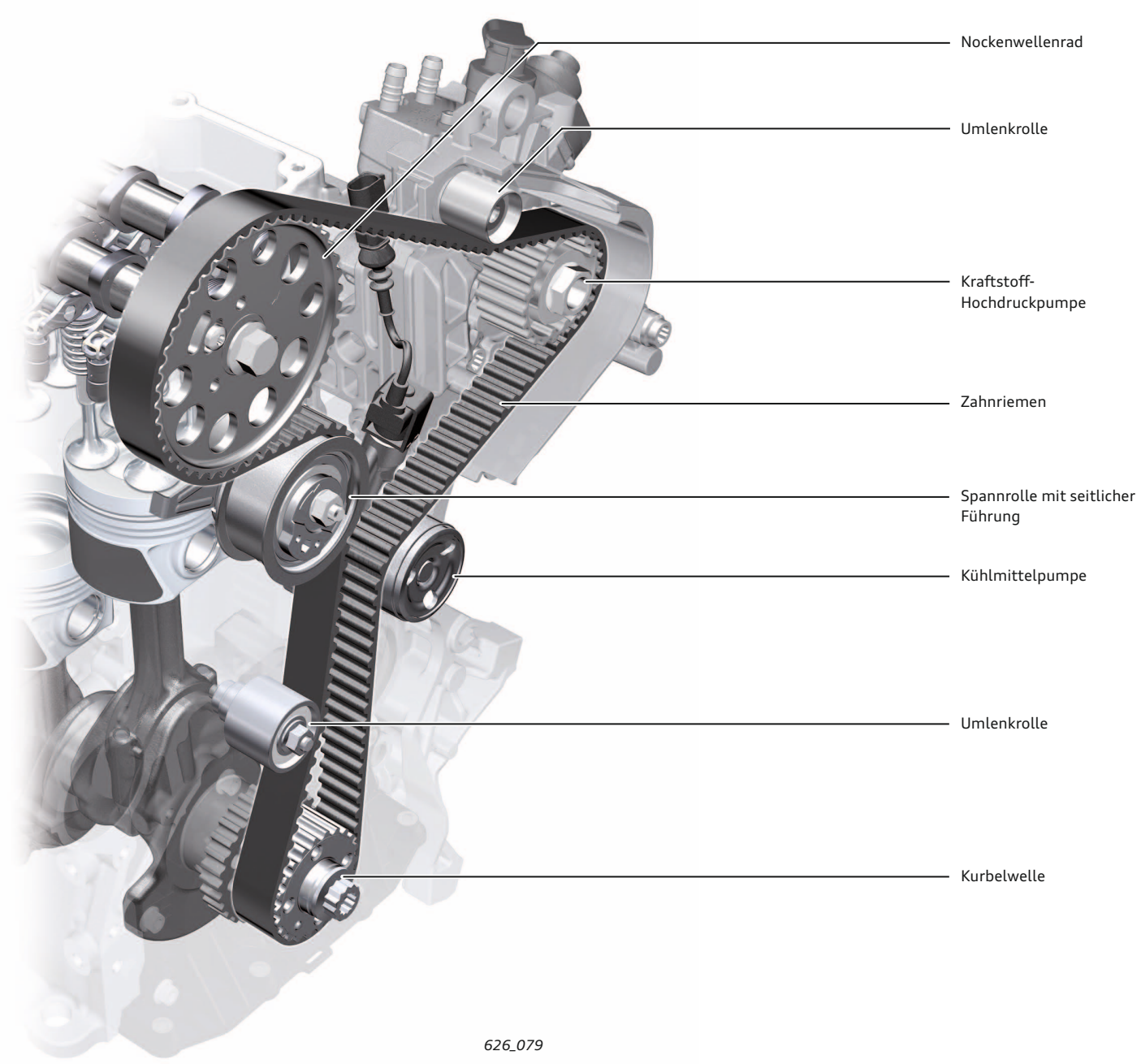
Hinweis
Zur Diagnose bei Klopfgeräuschen, kann der Verbrennungsdruck durch Abziehen eines Zündkerzensteckers oder eines Injektors (bei Dieselmotoren) reduziert werden. Somit kann ein möglicher Pleuellagerschaden im entsprechenden Zylinder diagnostiziert werden.

Zahnriemenantrieb

Der Antrieb der Nockenwellen kann unter anderem über Zahnriemen erfolgen. Beim sogenannten „Zahnriemenantrieb“ verwendet man Kunststoffriemen, um Nockenwellen und Kurbelwelle miteinander zu verbinden. Eine Spannrolle sorgt dafür, dass der Riemen stets unter Spannung steht und dadurch sicher läuft. In den Zahnriemenantrieb lassen sich weitere Nebentriebe, wie z. B. die Kühlmittelpumpe, einbinden und betreiben. Auf der Spann- und Umlenkrolle wird der Zahnriemen durch ein Führungsbord am seitlichen Ablaufen gehindert.

Anforderungen an den Zahnriemenantrieb:

- Hohe Lebensdauer
- Geringer benötigter Bauraum
- Minimales Gewicht
- Geringe Geräuschentwicklung
- Einhaltung der Mindestumschlingwinkel an den Zahnriemenrädern.
- Trumlängen[1)] dürfen nicht im Bereich 75 mm – 130 mm liegen.
- Zahnriemen muss an mindestens einem Riemenrad geführt werden.



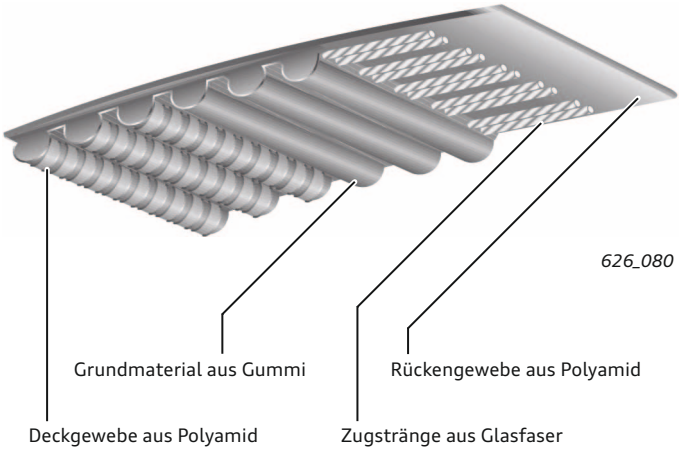
626_079

[1)] Als Trum werden die Teile des Riemens bezeichnet, die sich zwischen den Riemenscheiben befinden.

Hinweis
Bei Geräuschen aus dem Bereich des Zahnriemens sollte die Spannung des Zahnriemens mit einem Zahnriemen-Messgerät geprüft werden. Weiterhin sollte der Zustand von Spann- und Umlenkrollen geprüft werden. Beachten Sie beim Prüfen des Zahnriementriebs die Hinweise im Reparaturleitfaden.

Aufbau eines Zahnriemens

Ein Zahnriemen setzt sich aus mehreren Schichten zusammen.



Vorteile:

- Geringe Masse
- Geräuscharmer Lauf
- Niedrige Fertigungskosten
- Keine Schmierung erforderlich
- Einfacher Antrieb
- Flexibilität der Riemenführung
- Geringe Reibung

Nachteile:

- Überspringen oder Reißen ist möglich.
- Ölfreie Umgebung ist Voraussetzung.
- Biegeradien sind vorgegeben.
- Laufrichtung bereits gelaufener Zahnriemen muss beachtet werden.
- Wechselintervalle müssen eingehalten werden.

Riemenspannsysteme

Riemenspannsysteme sorgen für eine korrekte Spannung des Riemens und somit für einen sicheren Lauf. Es gibt 3 verschiedene Varianten von Spannsystemen:

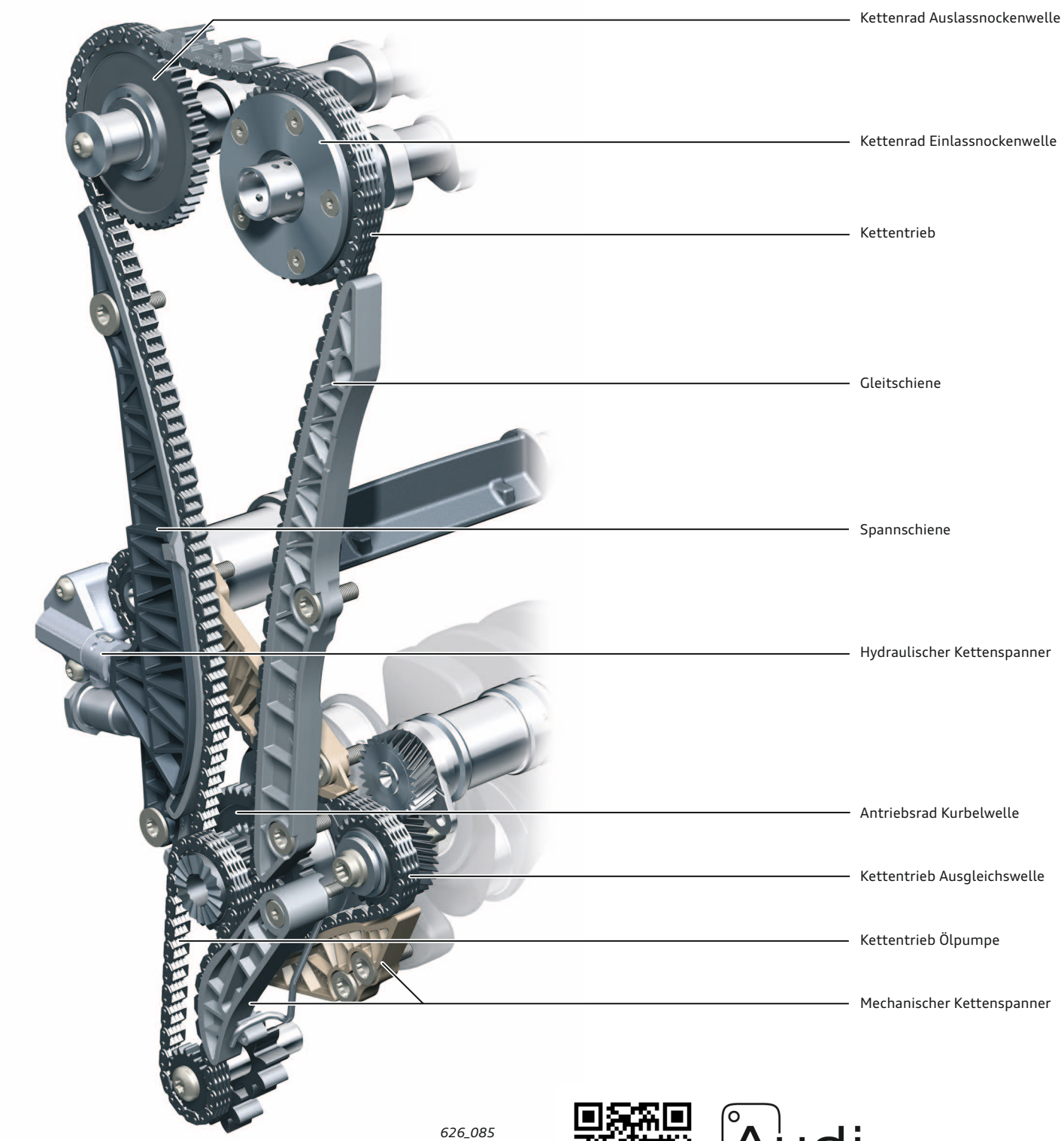
- Exzenter-Spannrolle
- Mechanischer Kompaktspanner
- Hydraulikspanner

	Exzenter-Spannrolle	Mechanischer Kompaktspanner	Hydraulikspanner
			
Wirkprinzip	▸ Feste Spannrolle	▸ Reibungsgedämpfte Spannrolle	▸ Hydraulisch gedämpfte Spannrolle
Eigenschaften	▸ Spannung des Riemens verändert sich in Abhängigkeit von der Motortemperatur. ▸ Änderung der Riemenlänge und Riemenverschleiß über Laufzeit. ▸ Riemen verliert nach und nach an Grundspannung.	▸ Verhindert die Änderung der Riemenlänge über Laufzeit. ▸ Reduziert den Verschleiß des Zahnriemens.	▸ Zahnriemen wird von einer Druckfeder im Hydraulikelement über Hebel und Spannrolle vorgespannt. ▸ Dämpfung erfolgt gerichtet über ein Hydraulikelement. ▸ Gerichtete Dämpfung ermöglicht Kontrolle anspruchsvoller Riementriebe. ▸ Vorspannkraft wird optimiert.

Kettentrieb

Eine andere Möglichkeit die Nockenwellen anzutreiben, stellt der Kettentrieb dar. Dieses Konzept wird verwendet, wenn höhere Kräfte zu übertragen sind oder größere Abstände überbrückt werden müssen. Eine Kette überträgt hierbei die Drehbewegung des Antriebsrads der Kurbelwelle an die Kettenräder der Nockenwellen. Ein hydraulischer Kettenspanner sorgt für eine konstante Spannung der Kette. Der Kettenspanner trägt wesentlich dazu bei, den Verschleiß der Kette zu minimieren.

Gleitschienen aus Kunststoff führen die Kette und halten Laufgeräusche niedrig. Je nach Übertragungsweg können mehrere Kettenspanner zum Einsatz kommen. Auch die Anzahl der eingesetzten Kettentriebe variiert je nach Motor und der Anzahl der anzutreibenden Nebenaggregate. Kettentriebe für Nebenaggregate werden oftmals über mechanische Spannelemente gespannt.



626_085

Audi QR-Code

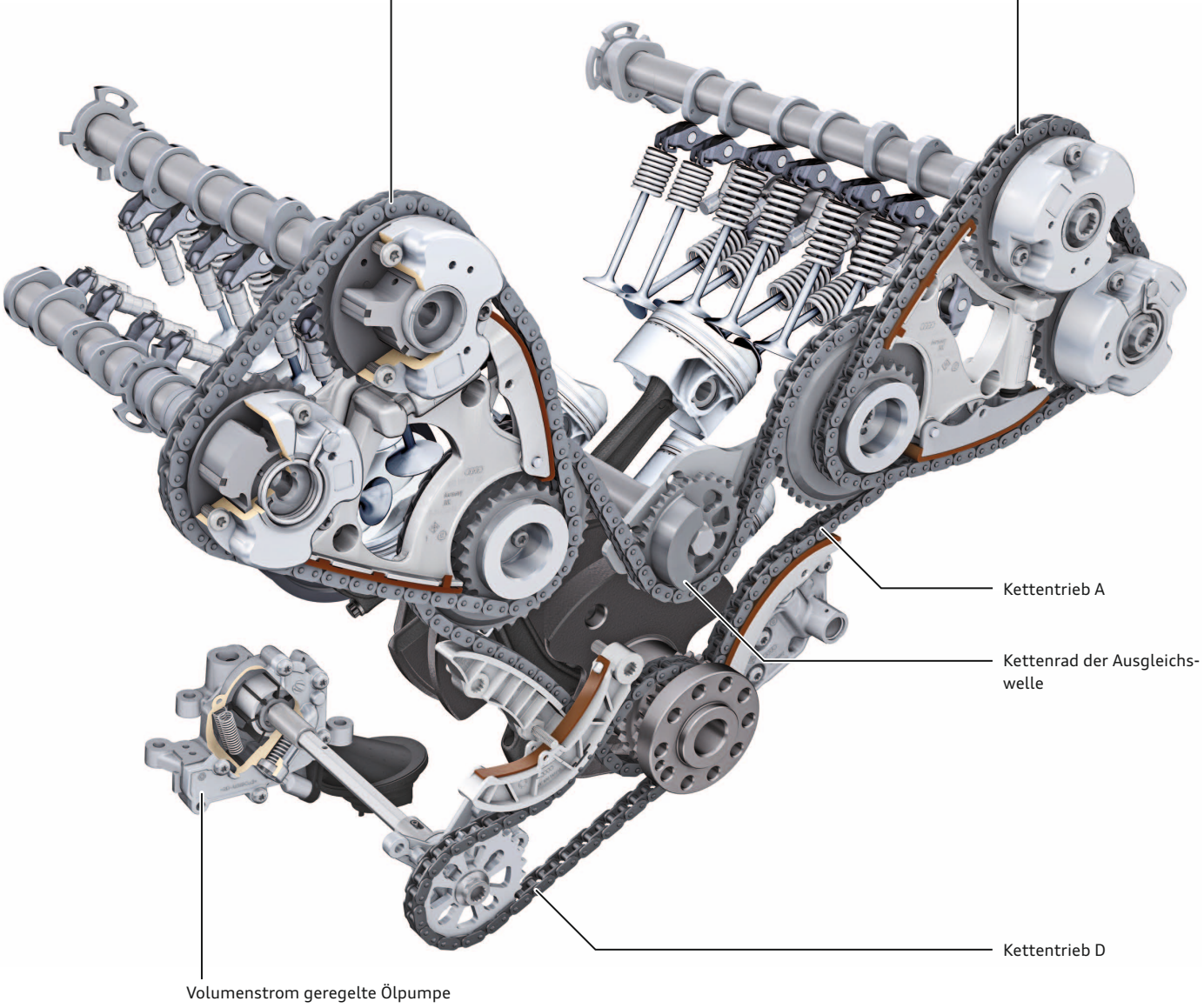
Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zum Kettentrieb.

Komplexe Kettentriebe

Je nach Komplexität des Motors und der Menge der anzutreibenden Nebenaggregate, kann die Anzahl der eingesetzten Kettentriebe variieren. Komplexe Kettentriebe werden überwiegend in V- und W-Motoren eingesetzt.

Kettenlängung

Bei Kettentrieben kann Kettenlängung auftreten. Dies äußert sich durch Geräusche im Bereich des Kettentriebs oder Leistungsverlust. In diesem Fall sollte die Längung der Kette mithilfe des Prüfgeräts für Kettenlängung T40182 ermittelt werden.



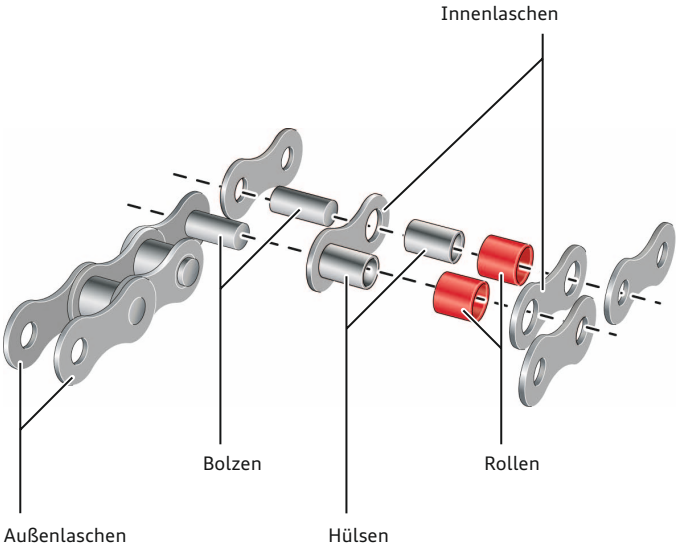
Hinweis
Beachten Sie beim Prüfen des Kettentriebs die Hinweise im Reparaturleitfaden.

Kettenbauformen

Je nach Anforderung an den Kettentrieb, kommen unterschiedliche Arten von Ketten zum Einsatz. Diese werden unterteilt in Rollenketten, Hülsenketten und Zahnketten.

Rollenketten

Die Kettenglieder einer Rollenkette verfügen über Innen- und Außenlaschen. Diese beiden Elemente bilden den Rahmen des Kettenglieds. Bolzen verbinden die Innen- und Außenlasche eines Kettenglieds miteinander. Außerdem verbinden die Bolzen die einzelnen Kettenglieder miteinander. Die Bolzen werden von Hülsen aufgenommen, welche wiederum von Rollen aufgenommen werden. Die Rollen drehen sich über den Hülsen an den Zahnflanken des Kettenrads ab. So kommt immer wieder eine andere Stelle des Umfangs zum Tragen. Der Schmierstoff zwischen den Rollen und Hülsen trägt zur Geräusch- und Stoßdämpfung bei.



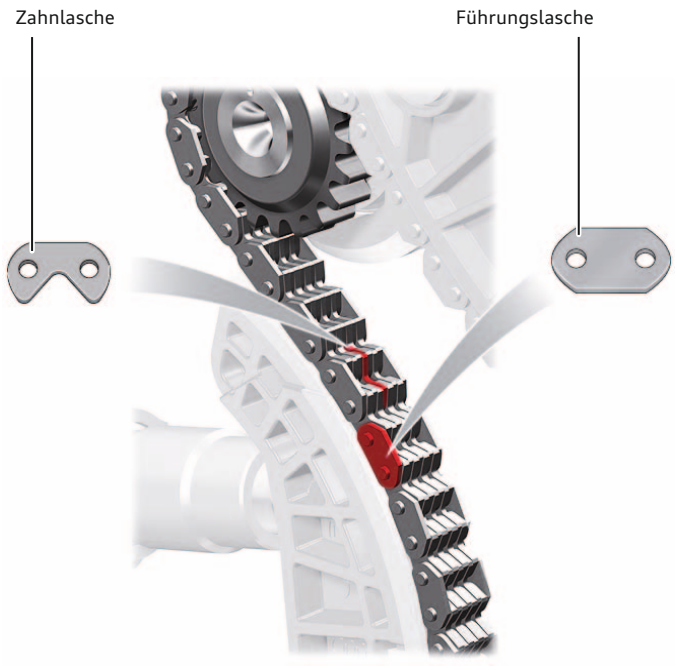
626_090

Hülsenketten

Der Aufbau einer Hülsenkette unterscheidet sich von dem einer Rollenkette nur in dem Fakt, dass auf den Einsatz von Rollen verzichtet wird. Bei dieser Kettenbauart berühren die Zahnflanken des Kettenrads die feststehenden Hülsen stets an der gleichen Stelle. Deshalb ist eine einwandfreie Schmierung bei solchen Kettentrieben besonders wichtig. Hülsenketten haben einen geringeren Verschleiß in den Gelenken.

Zahnketten

Die Zahnkette ist eine besonders leistungsfähige Kettenbauart. Die Kräfte werden hier von sogenannten Zahnlaschen übertragen. Sie sind hintereinander, also mehrlagig und versetzt, angeordnet. Seitliche Führungslaschen verhindern ein Ablaufen der Kette. Im Vergleich zur herkömmlichen Rollen- oder Hülsenketten bietet die Zahnkette wesentliche Vorteile:



626_091

Vorteile:

- Benötigt weniger Platz.
- Geringer Verschleiß
- Hohe Lebensdauer
- Keine Wartung erforderlich.
- Übertragung hoher Kräfte möglich.
- Höhere Geschwindigkeiten möglich.

Nachteile:

- Laufgeräusche
- Höheres Gewicht
- Schmierung erforderlich
- Aufwändige Abdeckung erforderlich

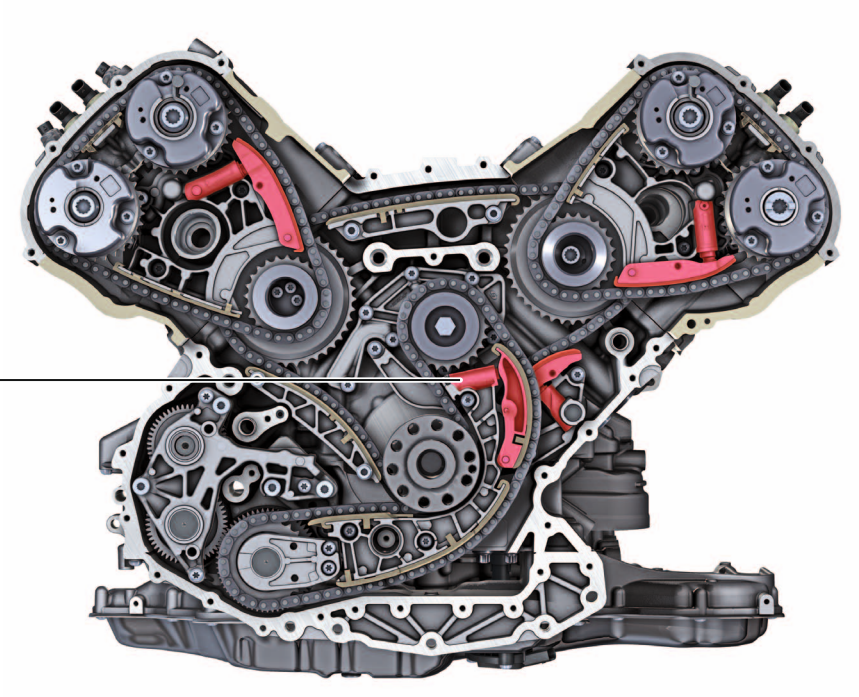
Kettenspannsysteme

Kettenspannsysteme übernehmen eine Reihe von Aufgaben im Steuertrieb. Die Hauptaufgabe ist das Vorspannen der Steuerkette in allen Betriebsbedingungen im Leertrum unter einer definierten Last. Auch bei im Betrieb durch Verschleiß auftretenden Verlängerungen der Kettentriebe muss diese Vorspannung konstant gehalten werden. Kettenspanner verfügen über Dämpfungselemente, welche Schwingungen reduzieren.

Zur Sicherheit sind bei manchen Motoren die Kettenspannsysteme mit Zahnsegmenten versehen. Diese verhindern, dass die Kettenspannung abnimmt, wenn zu geringer Motoröldruck anliegt. Bei zu geringer Kettenspannung kann die Kette auf dem Kettenrad umspringen und so einen Motorschaden verursachen. Kettenspannsysteme werden nach der Art ihres Spannungsaufbaus in drückende und ziehende Systeme untergliedert.

Drückende Kettenspannsysteme

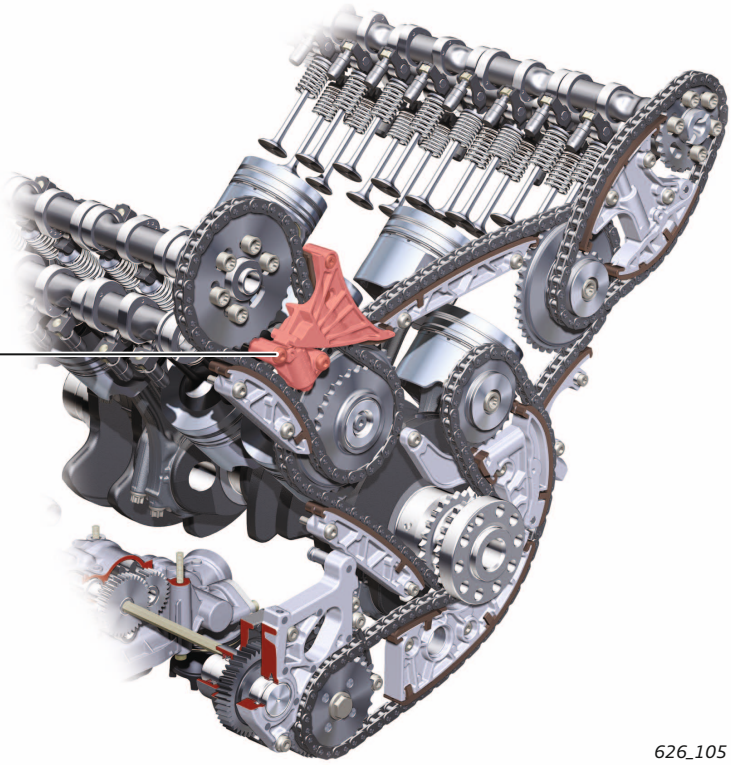
Bei dieser Art von Spannsystem wird die Steuerkette von innen nach außen gedrückt, um sie vorzuspannen.



626_104

Ziehende Kettenspannsysteme

Hier zieht das Spannsystem die Steuerkette von außen nach innen, um sie vorzuspannen.



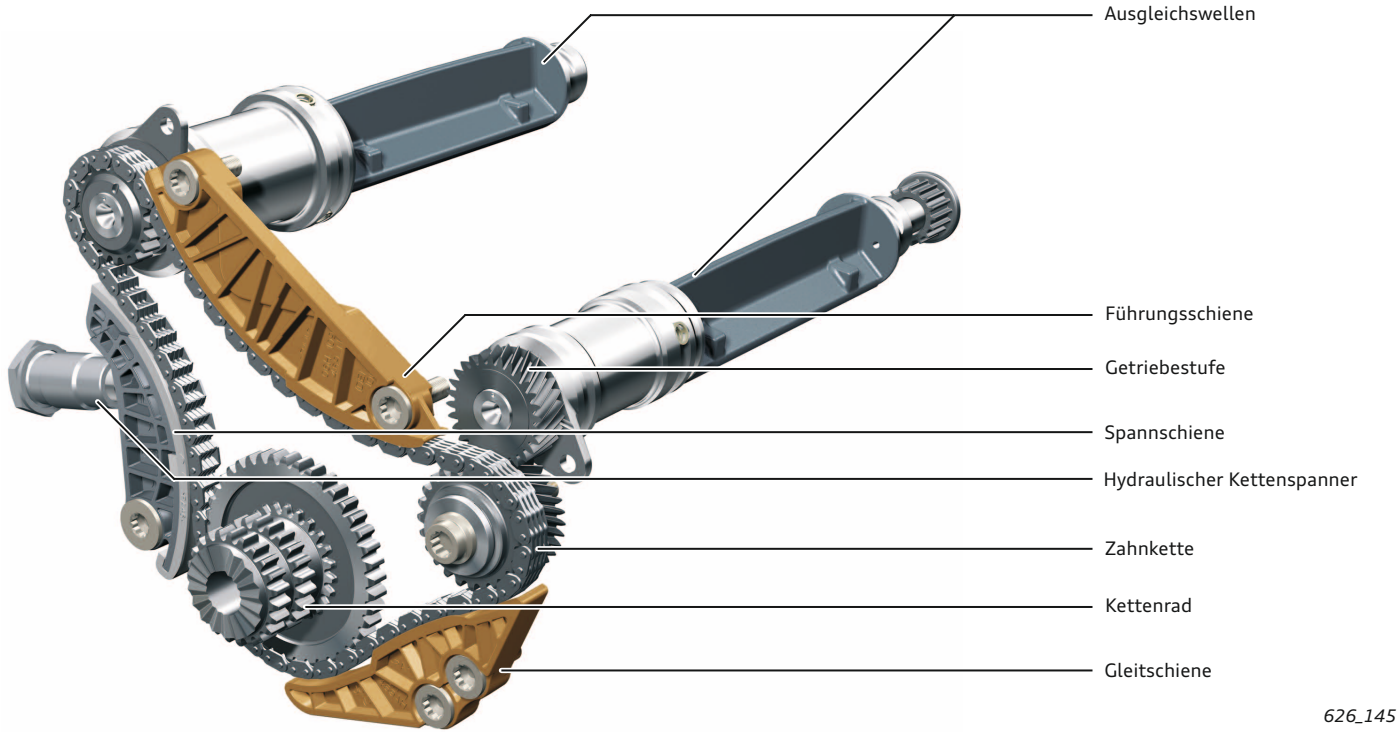
626_105

Ausgleichswellen

In einem Motor wirken während des Betriebs unterschiedliche Kräfte und Momente. Sie versetzen den Motor in Schwingung und bestimmen damit maßgeblich die Laufruhe sowie die Bauteilbeanspruchung. Werden die Schwingungen durch eine unzureichende Motorlagerung an die Karosserie weitergegeben, verschlechtert das den Fahrkomfort erheblich. Die im Betrieb auftretenden Kräfte werden in Kräfte erster Ordnung und Kräfte 2. Ordnung unterschieden. Kräfte erster Ordnung sind Massekräfte, die durch Fliehkräfte an rotierenden Teilen entstehen. Diese Kräfte kann die Kurbelwelle durch verbaute Gegengewichte und eine Kröpfung vollständig ausgleichen.

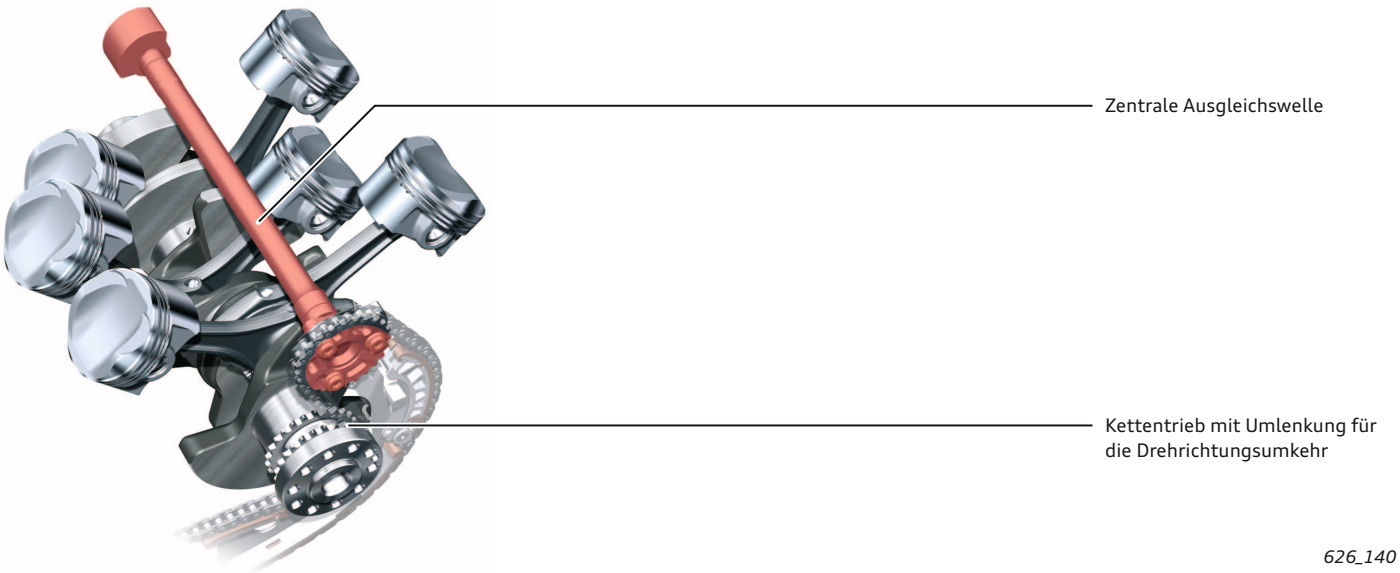
Kräfte 2. Ordnung müssen dagegen durch spezielle Maßnahmen ausgeglichen werden. Dieser Kategorie ordnet man Kräfte zu, die durch translatorische Bewegungen der Teile des Kurbeltriebs entstehen. Eine Gegenmaßnahme stellt hier der Einsatz von Ausgleichswellen dar. Angetrieben werden die Ausgleichswellen meist direkt durch die Kurbelwelle über Zahnräder oder durch einen Kettentrieb. Sie laufen mit doppelter Kurbelwellendrehzahl, wobei sich eine Ausgleichswelle in die gleiche Richtung wie die Kurbelwelle dreht, die 2. Ausgleichswelle wird über ein Zwischenrad in die entgegengesetzte Drehrichtung umgelenkt.

Schwingungsausgleich durch 2 Ausgleichswellen



626_145

Schwingungsausgleich durch eine zentrale Ausgleichswelle



626_140

Hinweis
Ausgleichswellen müssen Lagerichtig in den Kurbeltrieb eingebaut werden.

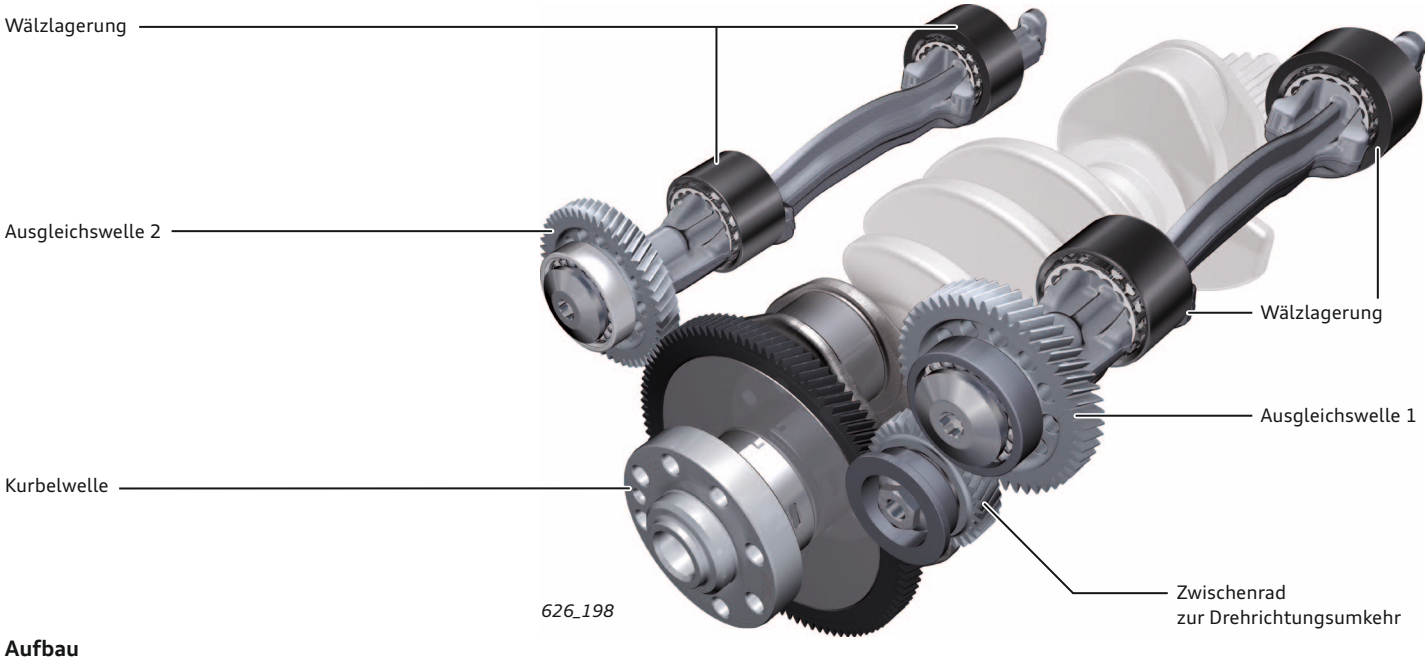
Ausgleichswellenmodul

Die Ausgleichswellen können direkt im Zylinderblock verbaut oder in ein separates Ausgleichswellenmodul integriert sein.

Ausgleichswellenmodul im EA288

Beim EA288 kommt ein Ausgleichswellensystem zum Einsatz, welches im Zylinderblock oberhalb der Kurbelwelle angeordnet ist. Der Antrieb erfolgt, ausgehend von der Kurbelwelle, abtriebsseitig mit schrägverzahnten Zahnrädern.

Die radiale und axiale Lagerung der Wellen und des Zwischenrads werden durch eine Wälzlagerung ausgeführt. Die Schmierung der Lager erfolgt über den Ölnebel aus dem Zylinderblock.

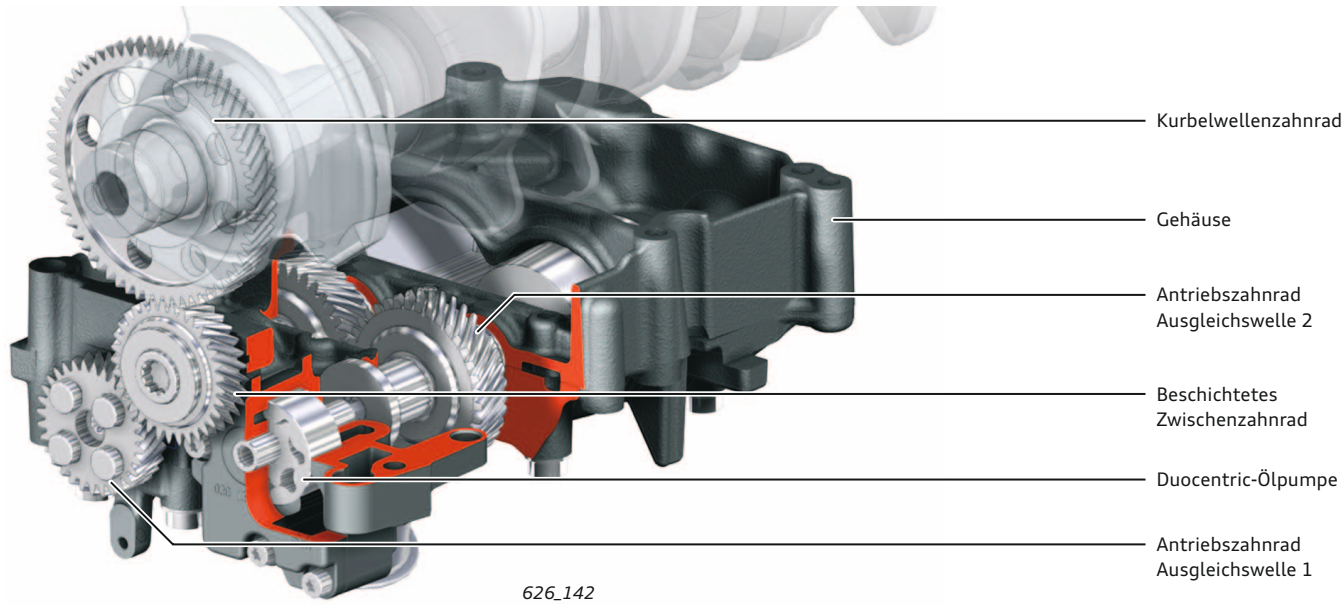


626_198

Aufbau

Das Ausgleichswellenmodul ist beispielsweise beim 2,0l-TDI-Motor unterhalb der Kurbelwelle in der Ölwanne verbaut. Es wird über einen Zahnradtrieb von der Kurbelwelle angetrieben. Das Modul besteht aus einem Gehäuse aus Grauguss, 2 gegenläufigen Ausgleichswellen, dem Zahnradantrieb mit Schrägverzahnung sowie der integrierten Duocentric-Ölpumpe. Die Drehung der Kurbelwelle wird auf das Zwischenzahnrad an der Außenseite des Gehäuses übertragen. Dieses treibt die Ausgleichswelle 1 an.

Von dieser Ausgleichswelle wird die Bewegung dann über ein Zahnradpaar innerhalb des Gehäuses auf die Ausgleichswelle 2 und die Duocentric-Ölpumpe übertragen. Der Zahnradantrieb ist so ausgelegt, dass sich die Ausgleichswellen mit der doppelten Kurbelwellendrehzahl drehen. Das Zahnflankenspiel des Zahnradantriebs wird mithilfe einer Beschichtung auf dem Zwischenzahnrad eingestellt. Diese Beschichtung nutzt sich bei der Inbetriebnahme des Motors ab und ergibt ein definiertes Zahnflankenspiel.



626_142

Zylinderkopf

Der obere Teil des Brennraums wird vom Zylinderkopf gebildet. Bei V-Motoren verfügt jede Zylinderbank über einen eigenen Zylinderkopf. Über mehrere Schraubverbindungen (Zylinderkopfschrauben) ist der Zylinderkopf fest mit dem Zylinderblock verbunden.

Eine eingelegte Zylinderkopfdichtung sorgt für eine sichere Abdichtung der Brennräume. Die Kanäle für Kühlmittel und Öl werden ebenfalls von ihr abgedichtet. Eine angeschraubte Zylinderkopfhaube bildet den oberen Abschluss.

Am Zylinderkopf befinden sich, je nach Motor, Komponenten weiterer Motorteilsysteme, wie etwa:

- Kraftstoffsystem
- Motorsteuerung und Nockenwellenverstellung
- Zündanlage
- Luftversorgung und Aufladung
- Kühlsystem
- Kurbelgehäuseentlüftung
- Ölversorgung

Fertigung

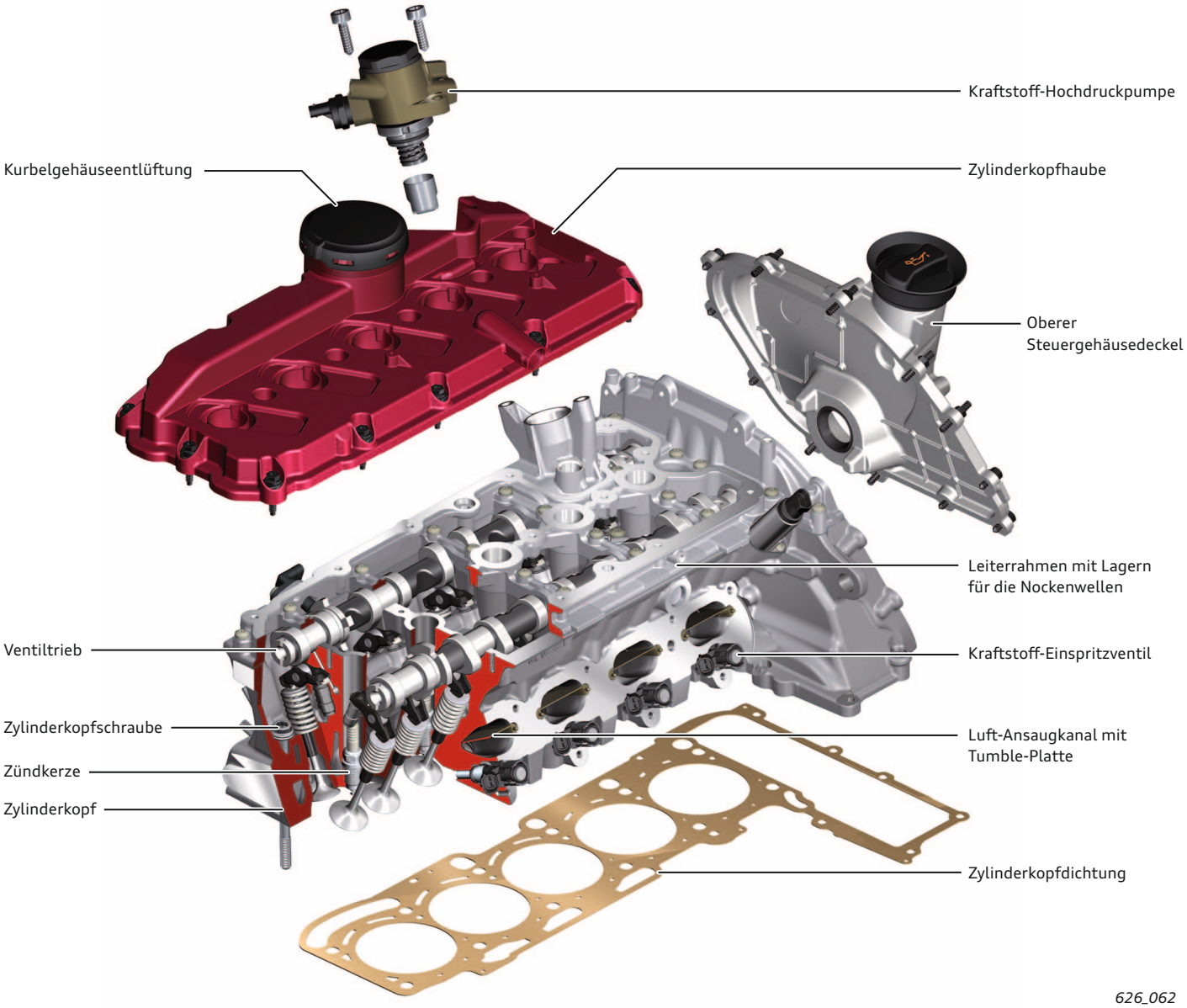
Die Herstellung von Zylinderköpfen erfolgt fast ausschließlich im Gießverfahren. Spezielle Gießkerne zur Darstellung des Kühlmittelraums werden für den Gießvorgang verwendet. Als Werkstoffe kommen Aluminium oder auch Gusseisen zum Einsatz. Der grundsätzliche Aufbau und zahlreiche Komponenten sind bei allen Motoren gleich.

Angewandte Gießverfahren:

- Sandguss
- Kokillenguss
- Lost-Foam-Verfahren (Vollform-Verfahren)
- Druckgussverfahren

Übersicht

(Zylinderkopf eines 5-Zylinder-Reihenmotors)



626_062

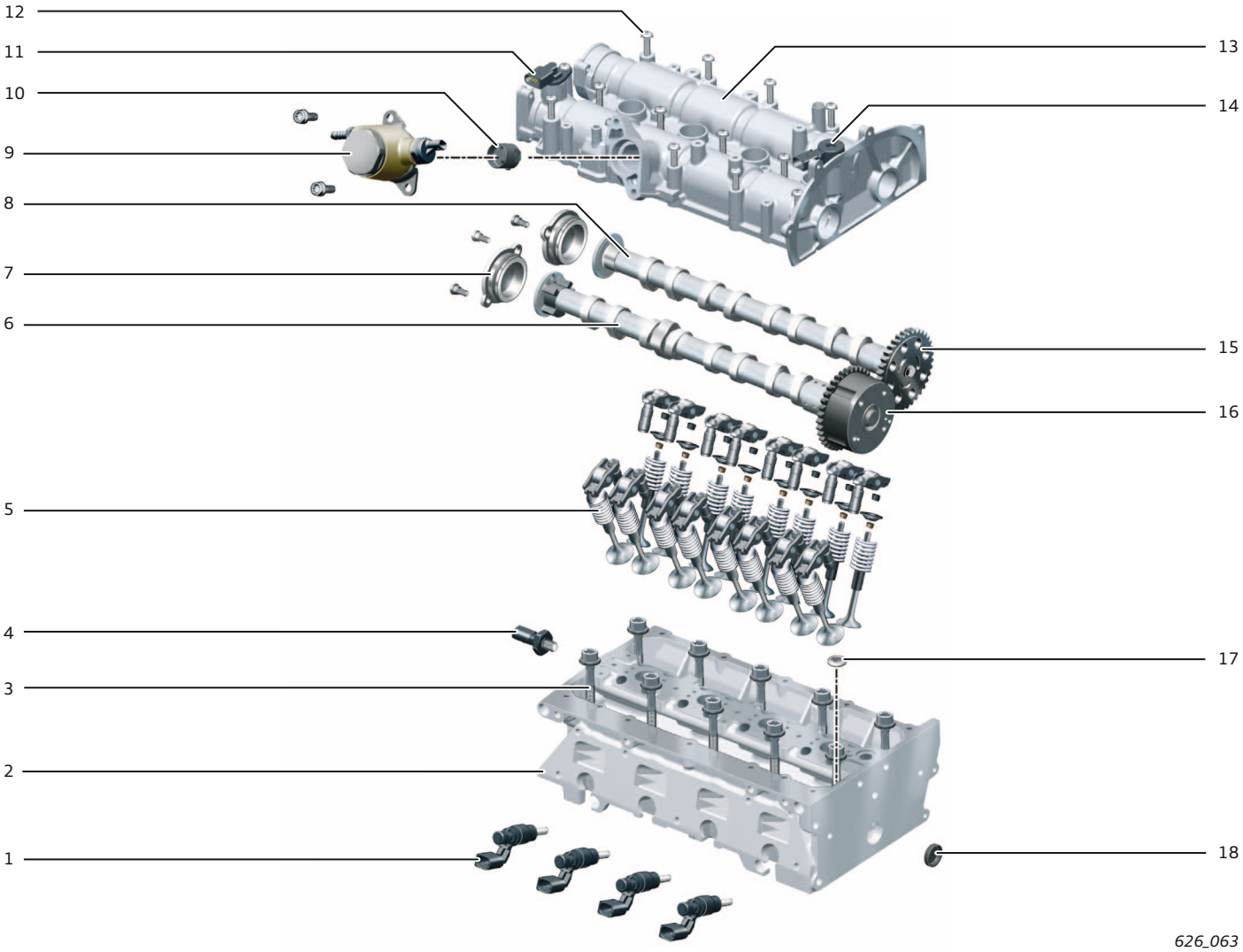
Einteilung

Zylinderköpfe lassen sich nach folgenden Merkmalen klassifizieren:

- Saugmotoren (mit Vergaser) oder Einspritzmotoren (ohne Vergaser)
- Viertaktmotoren (mit 2, 4 oder 5 Ventilen)
- Benzinmotoren (mit Zündkerzen) und Einspritzventilen
- Dieselmotoren mit Glühkerzen und Injektoren
- Untenliegende oder obenliegende Nockenwelle
- Einfache oder doppelte Nockenwellen getrennt in Einlass- und Auslassnockenwellen
- Querstromzylinderkopf

Bauteile am Zylinderkopf

(beispielhaft am Zylinderkopf eines 4-Zylinder-FSI-Motors)



626_063

Legende:

1 Einspritzventile N30 – N33
2 Zylinderkopf
3 Zylinderkopfschraube
4 Öldruckschalter F1
5 Ventiltrieb
6 Einlassnockenwelle
7 Verschlussdeckel
8 Auslassnockenwelle
9 Kraftstoff-Hochdruckpumpe
10 Rollenstößel (Pumpenantrieb)
11 Hallgeber G40 (Erfassung Nockenwellenstellung)
12 Zylinderflanschschrauben
13 Zylinderkopfhaube
14 Ventil 1 für Nockenwellenverstellung N205
15 Kettenrad Nockenwelle
16 Nockenwellenverstellung
17 Ölsieb
18 Verschlussdeckel (Frostschutzstopfen)

Audi QR-Code

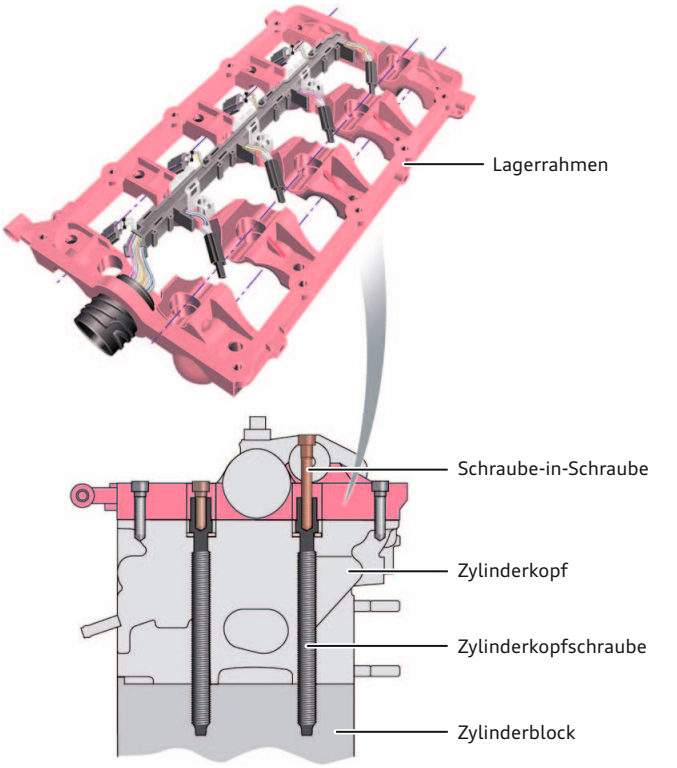
Scannen Sie den QR-Code um mehr zum Aufbau eines Zylinderkopfs zu erfahren.

Verschraubungskonzept

Grundsätzlich ist ein Zylinderkopf über mehrere Schraubverbindungen direkt mit dem Zylinderblock verschraubt. Diese Verschraubungen bestehen aus Dehnschrauben, welche drehmoment- und drehwinkelgesteuert angezogen werden müssen.

„Schraube-in-Schraube“-Verbindung (siehe Abbildung)

Der Lagerrahmen ist mit den beiden inneren Schraubenreihen durch eine sogenannte „Schraube-in-Schraube“-Verbindung direkt in die Schraubenköpfe der Zylinderkopfschrauben verschraubt. Dieses Konzept gilt als besonders platzsparend, was einen besonders geringen Zylinderabstand ermöglicht. Dieses Prinzip kommt zum Beispiel bei 4-Zylinder-Pumpe-Düse-Motoren zum Einsatz.

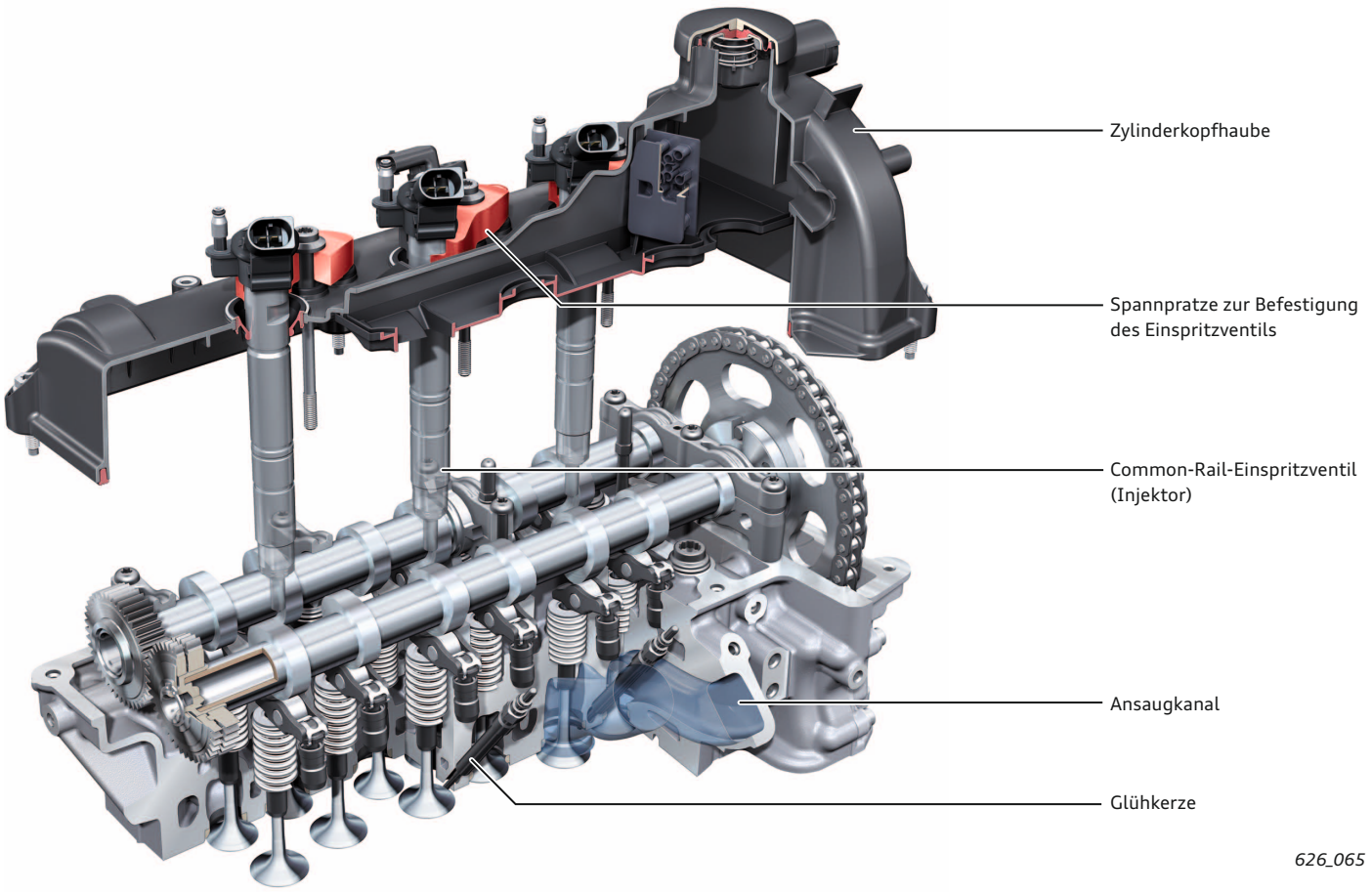


626_066

Zylinderköpfe in Dieselmotoren

Gegenüber dem Zylinderkopf eines Benzinmotors weisen Zylinderköpfe an Dieselmotoren einige Besonderheiten auf. So sind beispielsweise die Glühkerzen bei allen Dieselmotoren im Zylinderkopf angeordnet.

Bei einem Dieselmotor mit Common-Rail-Einspritzsystem werden die Einspritzventile (Injektoren) mit geschraubten Spannpratzen im Zylinderkopf befestigt. Darüber hinaus befindet sich bei einigen Dieselmotoren am Zylinderkopf eine mechanisch angetriebene Unterdruckpumpe, die die Unterdruckversorgung von weiteren Teilsystemen sicherstellt.



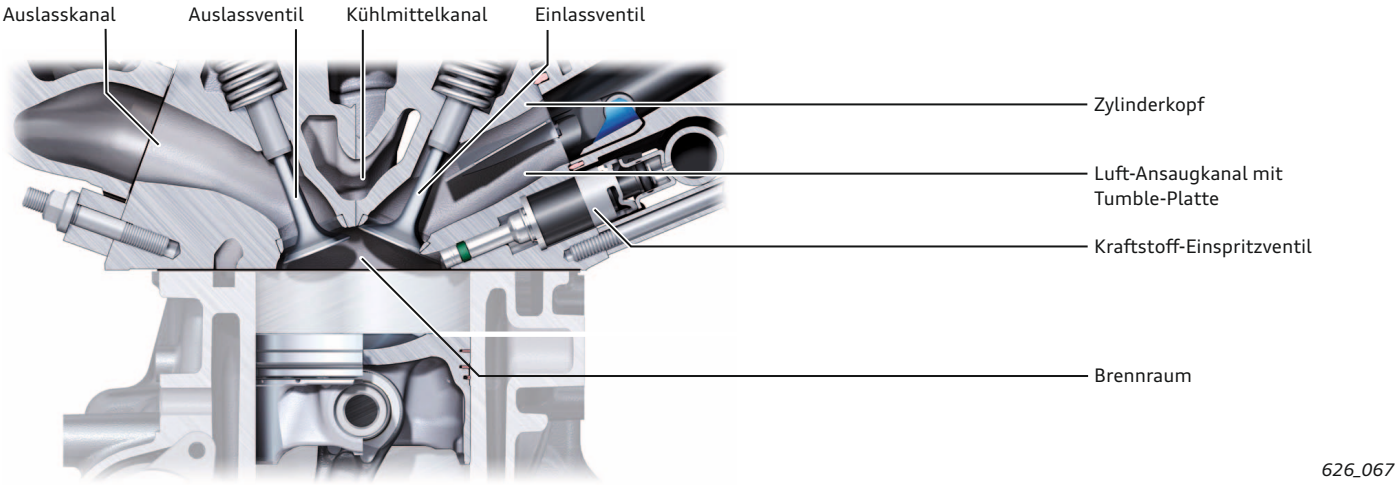
626_065

Integrierte Bereiche und Systeme

Die Zylinder eines Motors werden nach oben durch den Zylinderkopf abgeschlossen, der somit Teil des Brennraums ist. In diesen Bereichen befinden sich die Ventile für den Gaswechsel sowie Einspritzventile bzw. Zündkerzen.
Die Bauform des Brennraums wird im Wesentlichen von der Arbeitsweise des Motors und der Anzahl der Ventile bestimmt, denn diese können sehr unterschiedlich ausgeprägt sein.

Im Inneren eines Zylinderkopfs befinden sich unterschiedliche Räume für Betriebsmittel sowie zur Versorgung der Zylinder. Dazu zählen:

- Kühlmittelkanäle
- Ansaug- und Auslasskanäle
- Ölkanäle

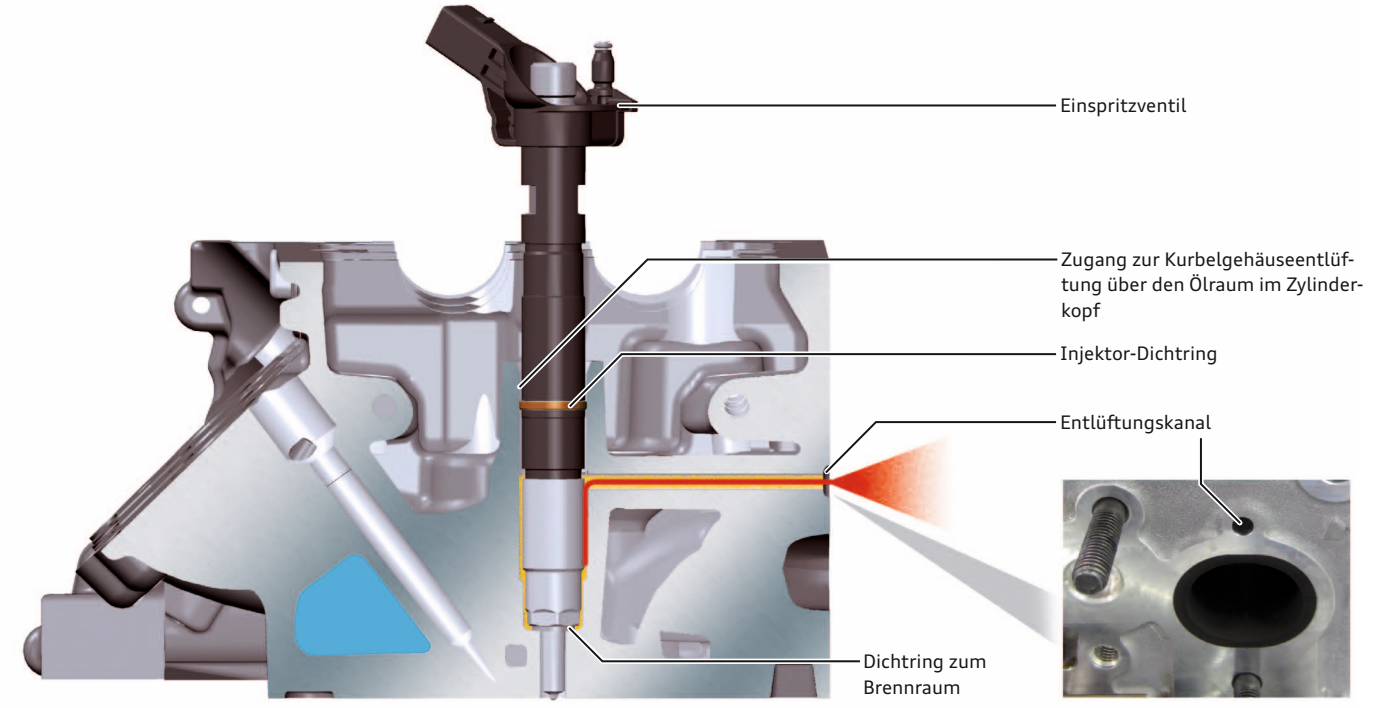


626_067

Entlüftungskanal im Zylinderkopf bei Dieselmotoren

Bei eventuellen Leckgagen im Bereich des kupfernen Injektor-Dichtrings kann der Verbrennungsdruck aus dem Brennraum über einen Kanal entweichen. Der Entlüftungskanal ist im Zylinderkopf oberhalb des Abgaskrümmers angeordnet.

Er verhindert, dass der Überdruck aus dem Brennraum, über die Kurbelgehäuseentlüftung zur Verdichterseite des Abgasturboladers gelangt und eventuelle Funktionsstörungen verursacht bzw. Dichtringe beschädigt.



626_233

Hinweis
Bei Undichtigkeiten im Entlüftungskanal zuerst den Injektor-Dichtring prüfen und ggf. ersetzen.

Kühlmittelkanäle

In einem flüssigkeitsgekühlten Zylinderkopf befinden sich zahlreiche Kühlkanäle, die vor allem um den sehr heißen Brennraum und den Injektorschacht angeordnet sind. Sie sind mit dem Kühlmittelraum des Zylinderblocks über die Zylinderkopfdichtung verbunden.

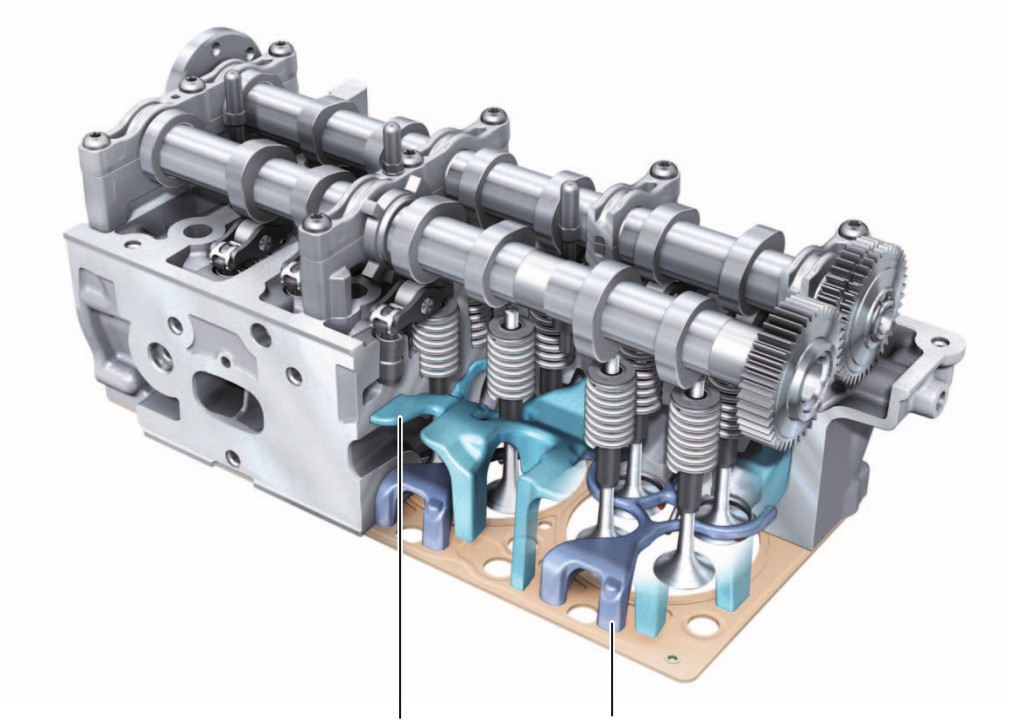
Für den V6-Biturbo-Motor wurde ein Zylinderkopf mit 2-teiligem Kühlmittelraum entwickelt, um den höheren thermischen Belastungen entgegenzuwirken.

Durch diese Anordnung ist es möglich, gezielt einen höheren Kühlmittel-Volumenstrom durch den unteren Kühlmittelraum zu leiten, der die Bereiche zwischen den Ventilen und den Injektorsitzen kühlt.

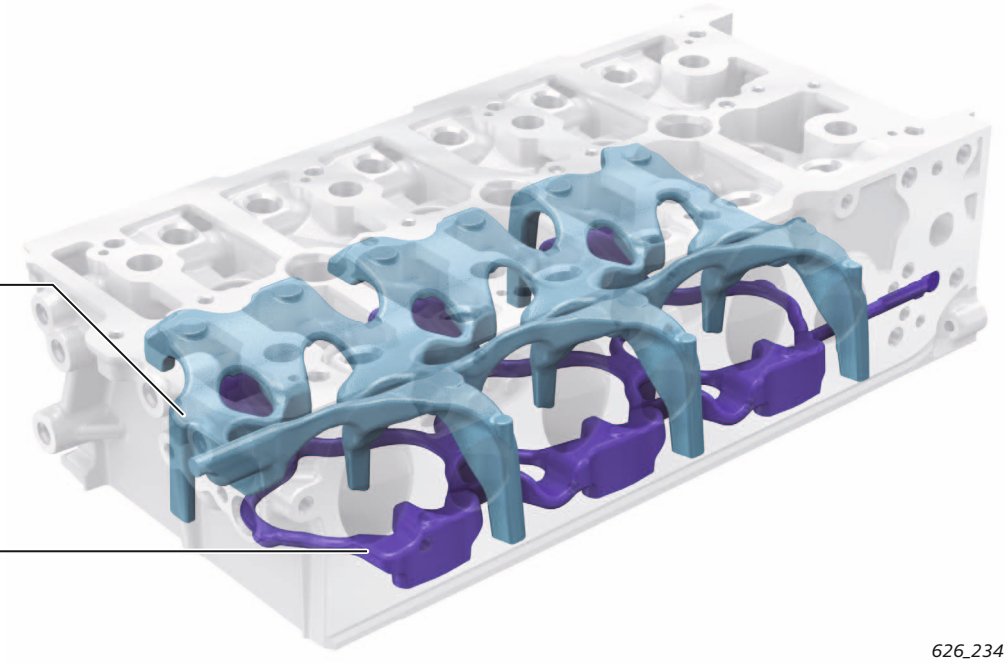
Das Prinzip der Querstromkühlung wurde beibehalten, ebenso die über das Thermomanagement geregelte getrennte Kopf-Block-Kühlung des Basismotors.

Der Kühlmittelraum ist in einen oberen und einen unteren Bereich geteilt, wobei der obere Kühlmittelraum über Drosselbohrungen in der Zylinderkopfdichtung auf einen geringeren Volumenstrom eingestellt ist. Beide Kühlmittelräume werden über getrennte Zuläufe aus dem Zylinderblock versorgt.

Die Kühlung der Stege zwischen den Zylindern erfolgt wie beim Basismotor aus dem Zylinderkopf – als treibendes Gefälle wird die Druckdifferenz zwischen dem oberen und dem unteren Kühlmittelraum genutzt.



626_068



626_234

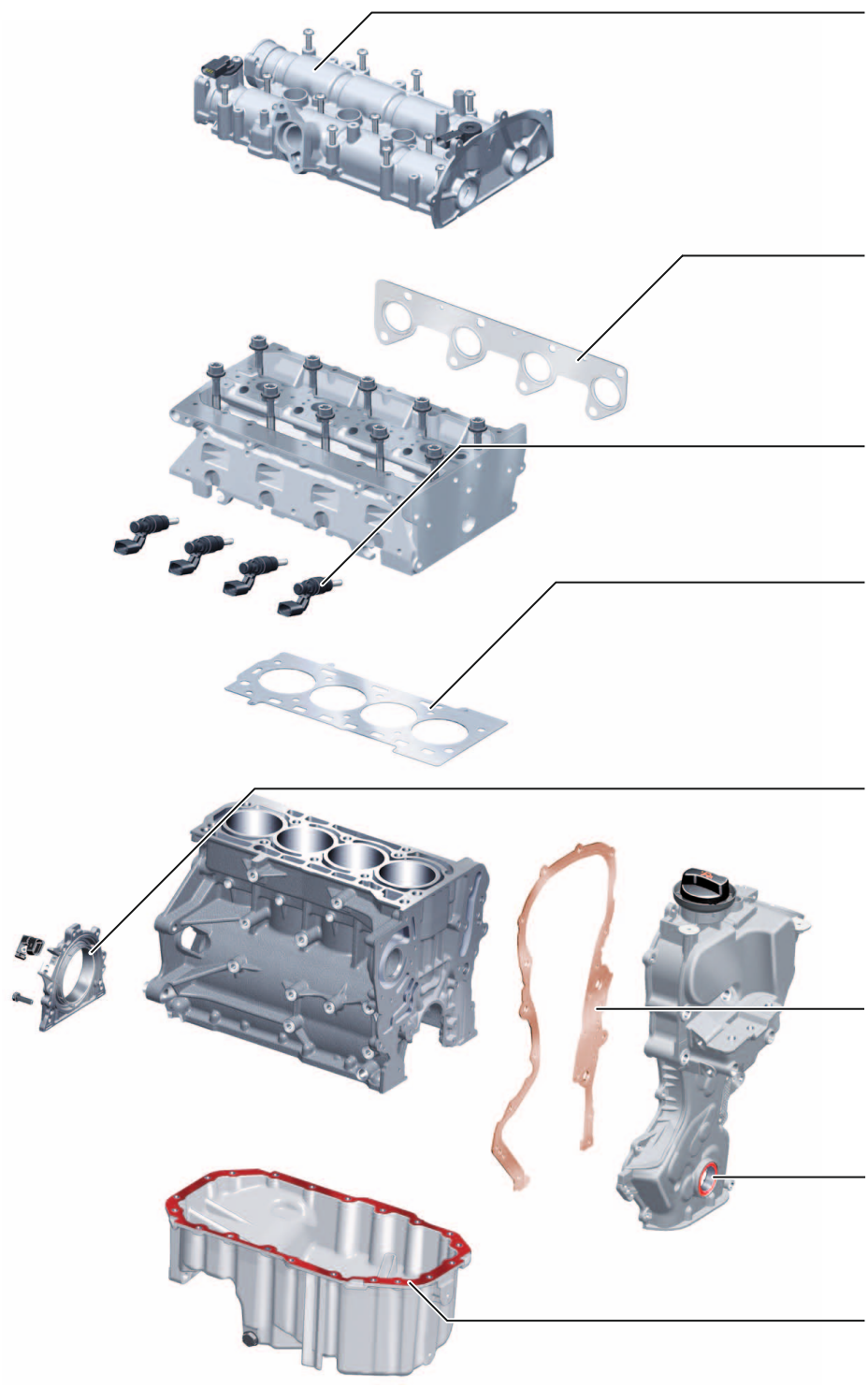
Dichtungen am Motor

Dichtungen werden in Verbrennungsmotoren in vielen Varianten und in unterschiedlichsten Werkstoffkompositionen eingesetzt. Dichtungen haben hauptsächlich die Aufgabe, die verschiedenen Medien wie Gase, Kühlmittel und Öl im Motor voneinander abzutrennen und nach außen abzudichten. Dabei müssen sie aggressiven Medien, hohen Drücken und Temperaturen ein Autoleben lang standhalten.

Dichtungen dienen aber auch zur Kraftübertragung, z. B. hat die Zylinderkopfdichtung zwischen Zylinderblock und Zylinderkopf einen erheblichen Einfluss auf die Kraftverteilung innerhalb des gesamten Verspannungssystems und die dadurch verursachten Bauteilverformungen.

Übersicht

(beispielhaft am 1,4l-TFSI-Motor, EA111)



Zylinderkopfhauben-Dichtung
Als Zylinderkopfhauben-Dichtung kommt eine Elastomerdichtung zum Einsatz.

Krümmerdichtung
Am Auslasskanal kommen Metalldichtungen und am Einlasskanal Elastomerdichtungen zum Einsatz.

Dichtringe der Einspritzventile
An den Einspritzventilen werden Teflondichtungen (z. B. 3,2l-FSI-Motor) oder Metalldichtungen (z. B. 3,0l-TDI-Motor) eingesetzt.

Zylinderkopfdichtung
Die Abdichtung auf der Steuerseite erfolgt über das Steuergehäuse. Dieses besteht aus einer Aluminiumlegierung. Hier kommt eine mit elastomerbeschichtete Blechdichtung zum Einsatz.

Dichtflansch
Auf der kraftabgebenden Seite des Motors erfolgt die Abdichtung durch einen Dichtflansch mit Radialdichtring an der Kurbelwelle. Dieser nimmt auch den Motordrehzahlgeber G28 auf.

Dichtung zum Steuergehäuse
Dreilagige Metallzylinderkopfdichtung.

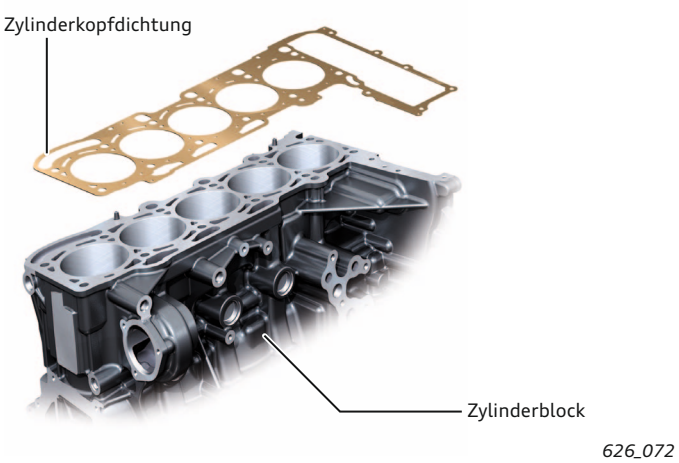
Wellendichtring
Der Wellendichtring der Kurbelwelle lässt sich ersetzen.

Ölwannendichtung
Mit Flüssigdichtmittel wird die Ölwanne zum Zylinderblock abgedichtet.

626_195

Zylinderkopfdichtung

Die Zylinderkopfdichtung sorgt zwischen Zylinderkopf und Zylinderblock für die Abdichtung der Brennräume sowie der Kühlmittel- und Ölkanäle. Hinzu kommt, dass bei einigen Triebwerken die Zylinderkopfdichtung eine stabilisierende Wirkung übernimmt.

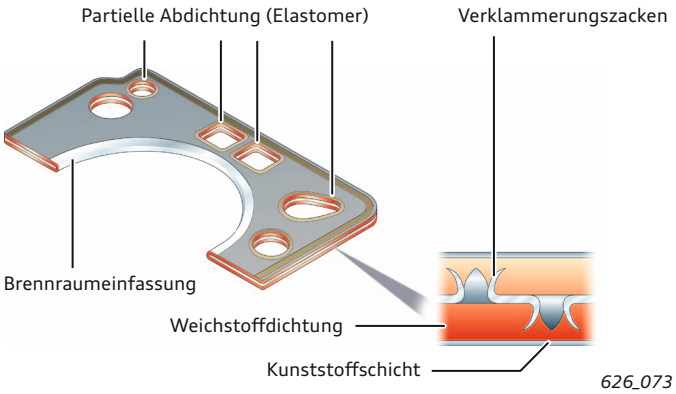


626_072

Bauarten

Metall-Weichstoff-Dichtungen

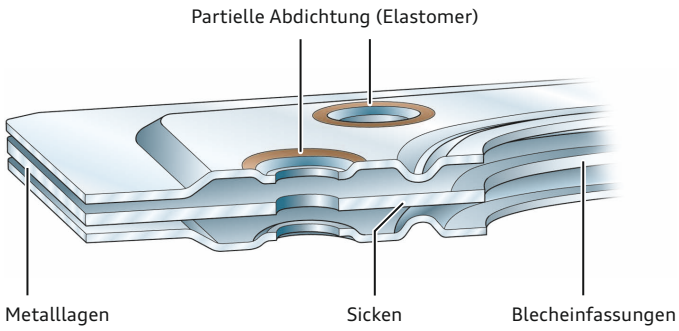
In einigen Benzinmotoren kommen Metall-Weichstoff-Dichtungen zum Einsatz. Ihre Grundlage bildet ein metallisches Trägerblech. Darin sind Verklammerungszacken eingearbeitet, die die beidseitig angebrachte Weichstoffdichtung halten. Werden die Zylinderkopfschrauben festgeschraubt, verformt sich der Weichstoff und gewährleistet so eine gute Dichtwirkung. Nachteilig bei dieser Bauform: Hohe Temperaturen und Schwingungen können zu einer Reduzierung der Presswirkung im Bereich der Dichtung führen.



626_073

Mehrlagige Metall-Zylinderkopfdichtungen

Mehrlagige Metall-Zylinderkopfdichtungen bestehen aus mehreren Metalllagen. Dazwischen sind Sicken und Blecheinfassungen angeordnet. Flüssigkeitsdurchbrüche sind mit einer Elastomerbeschichtung eingefasst. Diese Bauart gewährleistet auch bei hohen Belastungen optimale Dichteigenschaften. Neben der überwiegenden Verwendung in Dieselmotoren setzt man sie auch verstärkt in Benzinmotoren ein.



626_074

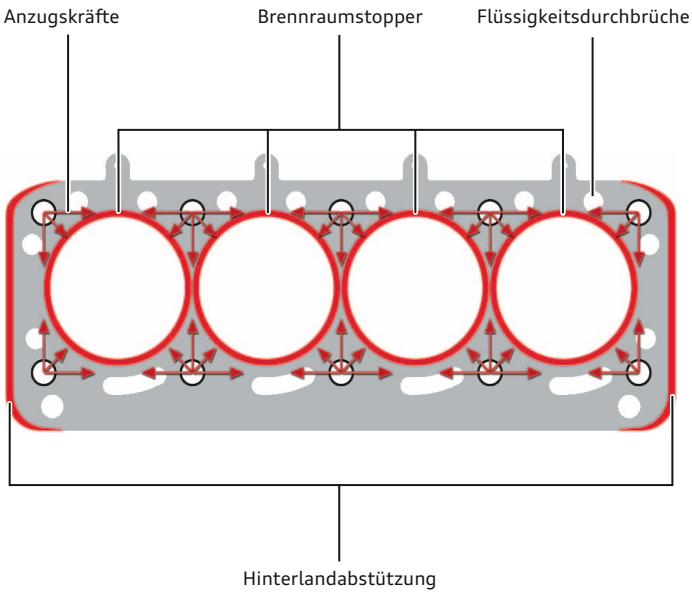
Bereiche an einer Zylinderkopfdichtung

Brennraumeinfassung

Mit Brennraumeinfassung, auch Brennraumstopper genannt, wird die Dichtkante an der Zylinderbohrung bezeichnet. Sie besitzt entlang der Kante zum Brennraum unterschiedliche Höhen. Durch diese besondere Ausformung ist die Verteilung der Anzugskräfte an den Brennräumen nach dem Festschrauben der Zylinderkopfschrauben gleichmäßiger. Dadurch vermindern sich auftretende Dichtspaltschwingungen und Verzüge an den Zylinderbohrungen.

Hinterlandabstützung

Die Hinterlandabstützungen befinden sich jeweils im Bereich der beiden äußeren Zylinder. Sie erzeugen in diesen Bereichen eine gleichmäßigere Anzugskräfte-Verteilung der äußeren Zylinderkopfschrauben. Dadurch werden die Durchbiegung des Zylinderkopfs und der Verzug der äußeren Zylinderbohrungen verringert.



626_075

Nockenwellen

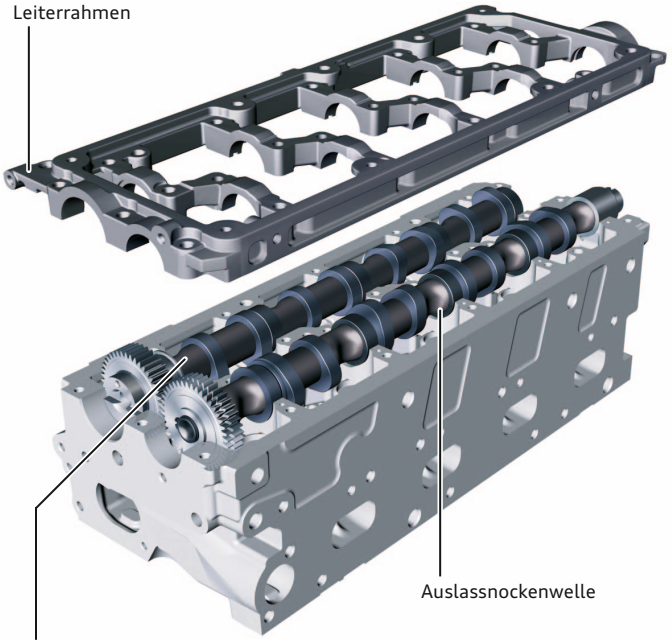
Die Betätigung der Ventile erfolgt über die Nockenwellen. Die Stellungen der Nockenwellen bestimmen die Öffnungs- und Schließzeiten der Ventile. In den meisten Motoren befinden sich die Nockenwellen im Zylinderkopf.

Ihre Lagerung erfolgt generell in Gleitlagern, welche als Leiterrahmen oder Lagerrahmen ausgelegt sind. Diese Konstruktion stellt einen wesentlichen Beitrag zur Versteifung des Zylinderkopfs dar. Hinsichtlich ihrer Fertigung unterscheidet man in gegossene und gebaute Nockenwellen.

Gebaute Nockenwelle



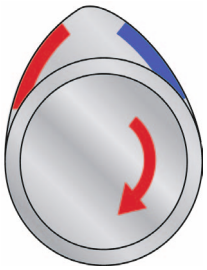
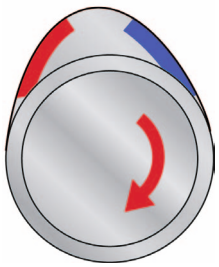
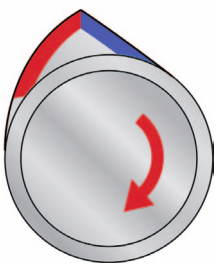
626_231



626_049

Nockenform

Die Form der einzelnen Nocken ist für das Öffnungsverhalten des jeweiligen Ventils verantwortlich. Das betrifft die Öffnungsdauer, den Ventilhub und den gesamten Bewegungsablauf.

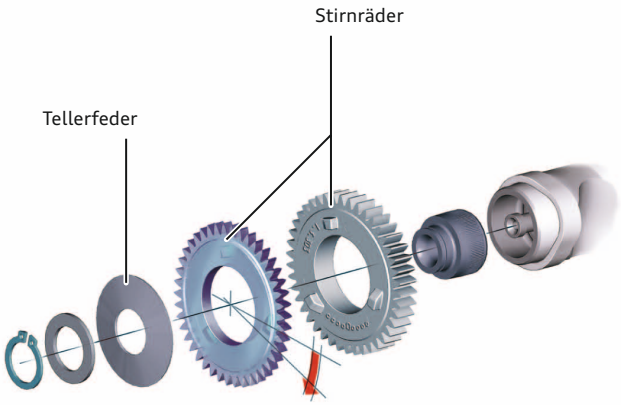
	Spitzer Nocken	Steiler Nocken	Unsymmetrischer Nocken
Ventil öffnen Ventil schließen			
Funktion	▸ Ventil öffnet und schließt langsam. ▸ Ventil ist nur kurze Zeit voll geöffnet.	▸ Ventil öffnet und schließt schnell. ▸ Ventil ist längere Zeit geöffnet.	▸ Ventil öffnet langsam und schließt schnell. ▸ Ventil ist nur kurze Zeit voll geöffnet.
Einsatz	▸ Auslassventil	▸ Einlassventil	▸ Auslassventil
Auswirkung	▸ Abgase dehnen sich gleichmäßig, ohne abrupte Druckspitzen aus.	▸ Kräftige Sogwirkung im Einlasskanal. ▸ Viel angesaugte Luft strömt in den Zylinder.	▸ Langsames Öffnen bewirkt langsamen Druckabbau. ▸ Schnelles Schließen verhindert Rückströmen von Gasen.

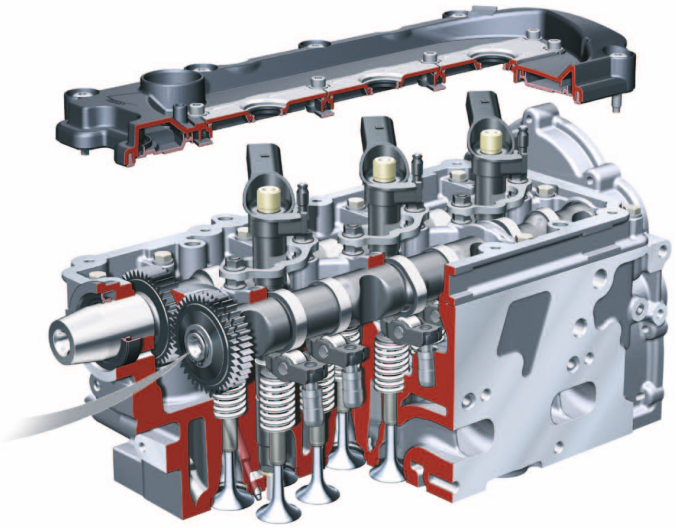
Zahnflankenspielausgleich

Die Ein- und Auslassnockenwellen sind bei einigen Motoren über eine Stirnradverzahnung mit integriertem Zahnflankenspielausgleich verbunden. Dabei wird das Stirnrad der Einlassnockenwelle von dem Stirnrad der Auslassnockenwelle angetrieben. Der Zahnflankenspielausgleich sorgt für einen geräuscharmen Antrieb der Nockenwellen.

Aufbau

Der breitere Teil des Stirnrads ist fest auf der Nockenwelle aufgeschrumpft und dadurch kraftschlüssig mit ihr verbunden. Auf der Vorderseite befinden sich mehrere Rampen. Der schmalere Teil des Stirnrads ist radial und axial beweglich gelagert. Auf der Rückseite des beweglichen Stirnrads befinden sich Aussparungen als Gegenstücke für die Rampen des festen Stirnrads.



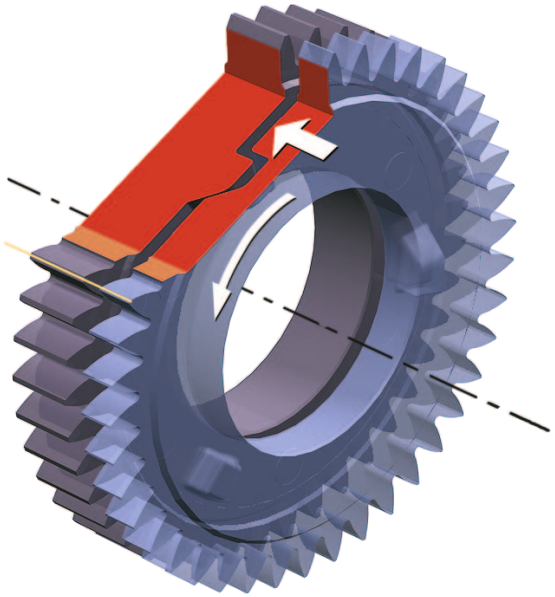


626_158

Funktion

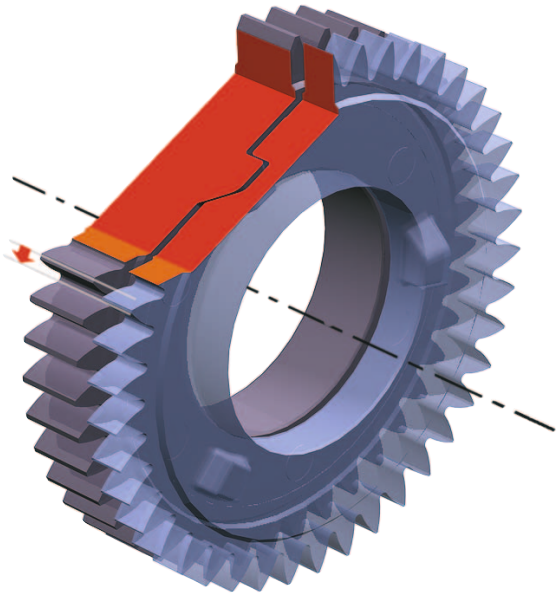
Das bewegliche Stirnrad wird durch die Kraft einer Tellerfeder gegen das feste Stirnrad geschoben. Durch die Rampen versetzen sich die beiden Stirnräder dabei in eine Drehbewegung. Dies führt zu einem Zahnversatz der beiden Stirnräder, was wiederum den Zahnspielausgleich bewirkt.

Einbaulage



626_159

Spielausgleich



626_160

Motorsteuerung

Ventiltrieb

In einem Hubkolbenmotor erfolgt der Gaswechsel der Zylinder über Ein- und Auslasskanäle. Die Kanäle müssen dafür periodisch öffnen und schließen. Die Steuerung dieser Vorgänge übernimmt dabei der Ventiltrieb. Er besteht aus verschiedenen Komponenten, die meist im Zylinderkopf untergebracht sind. Mehrventilmotoren verfügen in der Regel über 2 obenliegende Nockenwellen.

Sie werden auch als „dohc-Motoren“ bezeichnet. Diese Bezeichnung leitet sich vom englischen Begriff „double overhead camshaft“ ab. Das Öffnen und Schließen der einzelnen Ventile wird von einer oder 2 Nockenwellen übernommen. Die Auslassnockenwelle übernimmt dabei die Aufgabe der Auslassventilsteuerung.

Die Einlassventile werden über die Einlassnockenwelle gesteuert. Das Öffnen der Ventile erfolgt über Tassenstößel, Schlepp- oder Rollenschlepphebel, welche sich auf den hydraulischen Spielausgleichselementen abstützen. Geschlossen werden die Ventile über eine Ventilfeder. Die Ventile werden grundsätzlich nach Ein- und Auslassventilen unterschieden.

Die Durchmesser und der Hub eines Ventils müssen so groß sein, dass der Gaswechsel weitgehend ungehindert vollzogen werden kann. Auslassventile verfügen meist über einen geringeren Durchmesser, da die Abgase durch den entweichenden Druck beim Öffnen des Auslassventils schnell aus dem Brennraum entweichen.

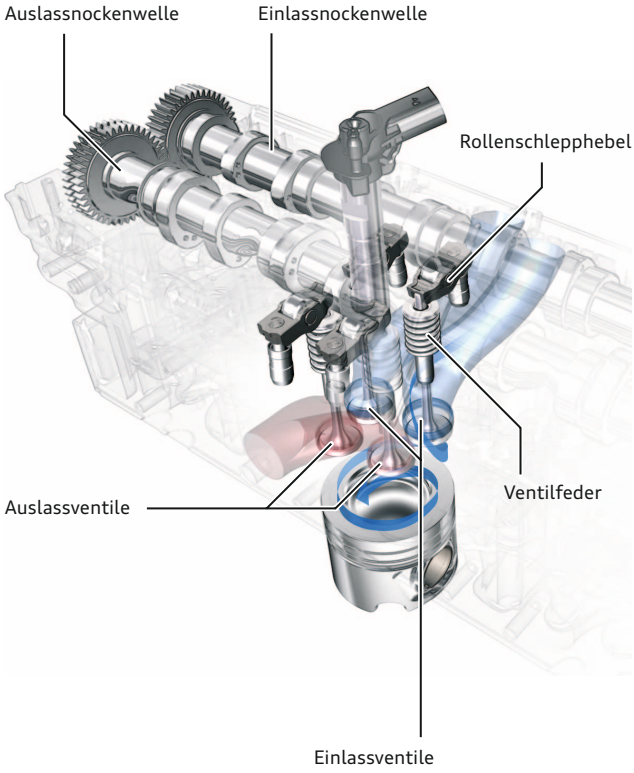
Mehrventiltechnik

Da die Anzahl der Ventile eines Zylinders nicht für alle Motoren gleich ist, muss auch der Ventiltrieb der jeweiligen Motorkonstruktion angepasst werden.

Im Laufe der Motorenentwicklung gelang es, dass Zylinder mit immer mehr Ventilen versehen wurden, um den Gaswechsel zu verbessern.

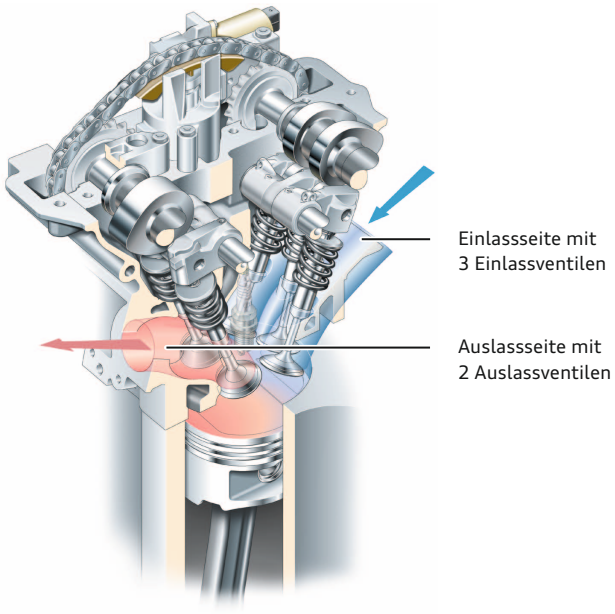
Waren anfänglich nur 2 Ventile pro Zylinder verbaut, gibt es heute schon Motorvarianten, deren Zylinder über bis zu 5 Ventile verfügen.
Aufgrund des geringen Fertigungsaufwands hat sich jedoch die Variante mit 4 Ventilen durchgesetzt. Je Zylinder sind hier jeweils 2 Einlassventile und 2 Auslassventile angeordnet.

4-Ventiltechnik



626_077

5-Ventiltechnik



626_045

Ventile

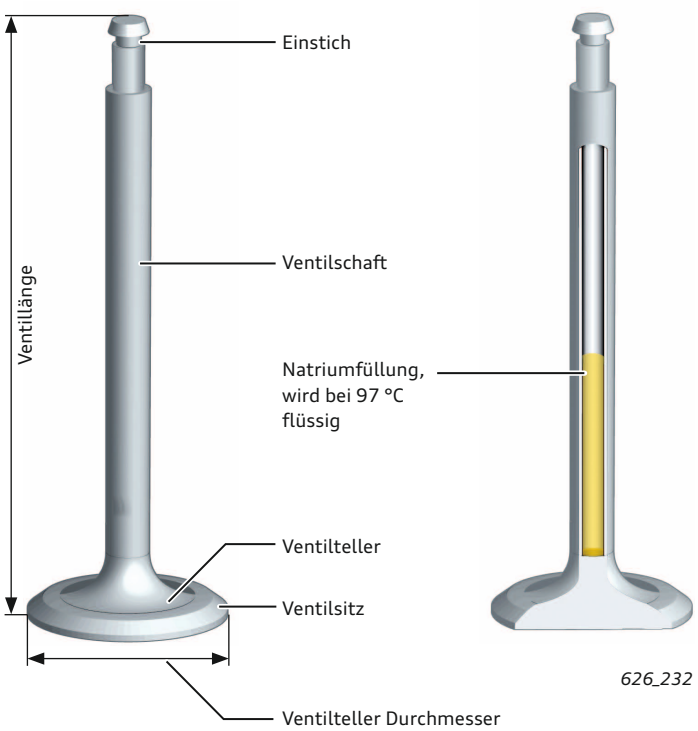
Ventile sind sehr starken Beanspruchungen ausgesetzt. Neben den mechanischen Belastungen während der Betätigung kommen thermische Belastungen und Reibung hinzu. Daraus ergeben sich entsprechende Anforderungen an Aufbau und Materialbeschaffenheit. Einige Ventile enthalten beispielsweise eine Natriumfüllung, um die hohen Temperaturen besser ableiten zu können. Auslassventile werden thermisch deutlich höher beansprucht als Einlassventile, da sie kaum mit kühlenden Gasen in Berührung kommen. Hauptsächlich über den Ventilsitz geben sie ihre Temperatur von bis zu 700 °C ab.

Zum ebenfalls kühlenden Ventilschaft ist das ein weiter Weg. Diesen zu verkürzen und den Abkühlungsprozess zu erleichtern, hilft eine Natriumfüllung. Im direkten Vergleich kann man diesen Ventilen ihren Hohlraum schon von außen ansehen, da sie meistens einen deutlich dickeren Schaft haben. Der Hohlraum im Ventilschaft wird zu knapp ⅔ mit Natrium gefüllt. Bei über 97 °C wird es flüssig und durch die Bewegung des Ventils beim Öffnen und Schließen hin- und hergeschleudert. Der bessere Temperaturkoeffizient z. B. gegenüber Stahl ist für die Wärmeleitfähigkeit besonders hilfreich.

Aufbau



626_092

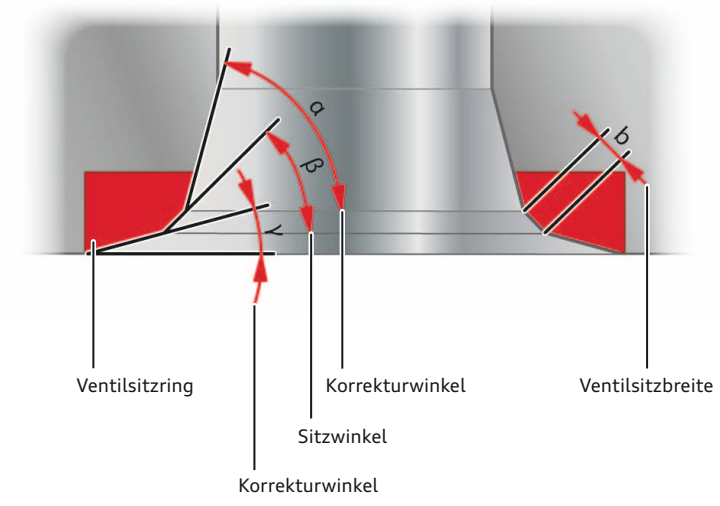


626_232

Ventilsitze einschleifen

Wenn Ventile im Rahmen von Reparaturarbeiten erneuert werden müssen, ist das Einschleifen in den Ventilsitz im Zylinderkopf auf eine vorgegebene Ventilsitzbreite erforderlich.
Bei der Entwicklung eines Zylinderkopfs ist es durch eine gezielte Veränderung der Kontur des Ventilsitzes möglich, den effektiven Ventilluftdurchlass zu erhöhen bzw. eine Drallbewegung der angesaugten Luft zu erzeugen.
In einem Original-Zylinderkopf besteht diese normalerweise aus 3 Winkeln, siehe Abbildung. Durch mehrere Winkel wird eine „Trompeten-Form-Kontur“ erzeugt.

Eine weiterführende Bearbeitung der Ventilsitze mittels Fräsen ist bei modernen Motoren nicht mehr möglich, da die Motoren ausschließlich über gehärtete Ventilsitze verfügen.



626_094

Hinweis
Zum Einschleifen von Ventilen in den Zylinderkopf unbedingt die für den jeweiligen Motor gültigen Arbeitsanweisungen im Reparaturleitfaden beachten.

Ventilspielausgleich

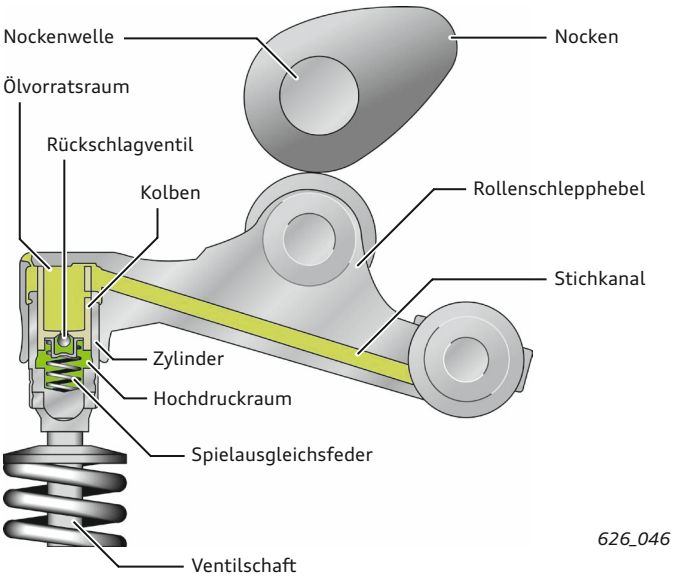
Die Ventile dehnen sich im Betrieb je nach Werkstoff und Wärmeentwicklung aus. Damit die Ventile in allen Betriebssituationen optimal schließen können, wird zwischen den Übertragungsteilen der Motorsteuerung ein Spiel vorgesehen. Das Spiel der Ausgleichsventile ist dabei meist größer ausgelegt als das der Einlassventile. Dies begründet sich in den höheren Temperaturen, denen diese Ventile im Betrieb ausgesetzt sind.

Die übertragenden Teile des Ventiltriebs verschleißen mit der Zeit, was eine Vergrößerung des Ventilspiels zur Folge hat. Um diesem Prozess entgegen zu wirken, verfügen moderne Triebwerke über Systeme, die das Ventilspiel ausgleichen. Dabei haben sich 2 Systeme etabliert. Zum einen sind das Systeme, die über ein Ausgleichselement im Rollenschlepphebel verfügen und zum anderen Systeme, die über einen hydraulischen Ventilspielausgleich verfügen.

Ausgleichselement im Rollenschlepphebel

Funktion bei Pumpe-Düse-Motoren

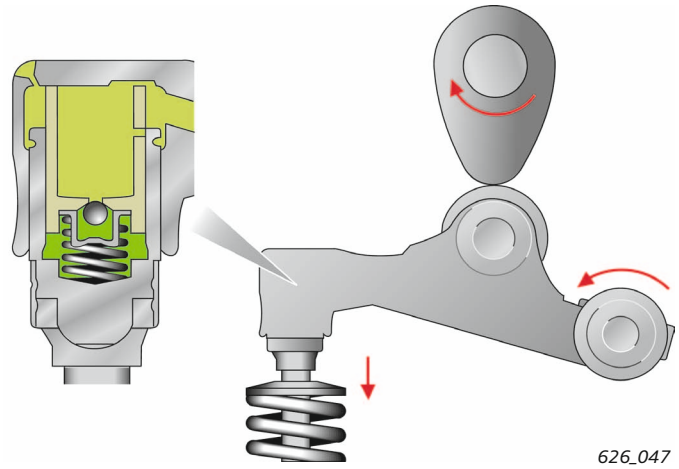
Die Rollenschlepphebel sind beweglich auf einer Steckachse gelagert und werden von der darüber liegenden Nockenwelle betätigt. Das Ventilspielausgleichselement befindet sich direkt über dem Ventilschaft. Die Ölversorgung der Ausgleichselemente erfolgt von der Steckachse über einen Stichkanal im Rollenschlepphebel. Innerhalb der Ausgleichselemente befinden sich jeweils ein Kolben und ein Zylinder, welche beweglich zueinander gelagert sind. Beide Elemente werden durch eine Spielausgleichsfeder auseinander geschoben. Die Verschiebung bewirkt eine Verringerung des Ventilspiels und wird solange fortgesetzt bis zwischen Rollenschlepphebel und Nockenwelle kein Spiel mehr vorhanden ist. Ein Rückschlagventil reguliert dabei das Befüllen und die Abdichtung des Hochdruckraums.



626_046

Auflaufender Nocken

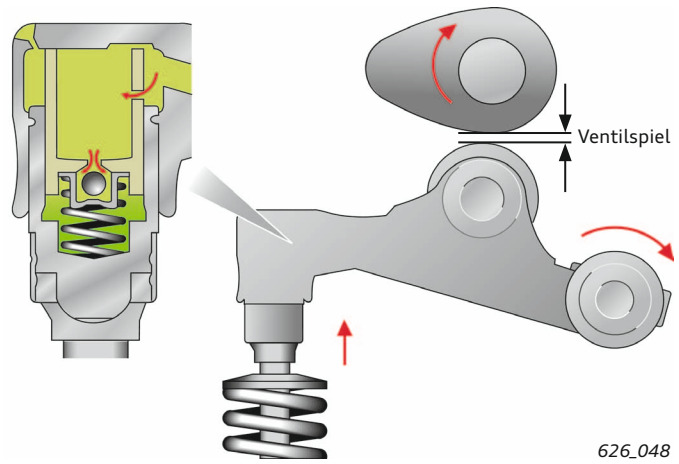
Der Nocken drückt auf den Rollenschlepphebel, das Rückschlagventil schließt und es kommt zu einem Druckaufbau im Hochdruckraum. Da das Öl nun nicht mehr aus dem Hochdruckraum entweichen kann und sich auch nicht komprimieren lässt, wirkt das Ventilspielausgleichselement beim Öffnen des Ein- bzw. Auslassventils wie ein starres Bauteil. Über einen Ringspalt zwischen Druckbolzen und Führungshülse kann überschüssiges Öl entweichen.



626_047

Ventilspiel ausgleichen

Der Nocken drückt nicht mehr auf den Rollenschlepphebel und das Ein- bzw. Auslassventil wird geschlossen. Der Druck im Hochdruckraum sinkt. Die Spielausgleichsfeder drückt Zylinder und Kolben soweit auseinander bis kein Spiel mehr zwischen Nocken und Rollenschlepphebel vorhanden ist. Das Rückschlagventil öffnet und Öl strömt aus dem Vorratsraum in den nun vergrößerten Hochdruckraum.



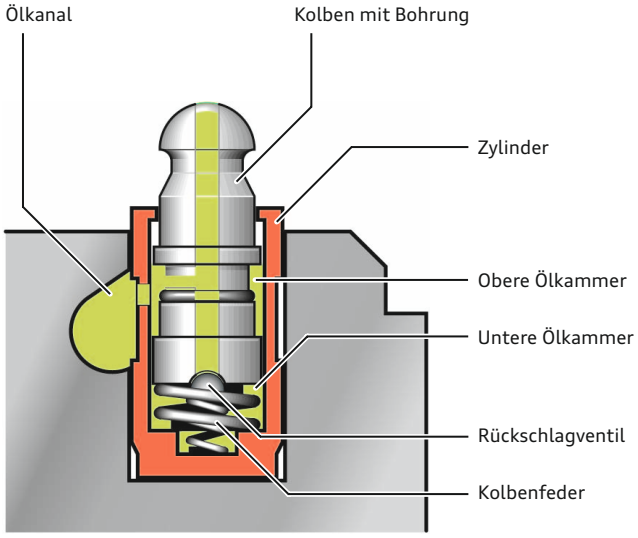
626_048

Ventilspielausgleich mit hydraulischem Abstützelement

Dieses System gleicht Längenänderungen der Bauteile des Ventiltriebs durch hydraulische Betätigung der Übertragungselemente aus. Das Ventilspiel wird dadurch bei laufendem Motor auf Null gehalten.

Aufbau

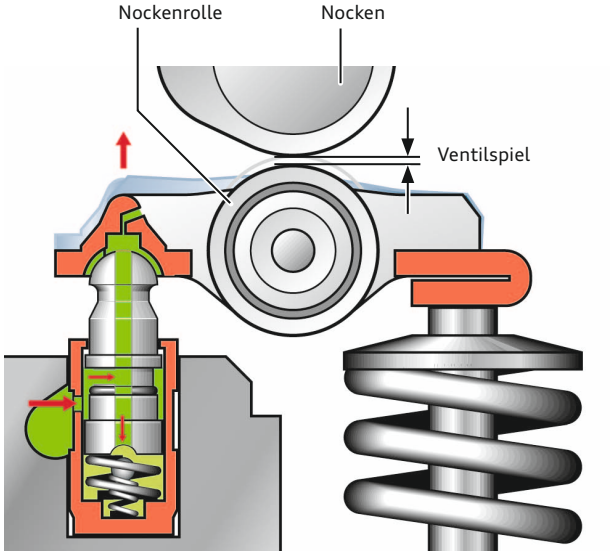
Das hydraulische Abstützelement besteht aus einem Kolben, einem Zylinder sowie einer Kolbenfeder und steht mit dem Ölkreislauf des Motors in Verbindung. In der unteren Ölkammer befindet sich außerdem ein Rückschlagventil.



626_095

Ausgleichen des Ventilspiels

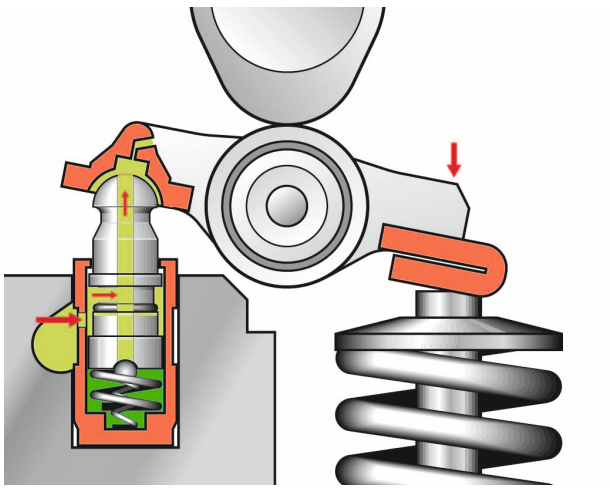
Entsteht ein Ventilspiel, wird der Kolben von der Kolbenfeder so weit aus dem Zylinder herausgedrückt, bis die Nockenrolle am Nocken anliegt. Beim Herausdrücken verringert sich der Öldruck in der unteren Ölkammer. Das Rückschlagventil öffnet und Öl strömt nach. Sobald der Druckunterschied zwischen oberer und unterer Ölkammer ausgeglichen ist, schließt das Rückschlagventil wieder.



626_097

Auflaufender Nocken

Läuft der Nocken auf die Nockenrolle auf, steigt der Druck in der unteren Ölkammer. Da sich das eingeschlossene Öl nicht komprimieren lässt, wird der Kolben nicht weiter in den Zylinder gedrückt. Das Abstützelement wirkt nun wie ein starres Element, auf dem sich der Rollenschlepphebel abstützt. Zum Ausgleich öffnet sich das entsprechende Ventil.



626_100

Nockenwellenverstellung

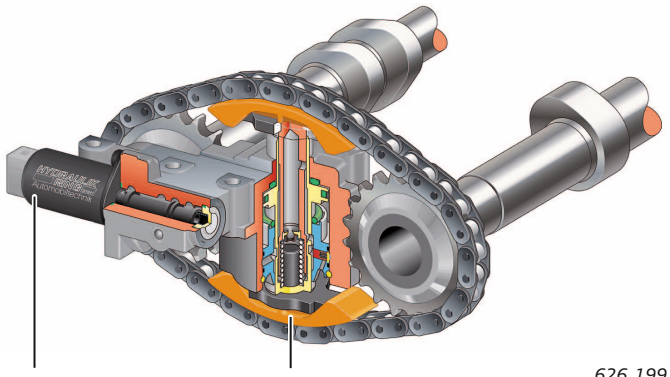
Bei Motoren ohne Nockenwellenverstellung sind die Nockenwellen über eine feste Verbindung mit der Kurbelwelle verbunden. Über Zahnriemen- oder Kettentriebe werden die Nockenwellen mit halber Motordrehzahl angetrieben. Die Ventilöffnungszeiten solcher Motoren sind demnach konstruktiv festgelegt. Da die Ventilöffnungszeiten den Ladungswechsel des Motors steuern, werden sie auch Steuerzeiten genannt. Die Zeit, in der Ein- und Auslassventile gleichzeitig geöffnet sind, bezeichnet man als Überschneidung. Die Überschneidungszeiten haben maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften eines Motors. So hat eine geringe Überschneidungszeit ein hohes maximales Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen aber auch eine geringe maximale Leistung bei hohen Drehzahlen zur Folge.

Lange Überschneidungszeiten führen dagegen zu einer höheren Maximalleistung, jedoch auf Kosten des Drehmoments bei niedrigen Drehzahlen. Ursache dafür sind drehzahlabhängige Strömungsvorgänge während des Ansaugtakts. Durch gezielte Verstellungen der Nockenwellen oder den Einsatz einer variablen Ventilsteuerung ist es möglich, die Steuerzeiten in Abhängigkeit von Drehzahl und Motorlast so zu verändern, dass in allen Drehzahlbereichen eine möglichst effiziente Zylinderfüllung erreicht wird. Dies kann über verschiedene Systeme realisiert werden, so z.B.:

- Nockenwellenverstellung über Kettenversteller
- Nockenwellenverstellung über Flügelzellenversteller
- Audi valvelift system

Nockenwellenverstellung über Kettenversteller

Bei einer Nockenwellenverstellung mittels variablen Kettenversteller wird nur die Einlassnockenwelle verstellt. Gleichzeitig wird die Kette gespannt. Die Ansteuerung übernimmt ein hydraulisches Magnetventil. Zum Umschalten von der Grundstellung in die Drehmomentstellung wird der Kettenversteller nach unten gedrückt. Dadurch ändert sich der Umlenkpunkt der Kette. Die Einlassnockenwelle wird in Richtung früh verstellt.

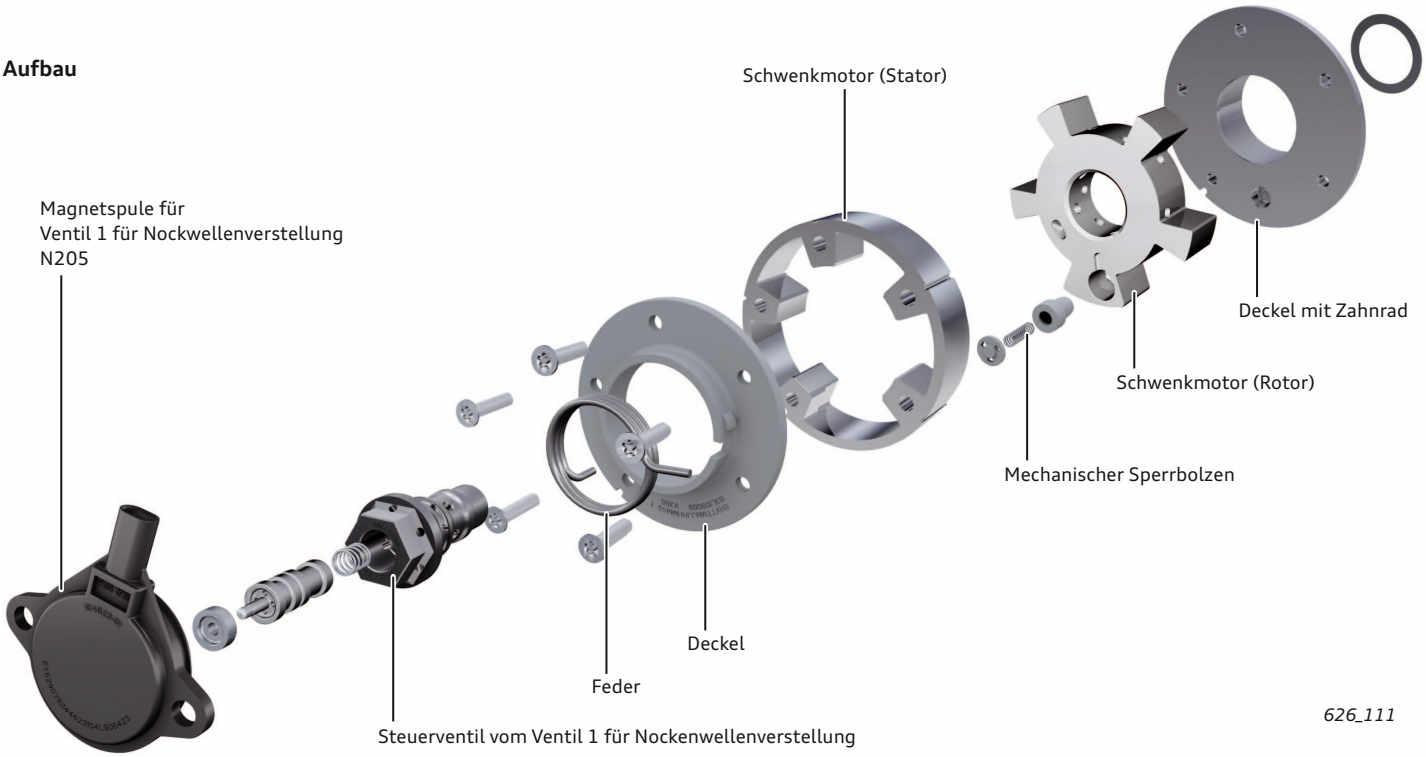


626_199

Nockenwellenverstellung über Flügelzellenversteller

Bei diesem System lassen sich beide Nockenwellen separat verstellen. Die Verstellwinkel der beiden Nockenwellen können daher unterschiedlich sein. Die Verstellung wird hier über Rotoren gesteuert, welche sich in Abhängigkeit von gesteuerten Ölströmen bewegen.

Aufbau

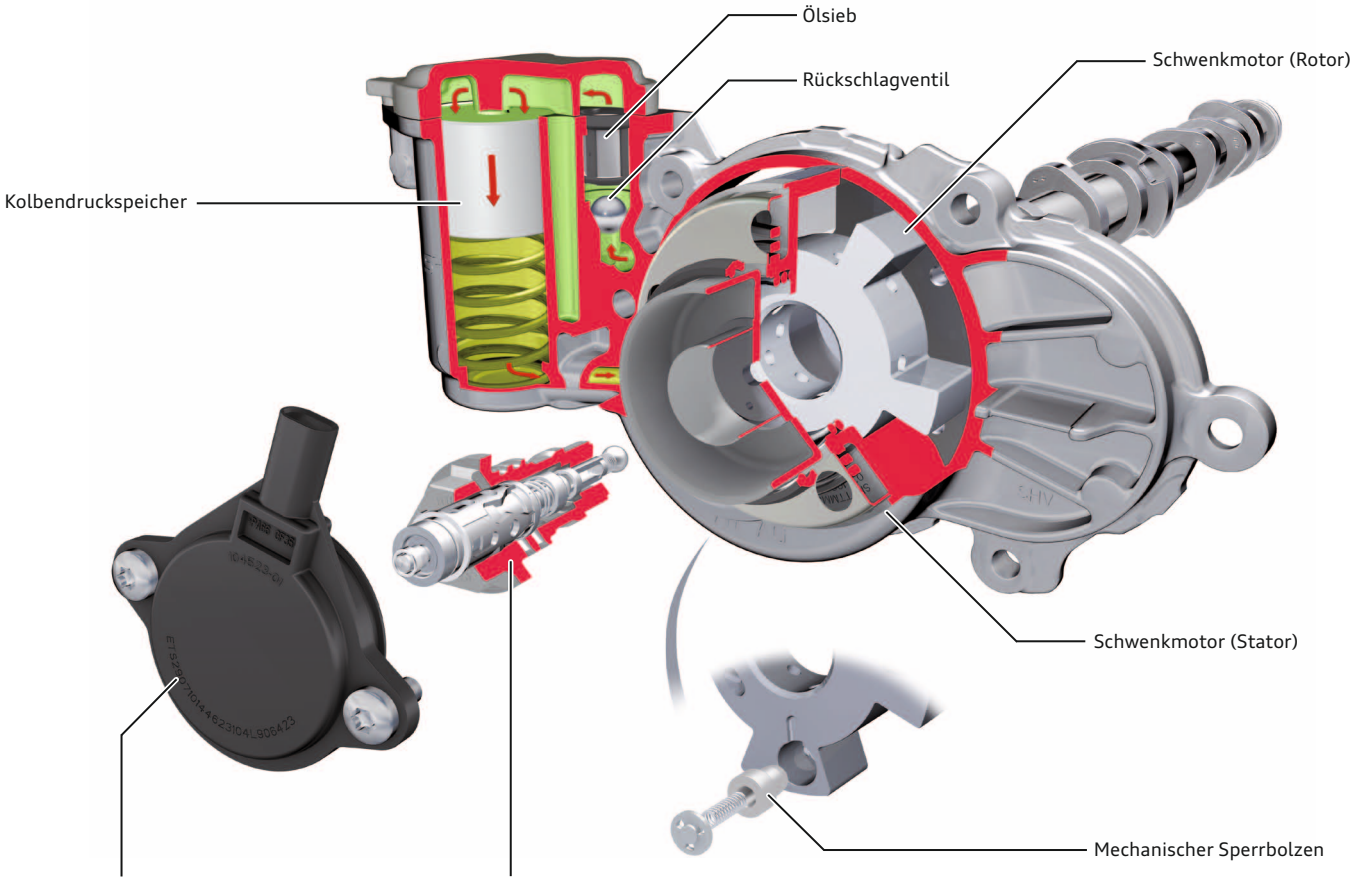


626_111

Funktion

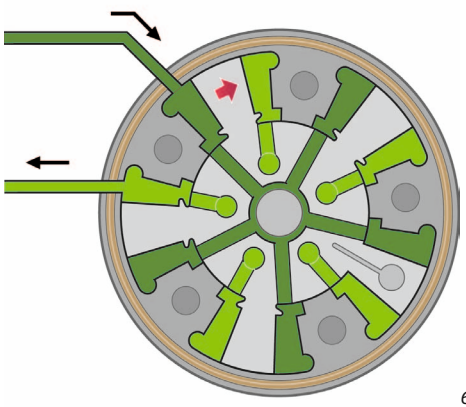
Der Schwenkmotor wird von der volumenstromgeregelten Ölpumpe über eine eigene Druckleitung im Zylinderkopf mit Drucköl versorgt. Die Verstellung der Nockenwelle erfolgt vom Motorsteuergerät mittels eines pulsweiten-moduliert angesteuertem 4/2-Wege-Proportionalventil. Der Innenflügelring (Rotor) des Schwenkmotors ist mit der Nockenwelle verbunden.

Der Außenring (Stator) ist mit einem Zahnrad, welches in ein Zahnrad der angetriebenen Nockenwelle eingreift, fest verbunden. Die Verstellbewegung der Nockenwelle zur Kurbelwelle wird durch die Beaufschlagung der Arbeitskammern (A) und (B) mit Öldruck zwischen Rotor und Stator erreicht. Um eine schnelle Verstellung des Schwenkmotors zu erreichen, wird der Öldruck in einem Kolbendruckspeicher zwischengespeichert.



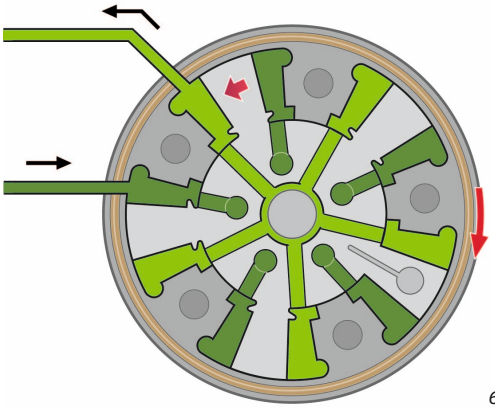
626_112

Verstellung nach „Früh“



626_200

Verstellung nach „Spät“



626_201

Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Nockenwellenverstellung über Flügelzellenversteller.

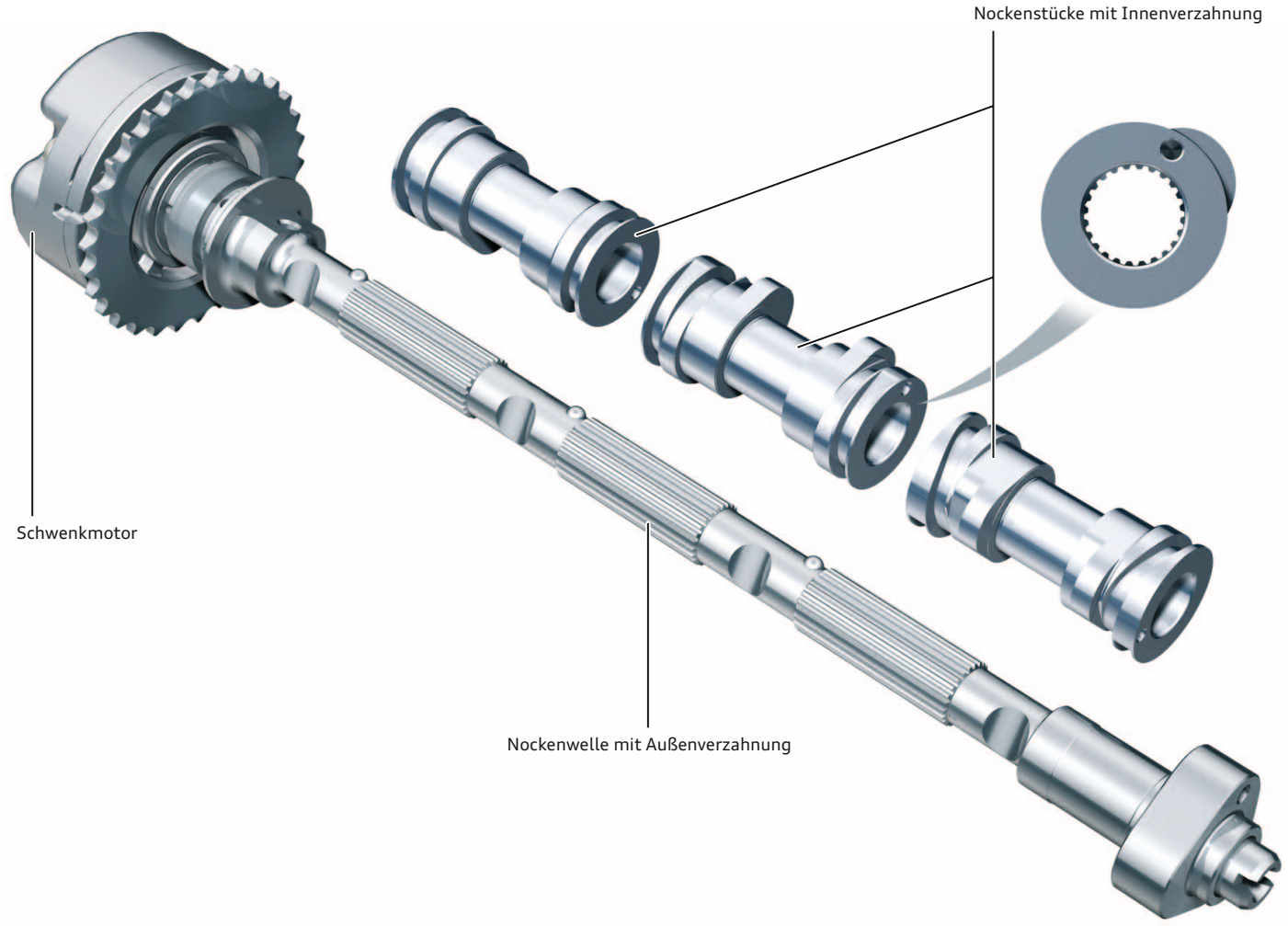
Audi valvelift system

Eine weitere Möglichkeit, die Überschneidungszeiten der Ventile zu beeinflussen, bietet das Audi valvelift system. Grundlage dieses Systems ist eine 2-stufige Steuerung des Ventilhubs. Die Betätigung des Systems erfolgt direkt auf der Nockenwelle. Dazu werden sogenannte Nockenstücke eingesetzt, die direkt auf den Nockenwellen sitzen und sich axial verschieben lassen. Auf den Nockenstücken befinden sich jeweils 2 unterschiedliche Nockenprofile direkt nebeneinander.

Davon steuert eines kurze Ventilhübe, das andere große Ventilhübe an. Durch Positionsänderungen der Nockenstücke werden die Ventile in Abhängigkeit vom Belastungszustand gesteuert. Einige Motoren nutzen dieses System außerdem, um die Zylinderabschaltung des „Cylinder-on-demand“-Systems anzusteuern.

Aufbau der Nockenwelle

Die Nockenwellen sind mit Verzahnungen versehen, auf denen die Nockenstücke sitzen. Diese zylindrischen Hülsen sind axial um 7 mm verschiebbar und verfügen über 2 Nockenkonturen.



626_117

Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zum Audi valvelift system.

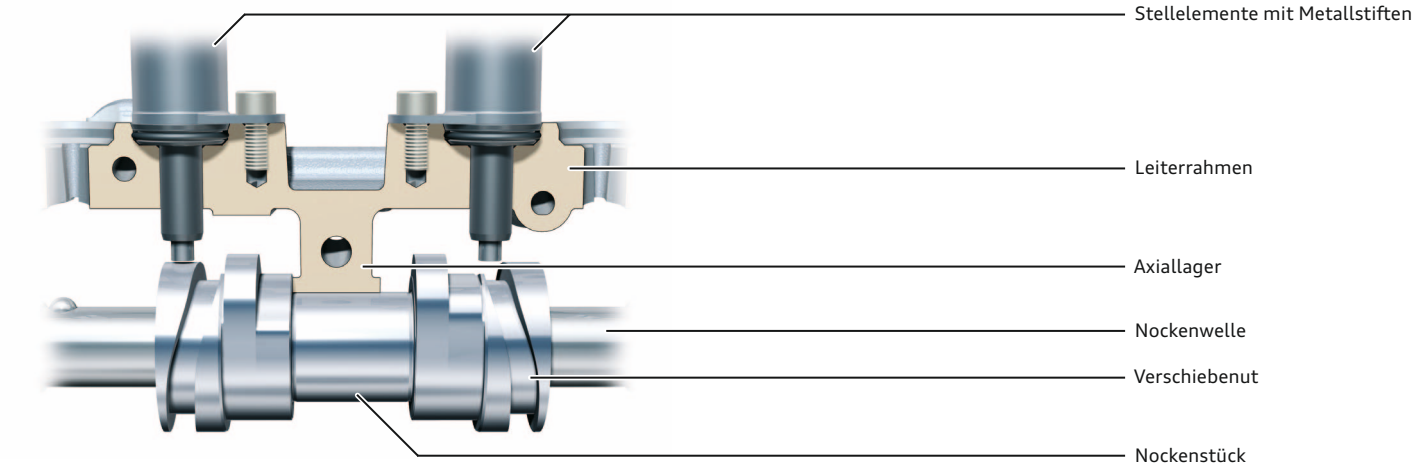
Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Zylinderabschaltung mittels Audi valvelift system.

Lagerung der Nockenwelle

Die Längsverschiebung der Nockenstücke erfolgt über 2 Metallstifte, welche senkrecht zur Nockenwelle im Zylinderkopf angeordnet sind und von elektromagnetischen Aktoren ausgefahren werden können. Diese tauchen in Nuten ein, die in den Nockenstücken integriert sind. Der abgesenkte Metallstift taucht in eine Verschiebenut mit spiralförmiger Kontur am Ende der Nockenstücke ein. Der spiralförmige Nutverlauf bewirkt dabei, dass sich das Nockenstück bei seiner Drehung in Längsrichtung verschiebt.

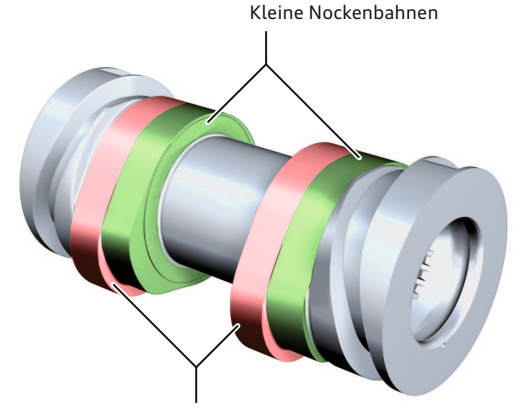
Am Ende der Verschiebung wird der Metallstift des stromlos geschalteten Aktors durch die entsprechende Gestalt des Nutgrunds wieder in seine Ausgangsstellung zurückgeschoben. Das Nockenstück liegt nun positionsgenau an einer Axiallagerseite an. Die Rückschaltung in die ursprüngliche Nockenstückposition erfolgt durch den 2. Metallstift zusammen mit einer Verschiebenut auf der Gegenseite.



626_118

Nockenkontur

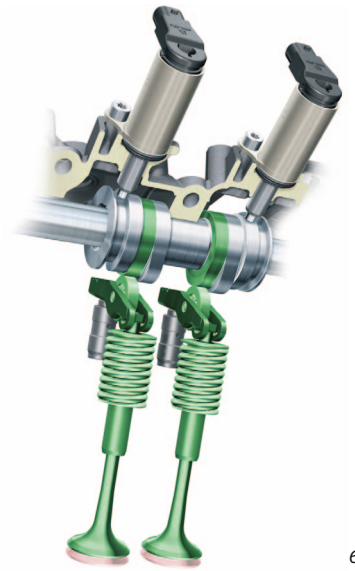
Auf den Nockenstücken befinden sich für jedes Ventil je 2 Nockenkonturen. Die Steuerzeiten der Nocken sind für die gewünschte Motorcharakteristik entsprechend ausgelegt. Die kleinen Nockenbahnen realisieren einen Ventilöffnungshub von 6,35 mm. Die Öffnungslänge beträgt dabei 180° Kurbelwinkel. Das Auslassventil schließt 2° nach OT. Der Vollhub mit den großen Nockenbahnen beträgt 10 mm, mit einer Öffnungslänge von 215° Kurbelwinkel. Das Auslassventil schließt 8° vor dem OT.



626_121

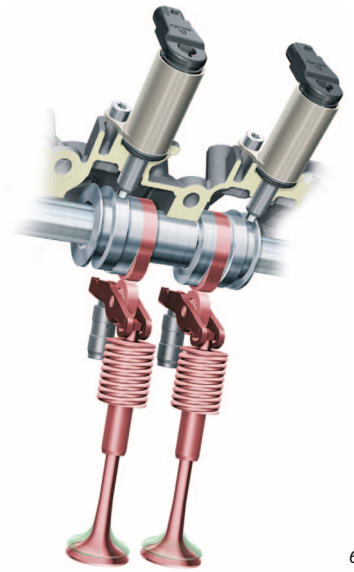
Ventilhub

Kleine Nockenbahnen (niedrige Drehzahlen)



626_122

Große Nockenbahnen (hohe Drehzahlen)



626_123

Motorschmierung

Ein Benzin- und Dieselmotor besteht aus einer Vielzahl von beweglichen Teilen, wie z. B Kolben, Ventile oder Kurbelwelle. Läuft ein Motor, dann bewegen sich die Teile und berühren sich, beispielsweise der Kolben und die Zylinderwand. Dadurch entstehen Energieverluste und Verschleiß. Wichtigstes Ziel ist es, diese beiden Größen so gering wie möglich zu halten.

Nachfolgend finden Sie eine exemplarische Übersicht zu Schmierstellen und Bauteilen im Ölkreislauf an einem Motor.

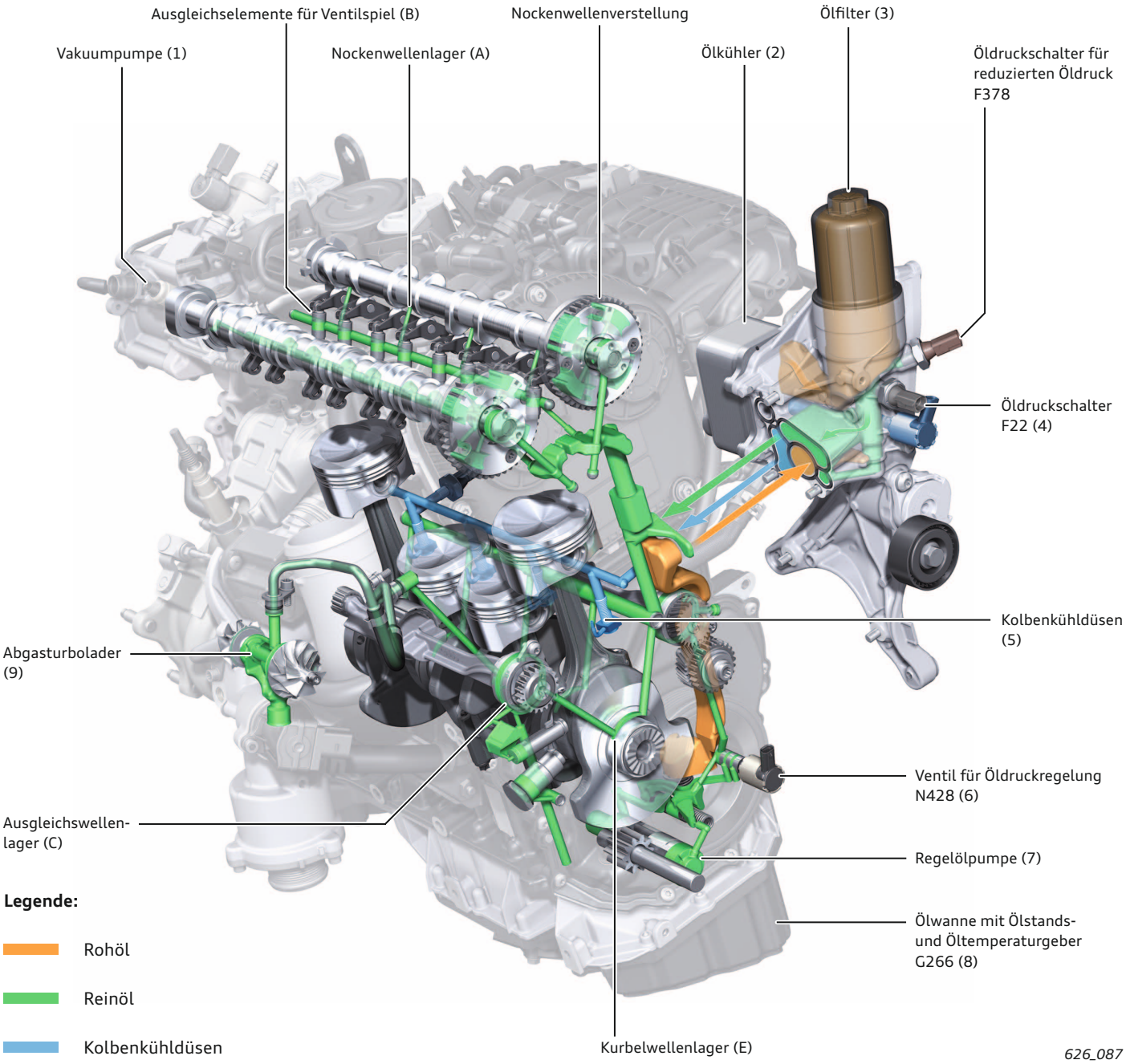
Erreicht wird das Ziel der Reduzierung von Verschleiß und Energieverlusten durch ein Schmierungssystem (Ölkreislauf), das folgende Aufgaben erfüllen muss:

- Reibung verringern
- Wärme abführen
- Fein abdichten
- Rückstände abtransportieren
- Vor Korrosion schützen
- Geräusche und Stöße dämpfen
- Kraftstoffverbrauch senken
- Lebensdauer absichern bzw. erhöhen

Besonders wichtig ist, dass die Schmierung unter allen Bedingungen sicher funktioniert. Sonst kann es sehr schnell zu erhöhtem Verschleiß oder sogar zu einem Motorschaden kommen.

Schmierstellen und Bauteile im Ölkreislauf

Die Beschriftung in der Grafik ist zusätzlich mit Nummern der Abbildung auf Seite 57 versehen.



626_087

Druckumlaufschmierung

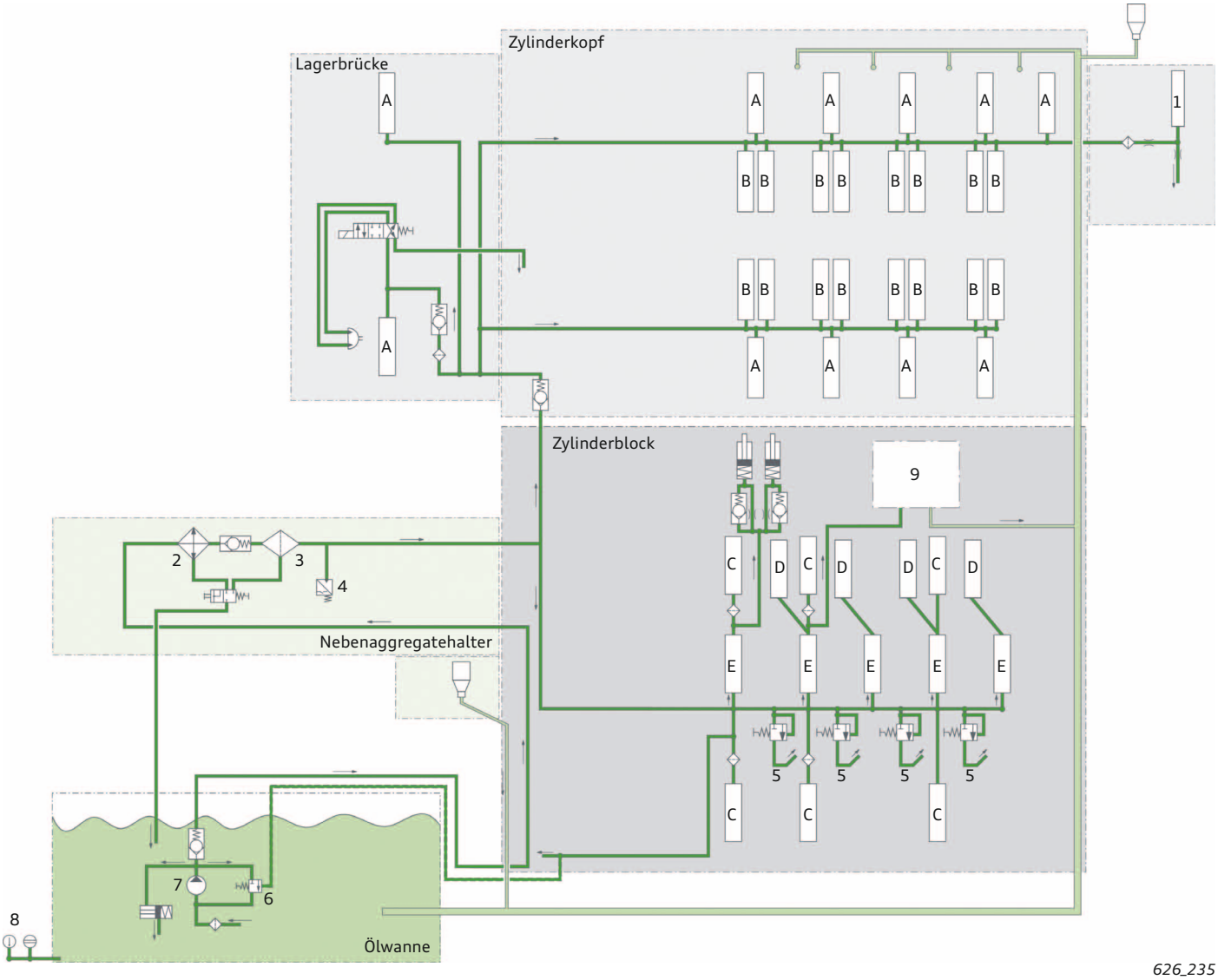
Die Mehrzahl aller Viertaktmotoren ist mit einer Druckumlaufschmierung ausgerüstet. Sie ist zurzeit das am häufigsten eingesetzte Schmierungssystem für die Benzin- und Dieselmotoren.

Oberstes Gebot ist ein kurzer Schmierölweg, das heißt, das Öl muss möglichst schnell an die Schmierstellen gelangen.

Grundsätzliche Funktionsweise

Eine Pumpe saugt das Öl aus der Ölwanne über ein Sieb an. Angetrieben wird sie meist von der Kurbelwelle über eine Kette oder Zahnräder. Ihr ist ein Druckbegrenzungsventil nachgeschaltet, um den Systemdruck zu begrenzen und damit Schäden am System zu verhindern.
Die Ölwanne ist die tiefste Stelle des Motors und dient als Vorratsbehälter für das Motorenöl. Ihre Oberfläche wird gleichzeitig zur Wärmeableitung der Ölfüllung genutzt. Einige Ölwannen haben dafür sogar Kühlrippen. In der Ölwanne erfasst ein Geber den Ölstand und die Öltemperatur.
Bei Hochleistungsmotoren ist der Ölkreislauf zusätzlich mit einem Ölkühler versehen. Er kann mit dem Filterelement eine Baueinheit bilden oder auch als eigenständiges Bauteil im System integriert sein.

Bei einigen Motoren werden stark beanspruchte Bauteile wie der Kolbenboden zusätzlich mit Spritzdüsen gekühlt. Ein Filter, häufig als Papierelement ausgeführt, reinigt das Öl bevor es zur Schmierung verwendet wird. Ist der Filter verstopft oder das Öl noch zu kalt, dann ist der Widerstand des Öls zu groß, um durch den Filter zu fließen. In diesem Fall öffnet ein Umgehungsventil, auch Kurzschlussventil genannt. Das Öl gelangt in diesem Fall ungefiltert zu den Schmierstellen. Meist ist dieses Umgehungsventil in den Ölfilter integriert.
Das Öl gelangt über Bohrungen und Leitungen zu den Schmierstellen im Motor. Ein oder mehrere Geber erfassen den Öldruck im Motor. Um einen Rückfluss des Öls bei abgestelltem Motor zu verhindern, werden Ölrückhalteventile eingebaut.



626_235

Legende:

- Niederdruckkreis
- Hochdruckkreis

A Nockenwellenlager
B Ausgleichselemente
C Ausgleichswellenlager
D Pleuel
E Kurbelwellenlager

Ölpumpen

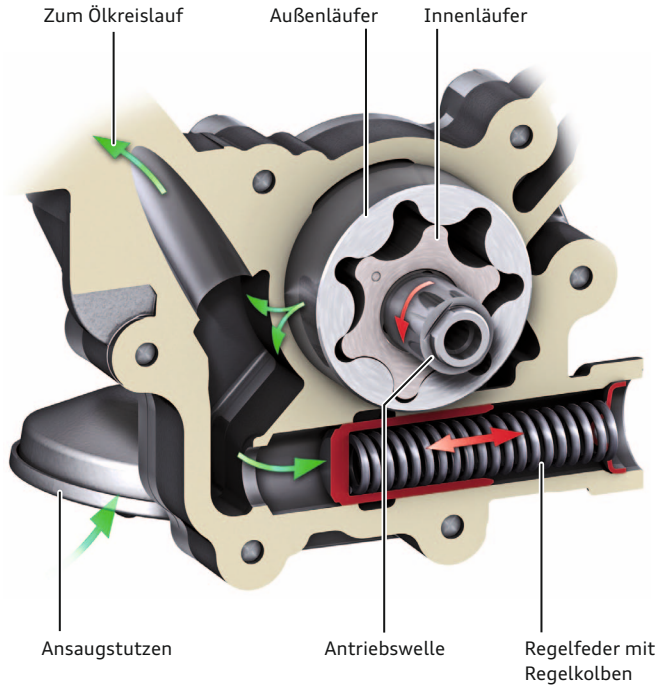
Eine Ölpumpe hat die grundsätzliche Aufgabe, den Ölkreislauf und damit alle Schmierstellen mit der benötigten Menge an Öl bzw. mit dem erforderlichen Öldruck zu versorgen. Bei Audi kommen dazu verschiedene Bauarten zum Einsatz.

Die Weiterentwicklung von Ölpumpen zielt vor allem darauf ab, deren Förderleistung bedarfsgerecht zu regeln, so dass nur soviel Öl gefördert wird, wie gerade vom Motor benötigt.

Duocentric-Pumpe
(beispielhaft am 1,4l-TFSI-Motor, CAVG, EA111)

Der Innenläufer wird über die Antriebswelle vom Kettenrad angetrieben und treibt dadurch den Außenläufer an. Der Außenläufer dreht sich im Regelring. Innen- und Außenläufer drehen sich jeweils in unterschiedlichen Drehachsen. Dadurch entsteht während der Drehbewegung eine Raumvergrößerung auf der Saugseite. Es wird Öl angesaugt und zur Druckseite gefördert. Durch die Raumverkleinerung auf der Druckseite wird das Öl in den Ölkreislauf gedrückt.

Die Duocentric-Ölpumpe ist eine Konstant-Ölpumpe, fördert also mit stets konstantem Volumen. Über einen federbelasteten Regelkolben innerhalb der Ölpumpe wird der Öldruck geregelt. Das Druckregelventil öffnet bei einem Druck von 4 ± 0,5 bar. Abgesteuertes Öl fließt zurück in die Ölwanne.



626_107

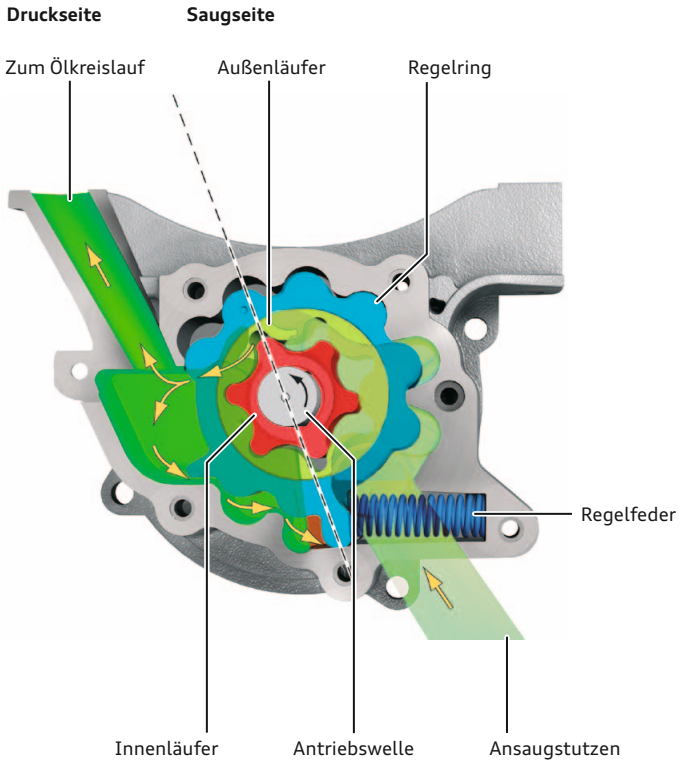
Geregelte Duocentric-Pumpe
(beispielhaft am 1,4l-TFSI-Motor, CAXC, EA111)

Die Funktionsweise entspricht grundsätzlich der einer einfachen Duocentric-Ölpumpe. Hinzu kommt jedoch eine Regelung, die die Förderleistung an den aktuellen Bedarf des Motors anpasst.

Regelvorgang

Erhöht sich der Ölbedarf durch steigende Motordrehzahl, gibt es einen Druckabfall im Ölkreislauf. Dadurch wirkt die Kraft der Regelfeder und verschiebt den Regelring so, dass eine Raumvergrößerung in der Pumpe entsteht. Die Förderleistung der Pumpe steigt an.

Verringert sich die Motordrehzahl und somit der Ölbedarf des Motors, gibt es einen Druckanstieg. Dadurch wird der Regelring verschoben und drückt die Regelfeder zusammen. Durch die Verdrehung des Regelrings verkleinert sich der Pumpenraum. Damit verringert sich die geförderte Ölmenge.



626_114

Audi QR-Code

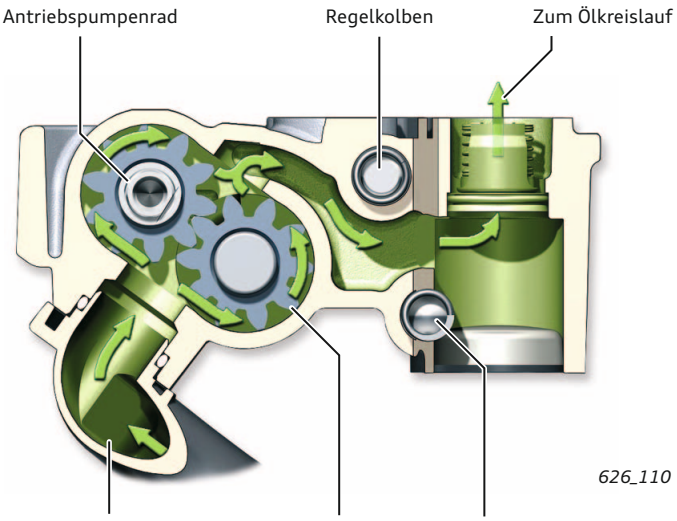
Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Duocentric-Pumpe.

Geregelte Außenzahnradpumpe (beispielhaft am 2,0l-TFSI-Motor, EA888)

Bei einer Außenzahnradpumpe wird das Öl innerhalb eines Gehäuses zwischen den Zahnlücken zweier Zahnräder transportiert, wobei ein Zahnrad angetrieben wird. Bei einigen Außenzahnradpumpen ist ein Pumpenrad axial verschiebbar (getriebenes Pumpenrad). Durch die Verschiebung können die Fördermenge und auch der Förderdruck im Ölkreislauf gezielt beeinflusst werden.

Dabei wird das Ventil für Öldruckregelung N428 vom Motorsteuergerät angesteuert und hält einen schaltbaren Druckkanal geöffnet bzw. geschlossen, so dass die Flächen des Regelkolbens je nach Betriebszustand mit Öldruck beaufschlagt sind.

Das Konzept der Regelung besteht darin, dass 2 unterschiedliche Drücke realisiert werden. Die Druckregelung wird über die Regelung des Fördervolumenstroms der Pumpenräder erreicht. Dabei wird genau so viel Öl gefördert, dass sich der gewünschte Reinöldruck nach Ölkühler und Ölfilter einstellt.
Das erreicht man durch die axiale Verschiebung der Verschiebeeinheit und somit der beiden Pumpenräder zueinander. Stehen sich beide Pumpenräder genau gegenüber, ist die Förderleistung am höchsten. Ist die axiale Verschiebung des getriebenen Pumpenrads am größten, dann ist die Förderleistung am geringsten (gefördert wird nur das zwischen den Zähnen der Pumpenräder verdrängte Öl).



626_110

Audi QR-Code

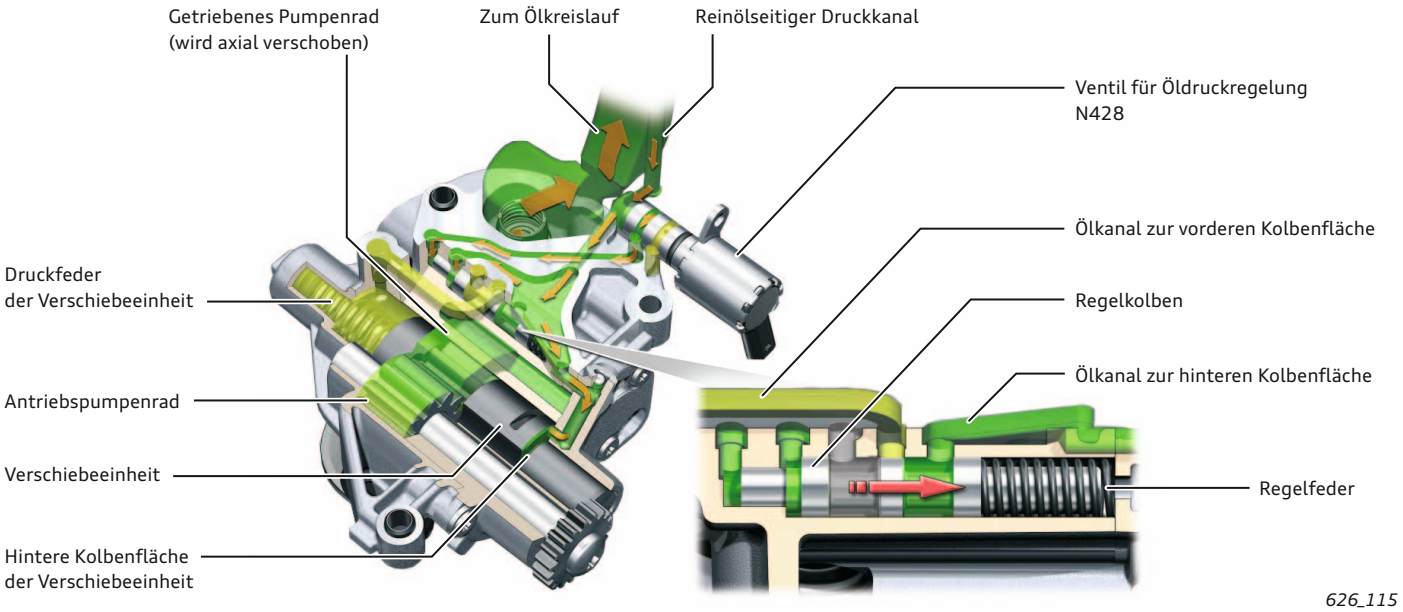
Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Öldruckregelung einer Außenzahnradpumpe.

Kleine Druckstufe

Erhöht sich die Motordrehzahl, dann steigt auch der Öldruck leicht an und bewirkt eine Verschiebung des Regelkolbens gegen die Kraft der Regelfeder. Dadurch wird der Druckkanal zur vorderen Kolbenfläche der Verschiebeeinheit verschlossen und gleichzeitig die Verbindung zum drucklosen Rücklauf in die Ölwanne geöffnet. Jetzt ist die hydraulische Kraft der hinteren Kolbenfläche der Verschiebeeinheit größer als die Federkraft. Somit verschiebt sich die Verschiebeeinheit gegen die Kraft der Druckfeder. Das getriebene Pumpenrad wird gegenüber dem Antriebspumpenrad axial verschoben. Der Volumenstrom wird reduziert und passt sich dem Ölverbrauch des Motors an. Durch die Anpassung des Volumenstroms bleibt der Öldruck auf einem relativ konstanten Niveau.

Umschalten auf hohe Druckstufe

Ab einer Drehzahl von etwa 3500 1/min wird auf die hohe Druckstufe umgeschaltet. Dazu wird das Ventil für Öldruckregelung N428 stromlos geschaltet. Das bewirkt ein Verschließen des schaltbaren Druckkanals und gleichzeitig die Öffnung zum drucklosen Raum in der Ölwanne. Da jetzt eine wirksame Fläche des Regelkolbens nicht mehr zum Tragen kommt, überwiegt die Kraft der Regelfeder. Der Regelkolben verschiebt sich soweit, dass der Kanal zur vorderen Kolbenfläche der Verschiebeeinheit geöffnet wird. Der jetzt auf die vordere Kolbenfläche wirkende Öldruck und die Druckfeder drücken die Verschiebeeinheit wieder zurück, so dass beide Pumpenräder sofort wieder fast parallel zueinander laufen und die Pumpe in maximale Förderleistung geht.



626_115

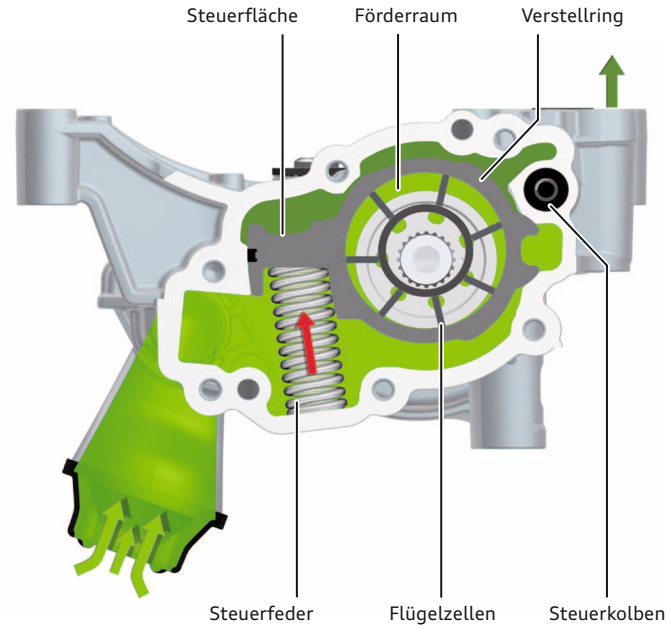
Flügelzellenpumpe
(beispielhaft am 2,0l-TDI-Motor, EA288)

Die Flügelzellenpumpe ist so konstruiert, dass sie in 2 Druckstufen arbeiten kann. Außerdem wird der Ölbedarf des Motors durch eine Volumenstromregelung der Pumpe ständig angepasst (in beiden Druckstufen).

Die Pumpe verfügt dazu über einen exzentrisch gelagerten Verstellring, welcher Teil des Pumpeninnenraums ist. Durch das Verdrehen des Verstellrings verändert sich die Größe des Innenraums der Pumpe und damit die Förderleistung bzw. nach Umschaltung der Druck im System.

Bei steigender Motordrehzahl gibt es aufgrund des erhöhten Ölbedarfs an den Verbrauchern einen Druckabfall im System. Die Folge daraus ist, dass die Steuerfeder den Verstellring so verschiebt, dass der Pumpeninnenraum größer wird. Dadurch steigt die Förderleistung der Pumpe.

Verringert sich die Motordrehzahl und somit der Ölbedarf des Motors, hat das einen Druckanstieg zur Folge. Der höhere Druck wirkt über die Steuerfläche des Verstellrings und verschiebt diesen so, dass der Pumpeninnenraum verkleinert wird. Die Förderleistung der Pumpe nimmt ab.



626_203

Öldruckregelung

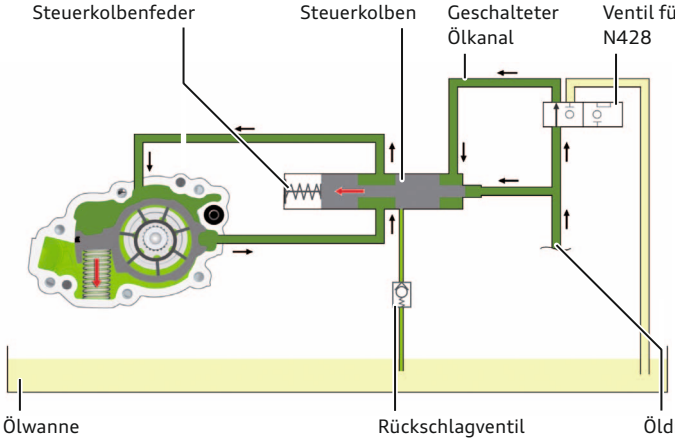
Niedriges Druckniveau (kleine Fördermenge)

Im unteren Drehzahlbereich wird das unter Spannung stehende Ventil für Öldruckregelung N428 durch das Motorsteuergerät J623 mit Masse beaufschlagt und gibt den geschalteten Ölkanal auf den Steuerkolben frei. Nun wirkt der Öldruck auf beide Flächen des Steuerkolbens, schiebt diesen gegen die Steuerkolbenfeder und gibt den Weg auf die Steuerfläche des Verstellrings frei. Der Öldruck wirkt auf die Steuerfläche. Die daraus resultierende Kraft ist größer als die der Steuerfeder und schwenkt den Verstellring gegen den Uhrzeigersinn in das Zentrum der Flügelzellenpumpe, was den Förderraum zwischen den Flügelzellen verkleinert. Das untere Druckniveau wird in Abhängigkeit folgender Größen geschaltet, womit die Antriebsleistung der Ölpumpe reduziert wird:

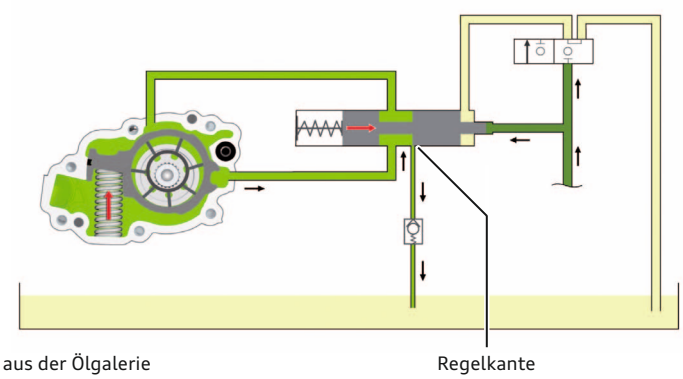
- Motorlast
- Motordrehzahl
- Öltemperatur
- Weitere Betriebsparameter

Hohes Druckniveau (große Fördermenge)

Im oberen Drehzahlbereich oder bei hoher Last (Volllast-Beschleunigung) wird das Ventil für Öldruckregelung N428 durch das Motorsteuergerät J623 vom Masseanschluss getrennt, so dass der geschaltete Ölkanal entlüftet wird. Die Kraft der noch mit Öldruck verbliebenen Fläche ist kleiner als die Kraft der Steuerkolbenfeder und schließt den Kanal zur Steuerfläche des Verstellrings. Ohne anliegenden Öldruck schwenkt die Steuerfeder den Verstellring um das Widerlager im Uhrzeigersinn. Der Verstellring schwenkt nun aus der Mittelposition und vergrößert den Förderraum zwischen den einzelnen Flügelzellen. Durch die Vergrößerung der Räume zwischen den Flügelzellen wird mehr Öl gefördert. Dem höheren Ölvolumenstrom tritt durch die Ölbohrungen und das Lagerspiel der Kurbelwelle ein Widerstand entgegen, welcher den Öldruck ansteigen lässt. Somit konnte eine volumenstromgeregelte Ölpumpe mit 2 Druckstufen realisiert werden.



626_236



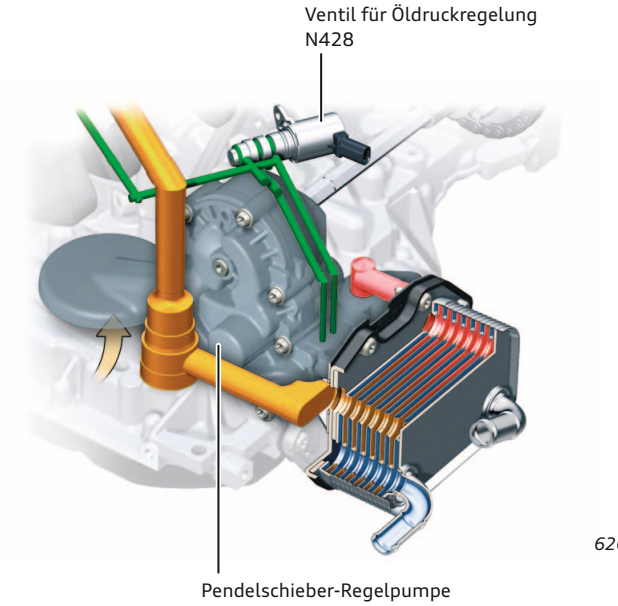
626_237

Pendelschieber-Regelpumpe
(beispielhaft am 3,2l-FSI-Motor)

Die sogenannte Pendelschieber-Regelpumpe benötigt eine wesentlich geringere Antriebsleistung, als bisher eingesetzte Pumpen. Im Fördervolumen um 30 % verkleinert, arbeitet die Pumpe volumenstromgeregelt und somit bedarfsgerecht. Daraus ergibt sich ein günstigerer Kraftstoffverbrauch. Ein elektrisch angesteuertes Ventil, das Ventil für Öldruckregelung N428, befindet sich im Zylinderblock oberhalb der Ölpumpe.

Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Pendelschieber-Regelpumpe.



626_108

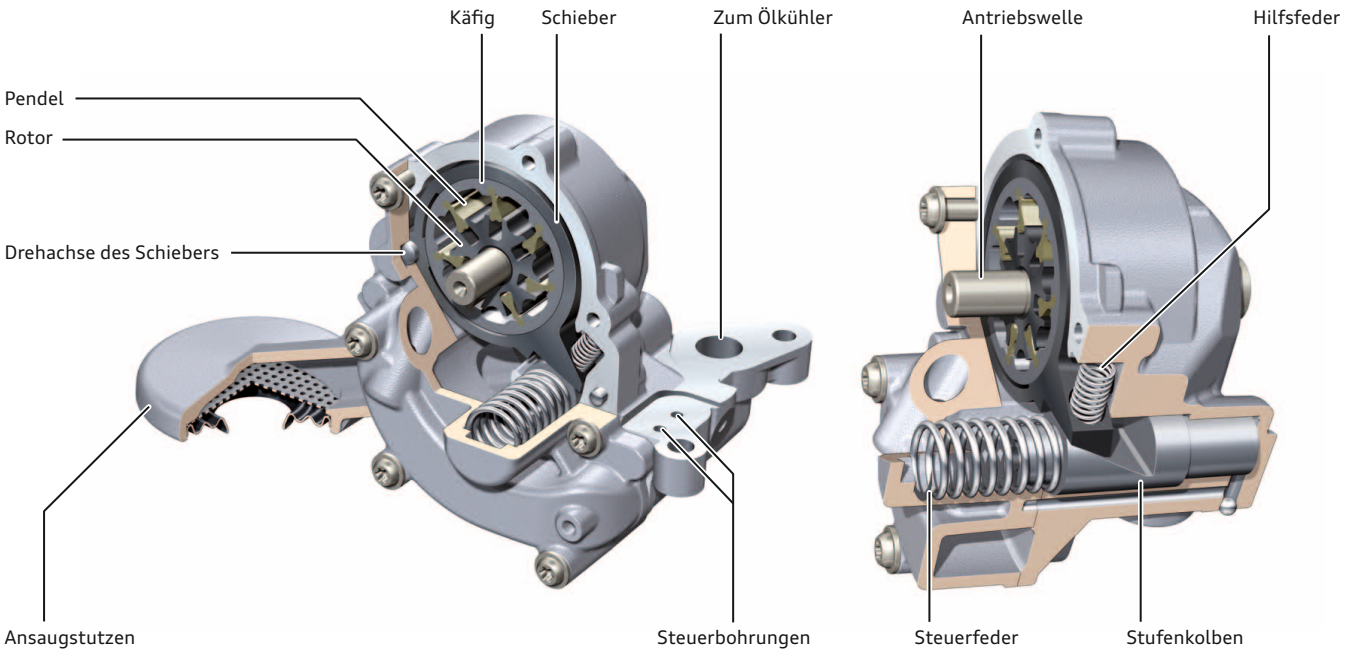
Aufbau

Die Pumpe wird über die Welle vom Kettentrieb aus angetrieben (siehe Übersicht Kettentrieb). Die Welle ist fest mit dem Rotor verbunden. Dieser ist über 7 Pendel formschlüssig mit dem Käfig verbunden. Im Rotor werden die Pendel beweglich in den Radialschlitzen geführt. Rotor, Pendel und Käfig drehen sich gemeinsam im Schieber. Dieser dient gleichzeitig als Laufbuchse des Käfigs. Der Rotor ist gegenüber dem Schieber und Käfig exzentrisch gelagert. Dadurch bilden sich, ähnlich wie bei einer Flügelzellenpumpe, verschieden große Räume in den einzelnen Zellen.
Die Besonderheit ist, dass der Schieber im Gehäuse der Pumpe, gegen die Kraft einer Hilfsfeder, schwenkbar gelagert ist. Die einzelnen Zellen werden zwischen 2 Pendeln, dem Käfig, dem Rotor und den seitlichen Deckeln der Pumpe gebildet.

Funktion

Während sich die Pumpe dreht, vergrößern sich im Saugbereich die Zellen. Dadurch entsteht Unterdruck und das Öl wird über das Sieb in die Pumpe gesogen. Durch die Drehbewegung wird das Öl zur Druckseite gefördert. Dort verkleinern sich die Zellen und das Öl wird unter Druck aus der Pumpe gespresst. Die entsprechende Ölmenge wird je nach Bedarf gefördert.

Die Pumpe wird über den Öldruck in der Hauptölgalerie geregelt. Dafür wird von der Hauptölgalerie ein Teilstrom abgezweigt, der über eine Steuerleitung und das Steuerventil für Ölpumpe N428 zur Ölpumpe gelangt.



626_120

Ölfilter

Alle Benzin- und Dieselmotoren verfügen über einen Ölfilter, der üblicherweise im Ölhauptstrom angeordnet ist. Er hat die Aufgabe, das Öl von Abrieb und anderen Rückständen, beispielsweise von der Verbrennung zu reinigen. Grundsätzlich kommen dabei 2 Bauarten zum Einsatz, siehe Abbildung.

- Geschraubte Ölfilterpatrone (Wechselfilter)
- Ölfilter mit Wechseleinsatz (Gehäusefilter)

Während ein Wechselfilter bei jedem Ölwechsel komplett erneuert werden muss, wird beim Gehäusefilter nur der Inhalt, also der Filtereinsatz erneuert.

Ölfilter als Wechseleinsatz
(Gehäusefilter)

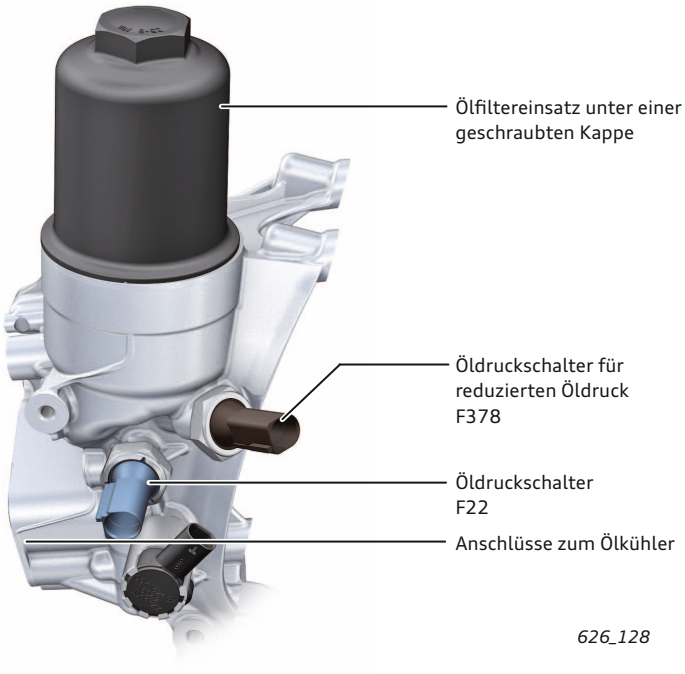
Geschraubte Ölfilterpatrone
(Wechselfilter)



626_124

Ölfiltermodule

Ölfilter sind meist in ein separates Modul integriert. Neben Vorteilen in der Herstellung bietet dieses System die Möglichkeit, zahlreiche weitere Komponenten aufzunehmen. Dazu zählen zum Beispiel verschiedene Sensoren, Aktoren oder auch ein Ölkühler. In der Praxis gibt es Ölfiltermodule mit Wechselfilter aber auch mit Gehäusefilter.

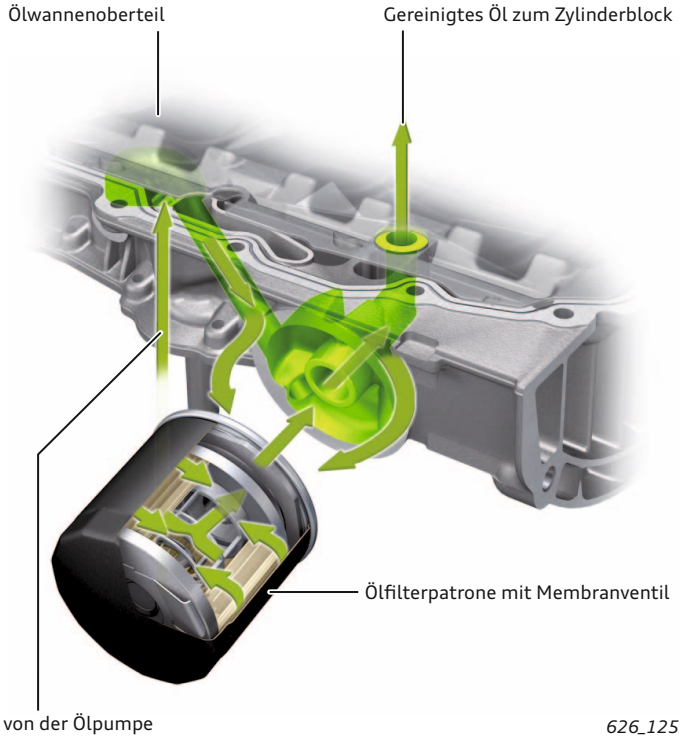


626_128

Ölfilterpatrone direkt am Motor (beispielhaft am 1,4l-TFSI-Motor, EA211)

Die Ölfilterpatrone ist am Ölwannenoberteil verschraubt. Während des Betriebs strömt das Öl von der Ölpumpe durch einen Kanal zum Ölfilter. Nach der Reinigung strömt es durch eine Steigleitung in den Zylinderblock und von da weiter durch den Ölkühler. Anschießend wird es zu den einzelnen Schmierstellen geleitet.

Ein Membranventil im Ölfilter verhindert, dass das Öl bei Motorstillstand aus dem Ölfilter läuft.

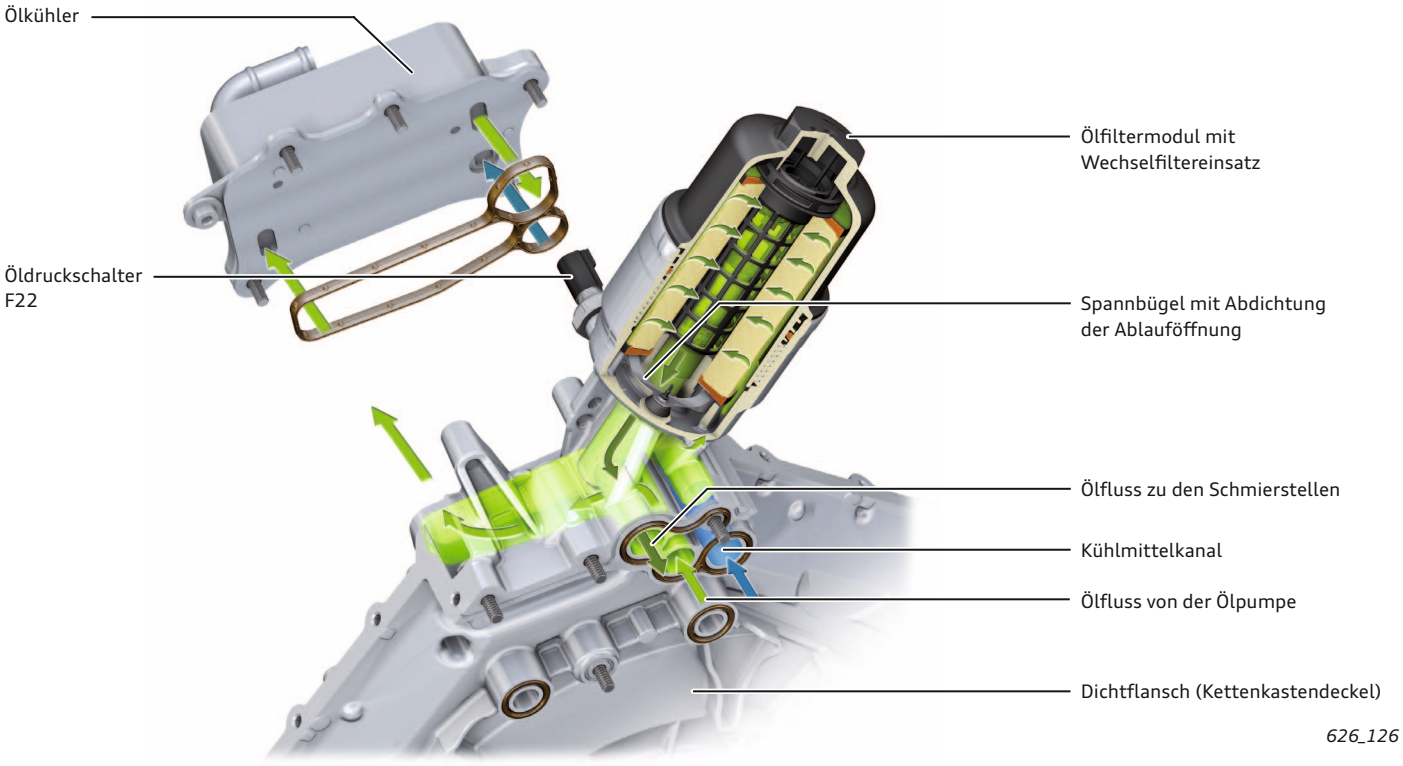


626_125

Ölfiltermodul mit Wechseleinsatz (beispielhaft am 3,0l-TFSI-Motor, EA837)

Das Ölfiltermodul ist Teil des Dichtflanschs (Kettenkastendeckel) an der Motorrückseite. Der grundsätzliche Aufbau entspricht dem anderer stehender Ölfiltermodule, wie beispielsweise dem am EA888-Motor. Entfallen ist der Stutzen, der den Ablauf des Öls aus dem Ölfiltermodul öffnet bzw. verschließt.

Diese Aufgabe übernimmt ein Spannbügel, in dem eine Dichtkappe integriert ist. Das von der Ölpumpe ankommende Öl fließt durch den Filter und wird anschließend im Ölkühler heruntergekühlt. Danach wird es zu den Schmierstellen des Motors geführt.

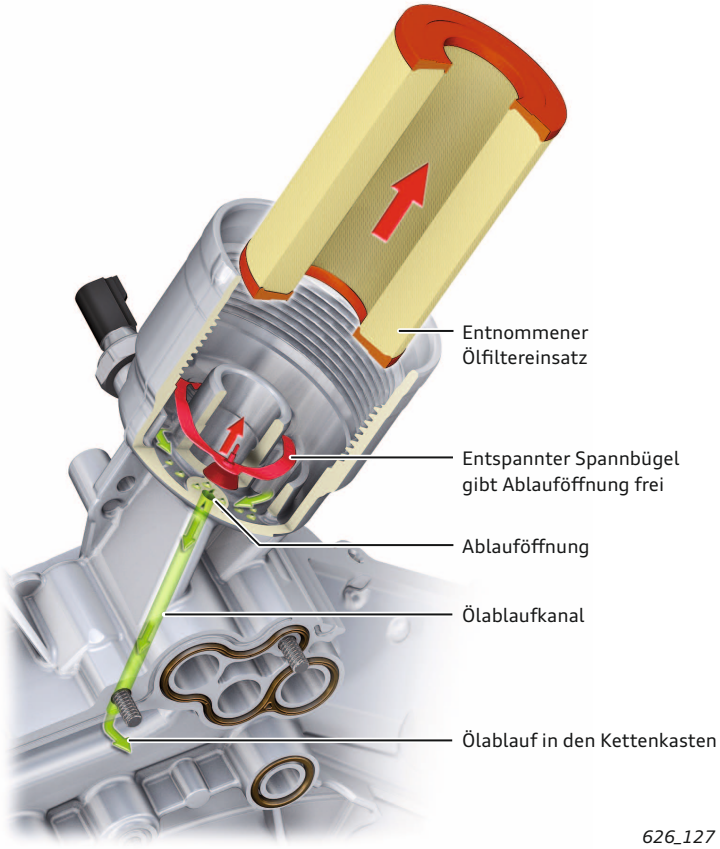


626_126

Ölrücklauf bei einem Ölwechsel

Beim Entfernen des Ölfiltereinsatzes entspannt sich der Spannbügel und gibt die Ablauföffnung frei. Das restliche Öl im Ölfiltermodul kann in den Ablauf abfließen.

Im Rahmen eines Ölfilterwechsels, d. h. vor Einbau des neuen Filtereinsatzes, muss der korrekte Sitz des Spannbügels geprüft und ggf. hergestellt werden. Dichtet der Spannbügel nicht richtig ab, kann kein Öldruck aufgebaut werden.



626_127

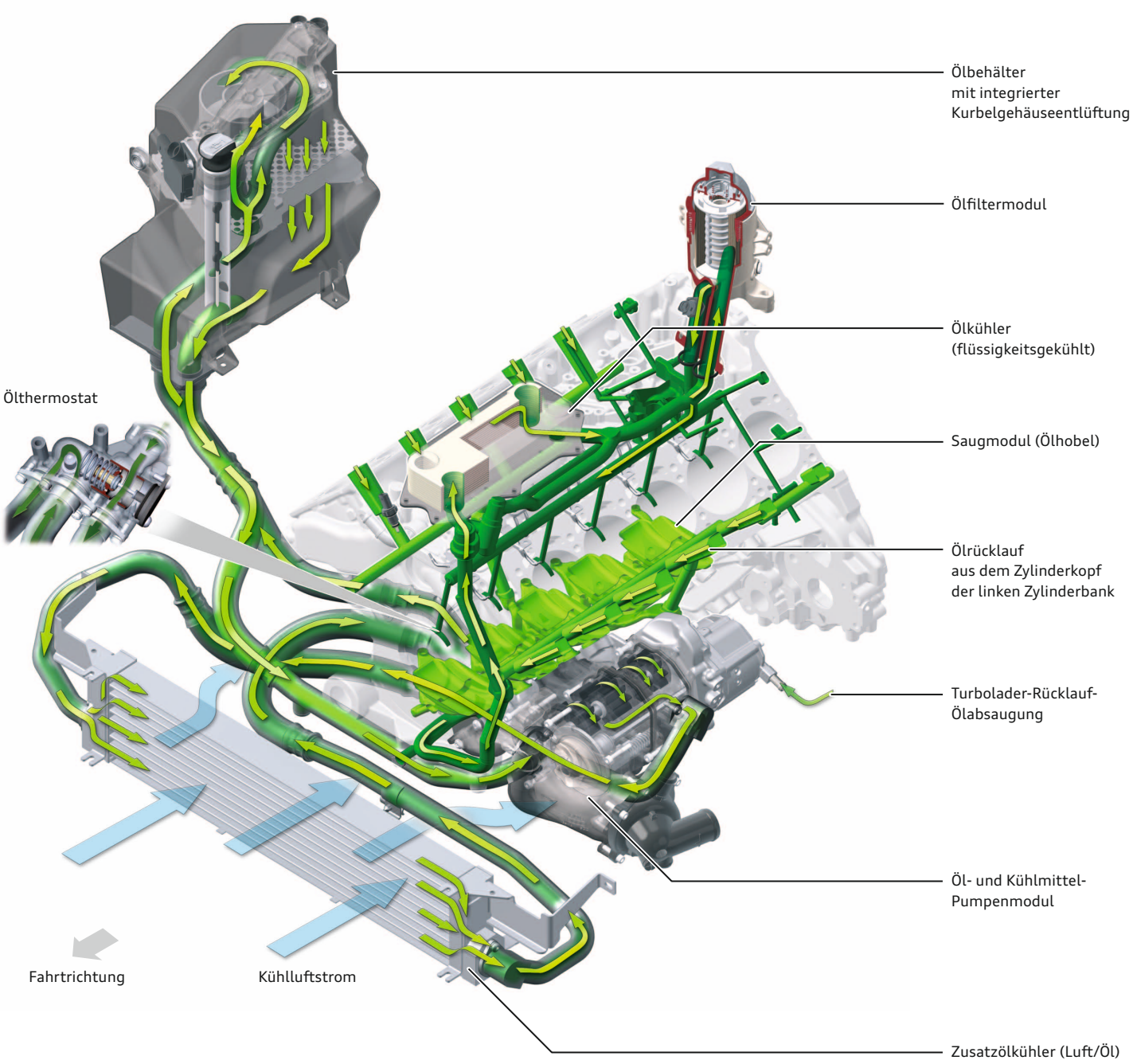
Hinweis
Beachten Sie bei einem Ölwechsel die Hinweise zum Aus- und Einbauen des Ölfiltereinsatzes im Reparaturleitfaden, insbesondere zum Umgang mit dem Spannbügel.

Trockensumpfschmierung (beispielhaft am 5,0l-V10-TFSI-Motor im Audi RS6, Typ 4F)

Um Motor in sportlichen Fahrzeugen in allen Fahrsituationen und bei hohen Kurvengeschwindigkeiten sicher mit Drucköl versorgen zu können, kommt eine Trockensumpfschmierung zum Einsatz. Ein Motor mit Trockensumpfschmierung besitzt anstelle einer Ölwanne ein Saugmodul, durch das das gesamte zurücklaufende Öl aus den Lagern, den Zylinderköpfen und dem Kettenkasten abgesaugt wird.

Das abgesaugte Öl gelangt mithilfe des Ölpumpenmoduls über ein Ölthermostat in den Ölbehälter. Von dort wird das Öl wieder abgesaugt und vom Ölpumpenmodul unter Druck in den Motorölkreislauf gepumpt. Je nach Stellung des Ölthermostaten wird das Öl auf dem Weg zum Ölbehälter, entweder direkt oder über den Zusatzölkühler (Luft/Öl), gefördert. Bei einem Ölwechsel ist darauf zu achten, dass alle Ölablass-Schrauben geöffnet werden.

Systemübersicht



626_129

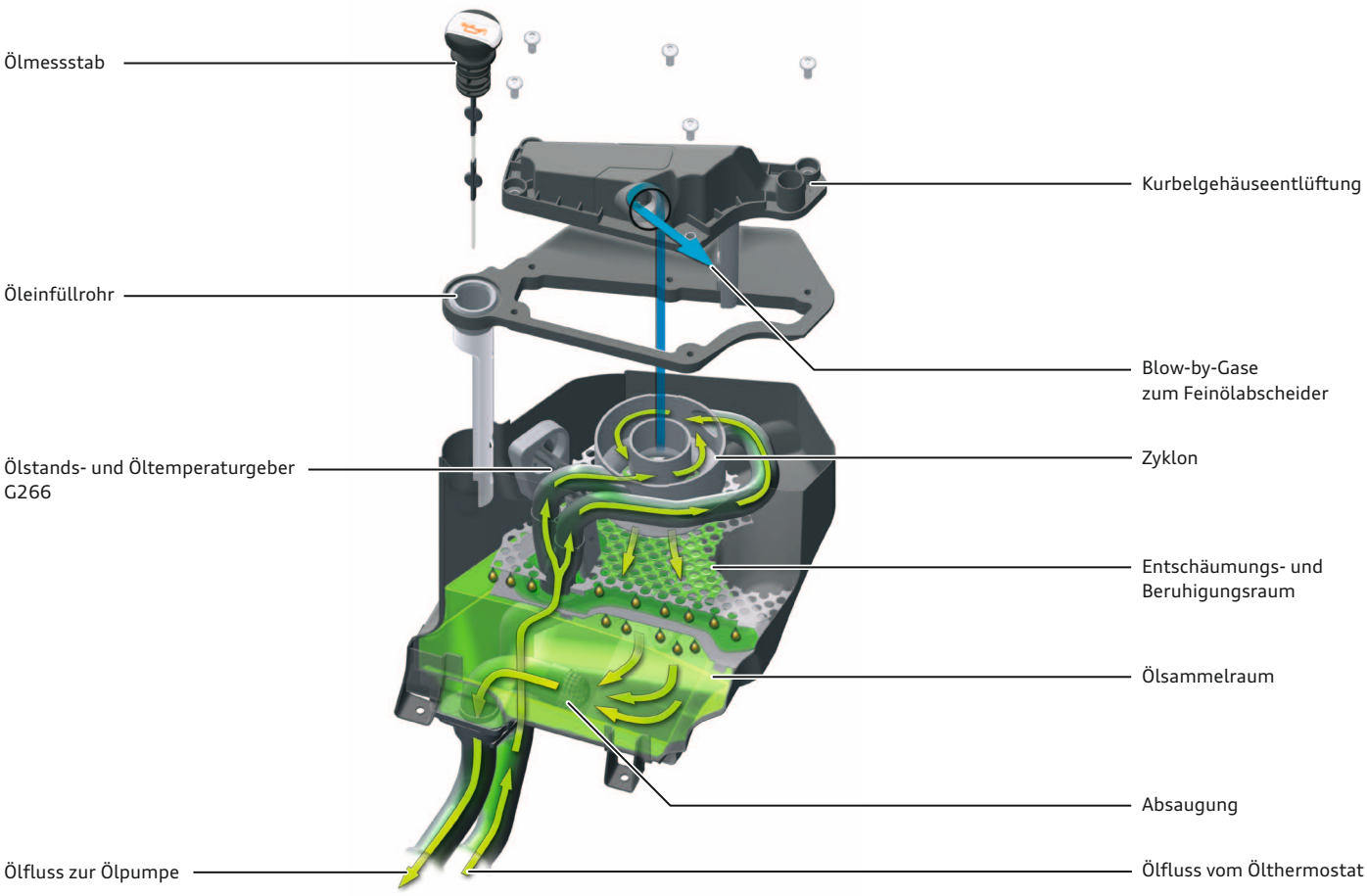
Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Funktion der Trockensumpfschmierung.

Ölbehälter

Das Öl, welches vom Ölpumpenmodul in den Ölbehälter gefördert wird, gelangt im Ölbehälter in ein 2-flutiges Ölrohr, welches in einem Zyklon mündet. Durch das Einleiten des Öls in den Zyklon wird es in Rotation versetzt und gleichzeitig entgast. Beim Abfließen des Öls im Ölbehälter gelangt es über Schwallbleche, wobei das Öl entschäumt und beruhigt wird.

Die aufsteigenden Blow-by-Gase gelangen im oberen Teil des Ölbehälters in den Ölabscheider. Im Ölbehälter sind das Öleinfüllrohr, der Ölmessstab und der Ölstands- und Öltemperaturgeber G266 verbaut.

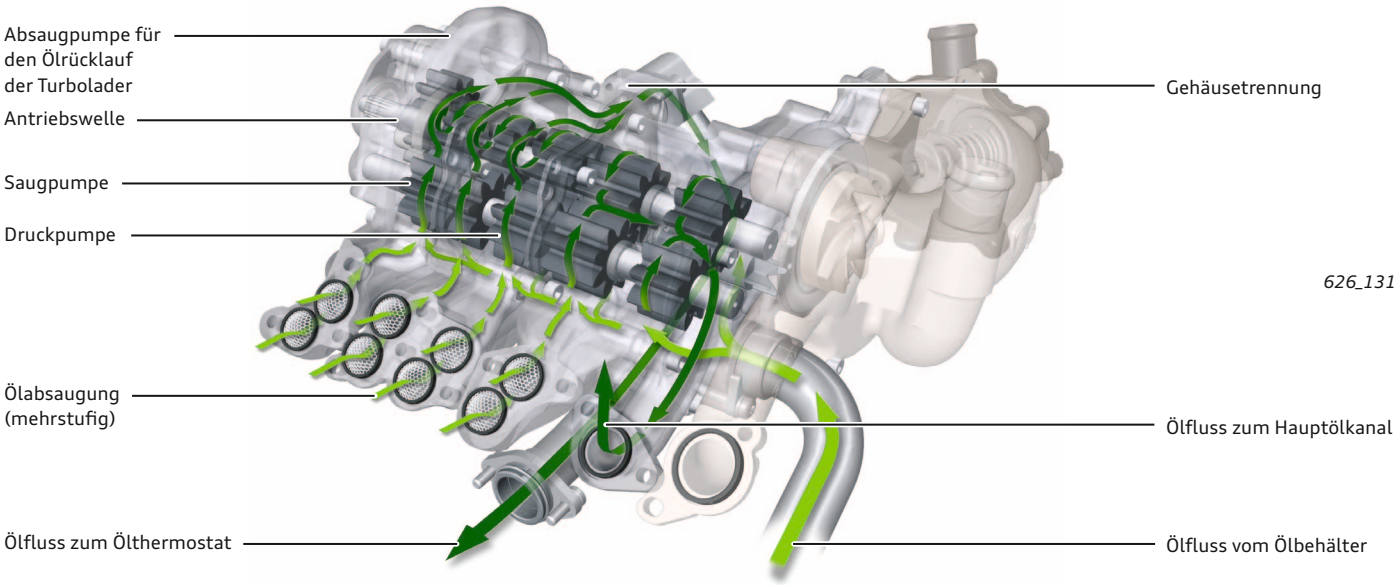


626_130

Ölpumpenmodul

Das Ölpumpenmodul ist außerhalb des Motors verbaut und wird über den Kettentrieb angetrieben. Es besteht aus der Saug- und Förderpumpe für das Füllen des Ölbehälters, der Saug- und Druckpumpe für den Ölhaushalt des Motors und der Absaugpumpe für das Turbolader-Rücklauföl. Die Ölpumpe bildet im Verbund mit der Kühlmittelpumpe eine Einheit.

In der Saugpumpe wird über das Saugmodul das von den Schmierstellen zurückfließende Öl abgesaugt und in den Ölbehälter gefördert. In der Druckpumpe wird das gekühlte Öl aus dem Ölbehälter abgesaugt und in den Motorölkreislauf gepumpt.



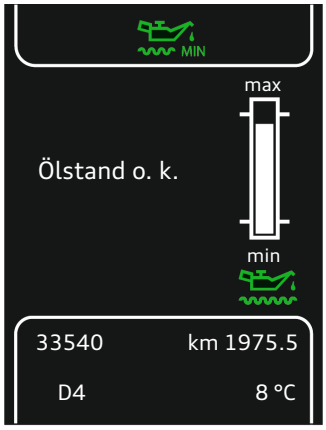
626_131

Ölstandserkennung bei neueren Audi Fahrzeugen (beispielhaft am Audi A4, Typ 8K)

Die elektronischen Ölstandsanzeige wurde erstmals im Audi A4 (Typ 8K) eingesetzt und hat seitdem Einzug in vielen weiteren Fahrzeugen von Audi gehalten. Der Kunde bekommt damit alle erforderlichen Informationen im Kombiinstrument bzw. im Car Menü des MMI angezeigt.

Der Ölmessstab entfällt mit Einsatz der Elektronischen Ölstandsanzeige. Für die Werkstätten wurde ein Prüfgerät für Ölstandsanzeige T40178 entwickelt. Die genaue Vorgehensweise zum Prüfen des Ölstands entnehmen Sie bitte aus ELSA (Instandhaltung Genau Genommen) und der Bedienungsanleitung des Fahrzeugs.

Mögliche Anzeigen im Kombiinstrument



626_135



626_134



626_136



626_137

Elektronische Ölstandsanzeige

Zur Berechnung des Ölstands kommen 2 Messmethoden zur Anwendung.
Die dynamische Messung erfolgt während der Fahrt. Wichtige Messfaktoren hierbei sind:

- Motordrehzahl
- Längs- und Querbeschleunigung vom ESP-Steuergerät
- Motorhaubenkontakt (Haube muss geschlossen sein.)
- Motortemperatur (Motor soll Betriebstemperatur haben.)
- Fahrzyklus nach letztem Haubenkontakt >50 km
- Innerhalb des Fahrzyklus muss eine bestimmte Anzahl an Messwerten vorliegen.

Die dynamische Messung ist die genauere und wird hauptsächlich herangezogen. Sie kann aber nicht immer angewendet werden.
Die Messung wird unterbrochen bei:

- Beschleunigungswerten über 3 m/s²
- Öltemperatur >140 °C
- Kontaktschalter für Motorhaube F266 wurde betätigt.

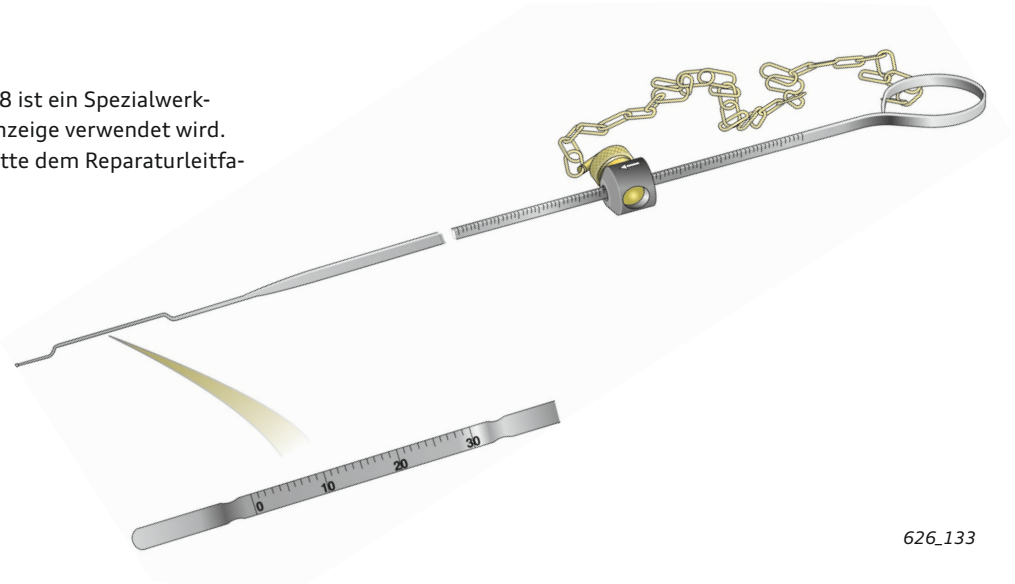
Die statische Messung erfolgt bei:

- Zündung „Ein“ (Um hier möglichst schnell ein Messergebnis zu bekommen, wird der Messvorgang bereits schon mit der Öffnung der Fahrertür eingeleitet.)
- Motoröltemperatur >40 °C
- Motorstillstand länger als 60 Sekunden

Bei der statischen Messung werden zusätzlich die Beschleunigungswerte vom ESP berücksichtigt (schief stehendes Fahrzeug). Weiterhin wird hier das Signal der Parkbremse mit verwendet.
Bei Füllständen, die zu einer Schädigung des Motors führen könnten, erfolgt eine Unterfüll- oder Überfüllwarnung.

Prüfgerät für Ölstandsanzeige T40178

Das Prüfgerät für Ölstandsanzeige T40178 ist ein Spezialwerkzeug, das zur Überprüfung der Ölstandsanzeige verwendet wird. Die genaue Anwendung entnehmen Sie bitte dem Reparaturleitfaden.

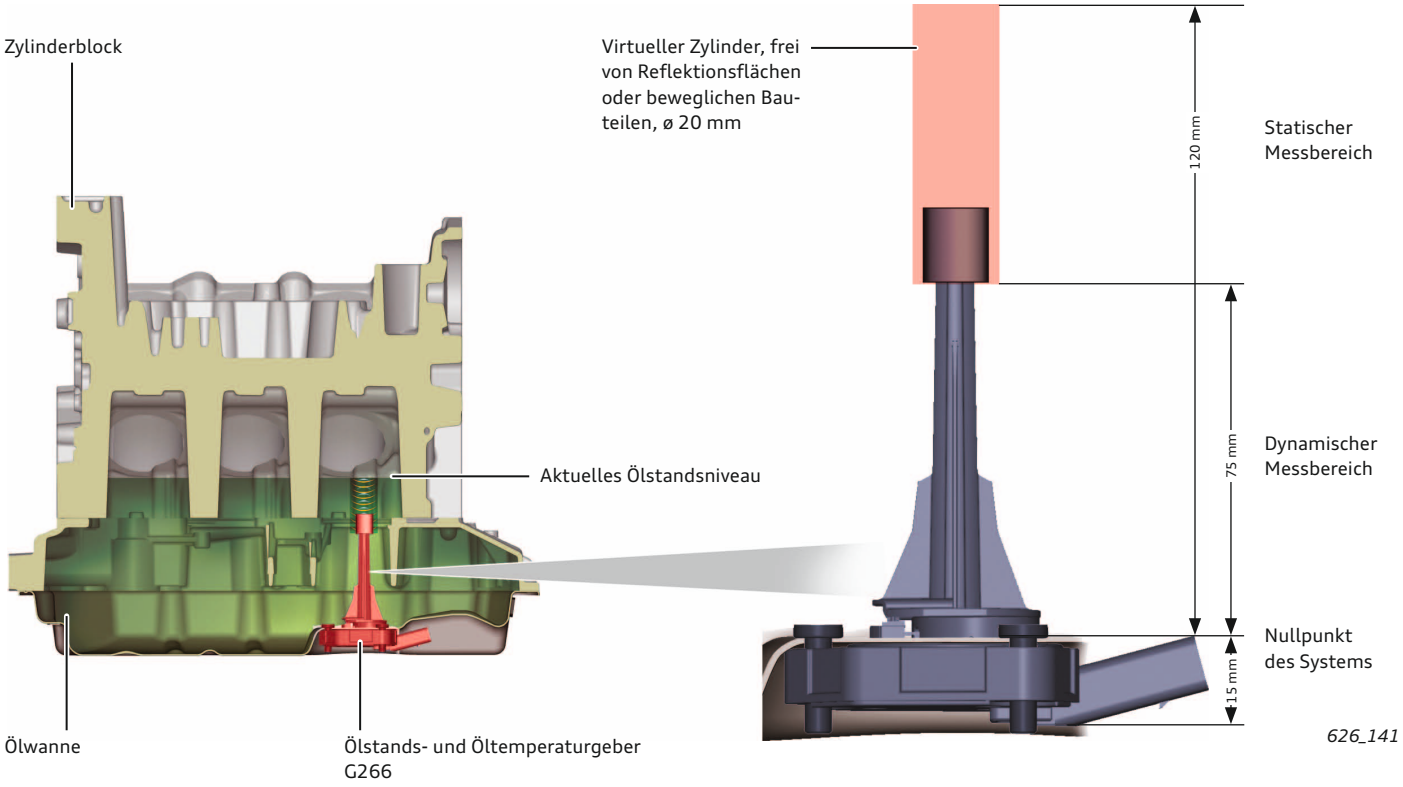


626_133

Ölstands- und Öltemperaturgeber G266 (Ölstandssensor PULS)

Der Sensor ist in der Ölwanne verschraubt und arbeitet nach dem Ultraschallprinzip. Die Abkürzung PULS steht für „Packaged Ultrasonic Level Sensor“.
Die ausgesendeten Ultraschallimpulse werden von der Grenzschicht Öl-Luft reflektiert. Aus dem Zeitunterschied zwischen dem ausgesendeten und dem zurückkommenden Impuls wird unter Berücksichtigung der Schallgeschwindigkeit der aktuelle Ölstand ermittelt.

Der Ölstandssensor PULS bildet die Basis für eine realistisch berechnende Ölstandsanzeige mit ausschließlicher Prüfmöglichkeit des Ölstands über die Anzeige im Kombiinstrument oder im MMI. Ersteinsatz des Systems war im Audi A5 (Typ 8T) mit 3,2l-FSI-Motor. Der bis dahin verwendete Ölmessstab entfällt.



Ölwechsel bei neueren Audi Fahrzeugen, beispielhaft am Audi A4 (Typ 8K)

Laut Servicevorgabe ist das Motoröl im Rahmen einer Inspektion abzusaugen. Der entsprechende Arbeitsumfang wurde in den Vorgaben zu den Arbeitszeiten berücksichtigt.

Öl absaugen

Ein Unterdruck im Kessel des Ölabsauggeräts wird durch eine Saugstrahlpumpe und eine Druckluftleitung erreicht. Es stehen Absaugsonden mit verschiedenen Durchmessern (5 – 8 mm) zur Verfügung. Um ein vollständiges Absaugen des Motoröls zu ermöglichen, wurde ein spezielles Kunststoffteil am unteren Ende des Ölabsaugrohrs als Führung für die Absaugsonde verbaut, siehe Abbildung. Somit kann die Absaugsonde bis zum Boden der Ölwanne geführt werden.

Weiterhin befindet sich bei einigen Motoren im Boden der Ölwanne eine Führungsrinne für die Absaugsonde. Die Absaugsonde wird durch die Führungsrinne zur tiefsten Stelle der Ölwanne geführt.



Hinweis
Bei einem Ölwechsel unbedingt die Hinweise, ob das Öl abgesaugt werden darf, in Instandhaltung genau genommen beachten.

Motorenöle

Innerhalb eines Motors gibt es große Temperaturunterschiede. Daraus darf keinesfalls ein Abreißen des Schmierfilms resultieren. Weitere chemische und mechanische Beanspruchungen aber auch eine Ölverdünnung durch Kraftstoff führen zur Alterung und Verschmutzung des Schmiermittels und damit zu einer verminderten Schmierfähigkeit.

Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Eigenschaften eines Motorenöls.

Bestandteile von Motorenöl

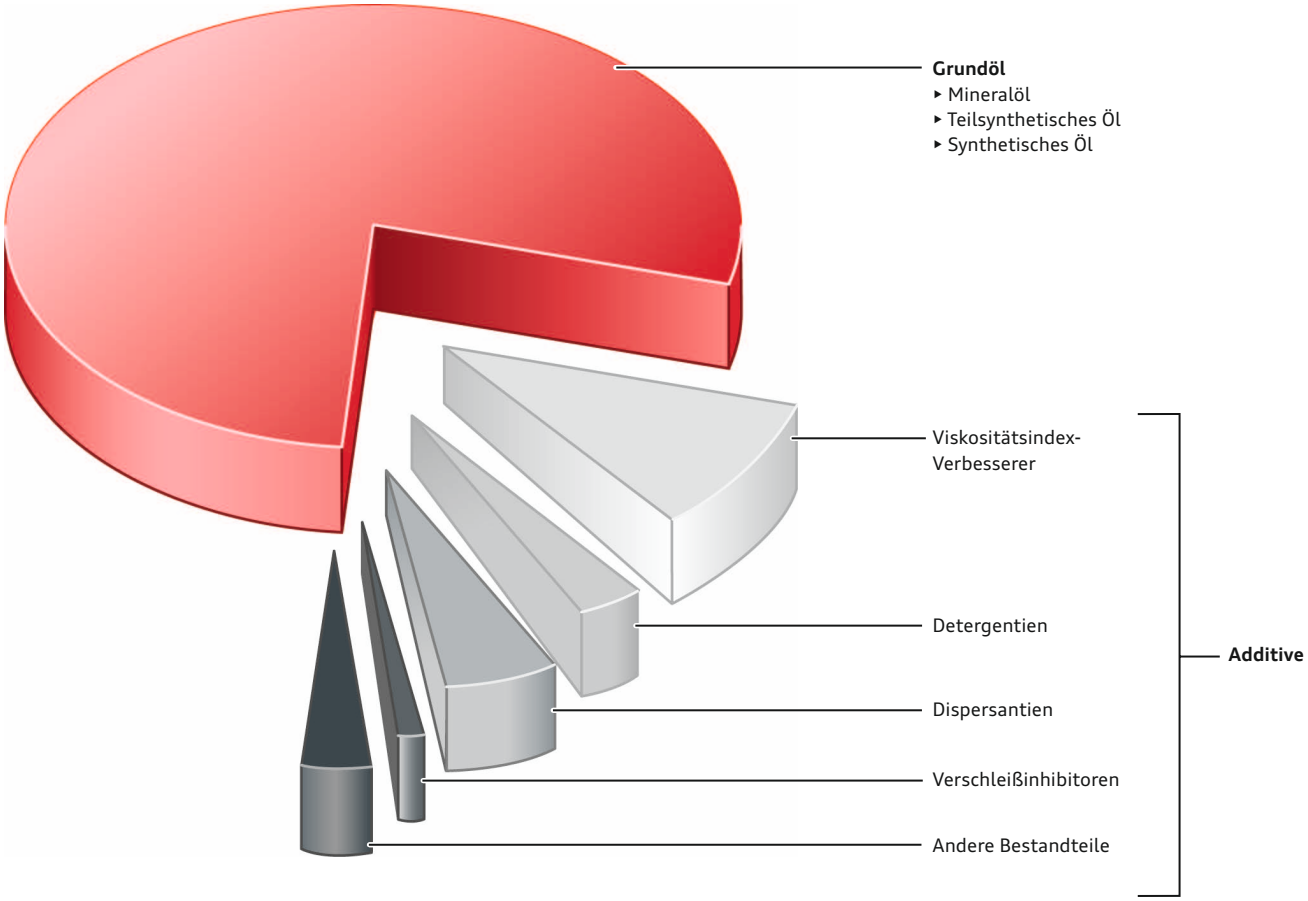
Moderne Schmierstoffe bestehen aus einem hohen Anteil Grundöl und Additiven. Grundöle lassen sich in 3 Hauptgruppen einteilen:

- **Mineralöle:** Mineralöle sind nichts anderes, als eine Vielzahl von Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Sie entstehen durch die Destillation des Ausgangsstoffs Erdöl. Ein charakteristisches Merkmal ist die unregelmäßige Anordnung der Kohlenwasserstoff-Moleküle.
- **Teilsynthetische Öle:** Die 2. Gruppe bilden teilsynthetische Öle. Vereinfacht gesagt, handelt es sich um veredelte Mineralöle mit entsprechend besseren Eigenschaften.
- **Synthetische Öle:** Die synthetischen Öle werden aus Rohbenzin hergestellt. In ihnen entstehen, anders als beim mineralischen Grundöl, regelmäßig angeordnete Molekülketten.

Additive

Zur Verbesserung der Betriebseigenschaften werden Grundöle mit öllöslichen Zusätzen und Wirkstoffen versehen, sogenannten Additiven, so z. B.:

- Detergentien, die als Schmutzlöser wirken.
- Dispersantien, die Teilchen in der Schwebe halten.
- Viskositätsindex-Verbesserer
- Verschleißinhibitoren, bewirken Verschleißschutz.
- Oxidationsinhibitoren, bewirken Alterungsschutz.
- Korrosionsinhibitoren, bewirken Korrosionsschutz.



626_096

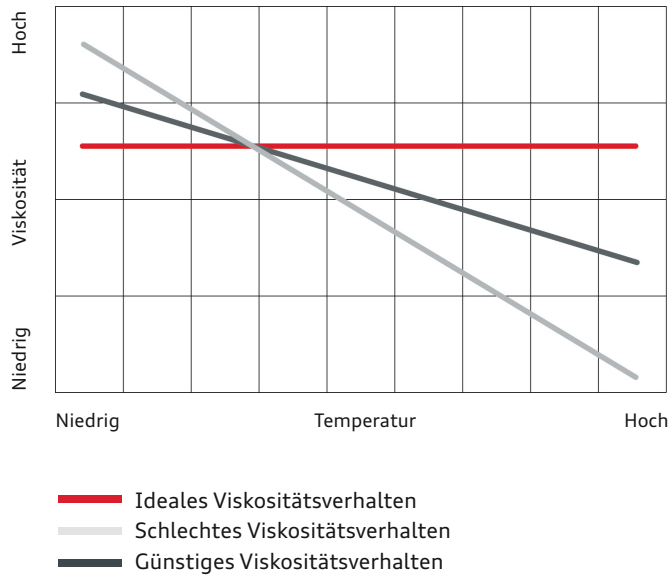
Viskosität

Wichtigstes Merkmal aller Grundöle ist die Viskosität, die angibt, wie zähflüssig ein Öl ist. Die Viskosität wird von der Temperatur bestimmt. Das heißt, bei niedriger Temperatur ist das Öl zähflüssig und bei hoher Temperatur dünnflüssig. Eine genaue Aussage dazu lässt sich mit dem Viskositätsindex treffen. Er gibt an, welches Fließverhalten ein Öl bei unterschiedlichen Temperaturen aufweist. In einem speziellen Viskosimeter wird die Viskosität eines Öls ermittelt. Der Viskositätsindex ist hingegen ein rechnerisch ermittelter Zahlenwert.

In einem Viskositäts-Temperatur-Diagramm lässt sich recht gut erkennen, wie sich die Viskosität bei Temperaturänderung verhält. Der Zahlenwert sagt etwas über die Neigung der Kennlinien aus und ist umso größer, je flacher die Linie verläuft. Der Viskositätsindex wird zur Einstufung nach dem SAE-System herangezogen. Bei Mineralölen liegt der Viskositätsindex etwa bei 90 bis 100. Und synthetisch hergestellte Öle weisen dagegen einen deutlich höheren Index auf, der bei etwa 120 bis 150 liegt.

Viskositäts-Temperatur-Diagramm

Ein Öl mit konstanter Viskosität hat bei allen Temperaturen die gleiche Viskosität (rote Linie). Praktisch ist das nicht möglich.
Ein Öl mit schlechtem Viskositätsverhalten (hellgraue Kennlinie) ist bei Kälte dickflüssig und bei Hitze extrem dünnflüssig. Damit ist es nur in einem begrenzten Temperaturbereich einsetzbar, denn nur dort ist ein sicherer Schmierfilm gewährleistet.
Ein Öl mit günstigem Viskositätsverhalten (dunkelgraue Kennlinie) ist bei Kälte schneller an den Schmierstellen als ein Öl mit schlechtem Viskositätsverhalten. Und auch bei hohen Temperaturen bildet es noch einen sicheren Schmierfilm.



626_098

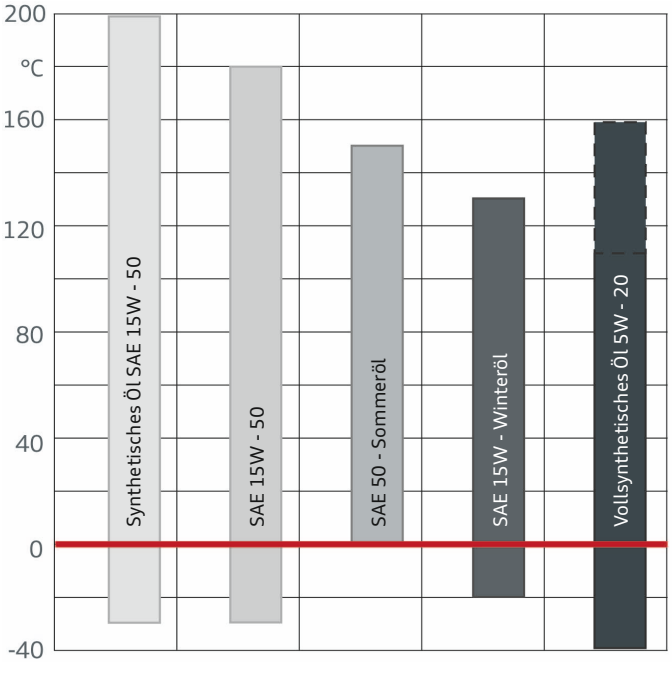
Viskositätsindex

- ***Synthetische Öle:*** 120 – 150
- ***Mineralöle:*** 90 – 100

SAE-System

Die Viskosität war Basis für die erste Klassifikation nach dem SAE-System (SAE = Society of Automotive Engineers). Sie erleichtert die Auswahl von Motor- und Getriebeölen für die verschiedenen Temperaturbereiche. So gibt es spezielle Einbereichsöle, z. B. ein Winteröl – SAE 15W und ein Sommeröl – SAE 50.

Die Einteilung in SAE-Viskositätsklassen beginnt bei 0W und endet bei 60. Da Motorenöle unabhängig von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen verwendet werden, ist ihre Kennzeichnung 2-geteilt. Dies sind die sogenannten Mehrbereichsöle, die gleich mehrere Viskositätsklassen abdecken.
Die erste Zahl steht für das Kältefließverhalten im Winter, deshalb ist sie mit einem „W“ gekennzeichnet. Je niedriger diese Zahl ausfällt, desto besser ist das Kälteverhalten des Öls.
Die andere Zahl charakterisiert die Mindestviskosität bei 100 °C, also bei hoher mechanischer Beanspruchung, so zum Beispiel im Hochdrehzahl-Bereich. Je höher diese Kennzahl, desto dickflüssiger ist das Öl bei hohen Temperaturen.
Das SAE-System sagt kaum etwas über die Qualität aus, denn Viskosität ist nur eines von sehr vielen Qualitätsmerkmalen.



626_099

Ölnormen

In zahlreichen Motorölnormen sind die Eigenschaften eines Öls festgelegt. Weltweit verbreitet ist die amerikanische API-Klassifikation. In Europa legt der europäische Verband der Automobilhersteller (ACEA) die Qualitätsstandards fest. Er beschreibt die Mindestanforderungen für Motorenöle und gibt den weltweiten Standard vor. Doch inzwischen existieren noch weitere zum Teil recht spezifische Ölnormen.

Beispiele für Kriterien zur Festlegung von Motorölnormen:

- Oxidationsstabilität
- Verschleiß
- Hochtemperaturablagerungen
- Ölverbrauch
- Kraftstoffeinsparung

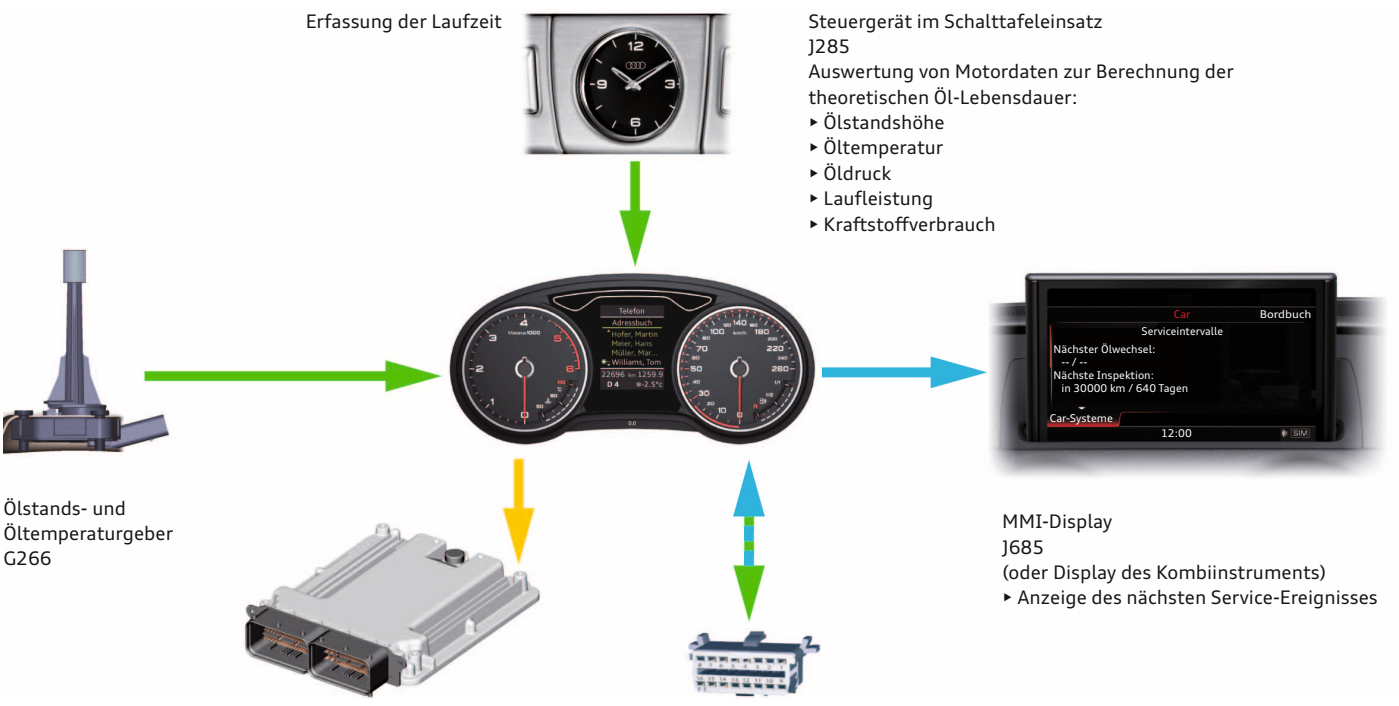
Flexible Wartungsintervalle

Viele Fahrzeugmodelle von Audi verfügen über flexible Wartungsintervalle mit Anzeige der nächsten Serviceereignisse. Dafür wertet ein Steuergerät verschiedene Motordaten aus und errechnet so eine theoretische Lebensdauer des Motorenöls.
Durch die längere Nutzungsdauer im Motor ist das Öl verstärkt Alterungserscheinungen ausgesetzt, wie zum Beispiel dem Eindicken oder der Ölschlammbildung. Besonders dünnflüssige, hoch additive Öle sollen das verhindern. Damit können diese Fahrzeuge wesentlich länger mit einer Ölfüllung betrieben werden.

Bei Wartungsarbeiten an solchen Fahrzeugen sind deshalb unbedingt die entsprechenden Fahrzeugdaten zu prüfen. Handelt es sich um ein Fahrzeug mit flexiblen Wartungsintervallen, dürfen nur die speziell dafür freigegebenen Ölsorten verwendet werden.

Ältere Fahrzeuge, die nicht für flexible Wartungsintervalle vorgesehen sind, dürfen nicht mit diesen Ölen befüllt werden, da Motorschäden auftreten könnten.

Ermittlung von Service-Ereignissen



626_103

Verweis
Hinweise zu aktuellen Motorölnormen und eine Liste der Ölhersteller sowie deren angebotene Ölsorten finden Sie im Audi Service Net (HSO Kapitel 6.2).

Teilsysteme

Kurbelgehäuseentlüftung

Während des Motorbetriebs kommt es aufgrund von Leckageströmungen an den Kolbenringen dazu, dass geringe Mengen von Gasen zwischen Kolben und Zylinderwand in den Zylinderblock gelangen.

Diese sogenannten Blow-by-Gase strömen an den Kolbenringen vorbei nach unten. Deshalb ist es notwendig, dass sie aus dem Zylinderblock abgesaugt und der Verbrennung zugeführt werden. Diese Aufgabe übernimmt eine Kurbelgehäuseentlüftung.

Grundsätzliche Funktionsweise

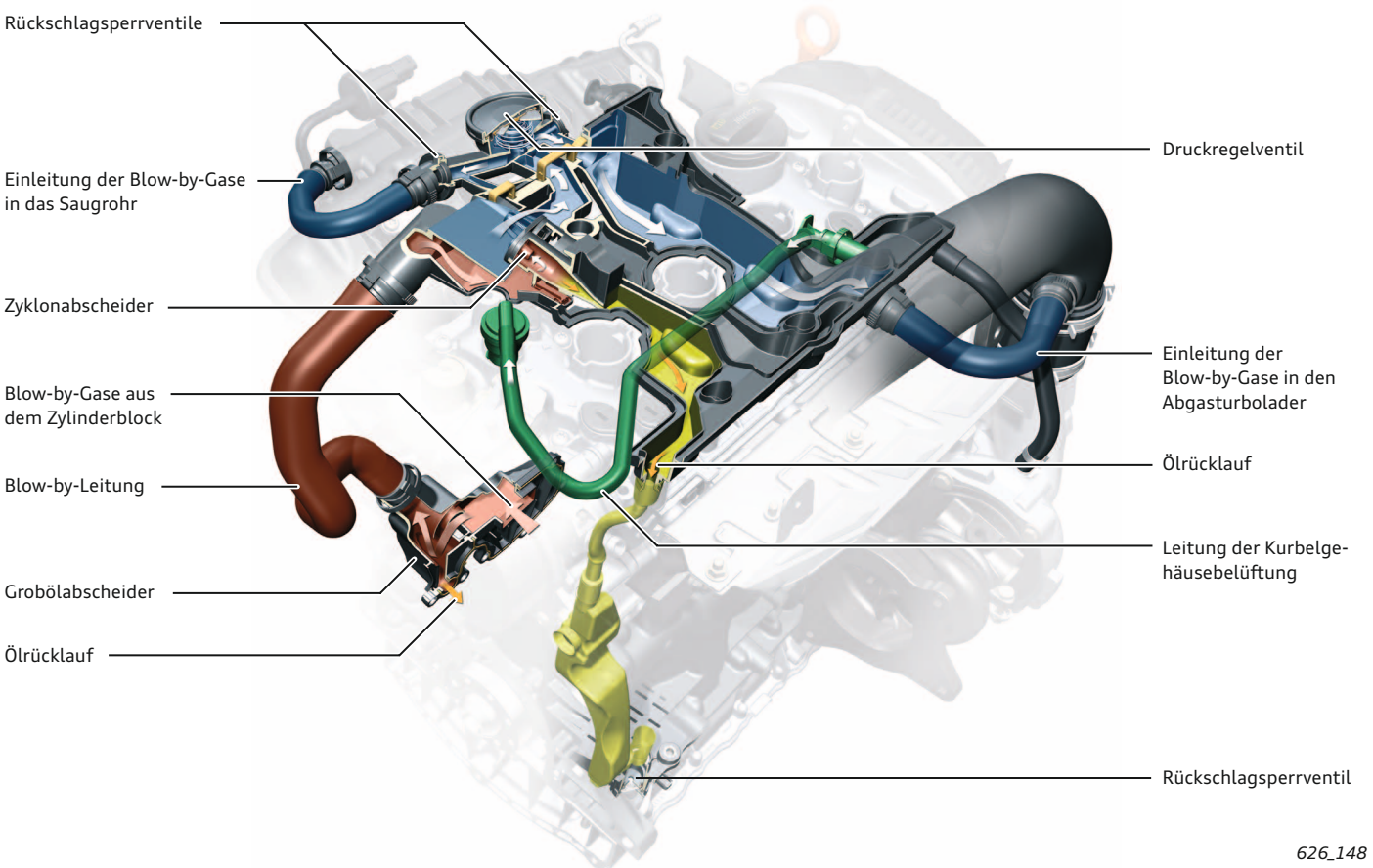
Über eine Leitung werden die Blow-by-Gase aus dem Zylinderblock abgesaugt. Dazu nutzt man den Unterdruck im Ansaugrohr. Im Verlauf der Leitung ist ein Grobölabscheider integriert. Er trennt die flüssigen Bestandteile von den gasförmigen. Das so abgeschiedene Öl wird aufgefangen und fließt über einen Rücklauf direkt zurück in die Ölwanne.

Das nun vorgereinigte Gas wird in einen Feinölabscheider geleitet. Dort werden noch vorhandene feinste Ölpartikel angeschieden und der Ölwanne zugeführt. Gasförmige Bestandteile werden über das Ansaugrohr direkt in die Brennräume eingeleitet und verbrannt. Die benötigte Frischluft wird dem System über die Kurbelgehäusebelüftung (PCV) zugeführt.

Aufbau und Funktion (beispielhaft am 1,8l-TFSI-Motor, EA888)

Beim EA888 wird die Kurbelgehäuseentlüftung über den Motorblock realisiert. Dafür ist unterhalb der Kühlmittelpumpe ein Ölabscheider verbaut, in welchem die Blow-by-Gase durch ein Labyrinth geleitet werden. Dieser Grobölabscheider arbeitet in 2 Abscheidestufen nach dem Prallplattenprinzip. Das abgeschiedene Öl wird über Ölrückläufe in die Ölwanne zurückgeleitet. Das nun vorgereinigte Gas wird zur Designabdeckung des Motors geleitet, wo sich ein Feinölabscheider befindet. Dieser ist als einstufiger Zyklonabscheider mit parallel geschaltetem Bypassventil ausgeführt und filtert die noch vorhandenen feinsten Ölpartikel heraus. Das so abgeschiedene Öl wird in den Zylinderkopf geleitet.

Durch den Ölrücklaufkanal des Motors wird das ablaufende Motoröl in die Ölwanne eingeleitet. Um ein Ansaugen des Motoröls zu vermeiden, ist in der Ölwanne ein Rückschlagventil verbaut. Das gereinigte Blow-by-Gas wird nun in das 2-stufige Druckregelventil geleitet. Dadurch wird verhindert, dass zu großer Unterdruck im Zylinderblock entsteht. Das Druckregelventil ist zusammen mit 2 Rückschlagsperrventilen in einem Gehäuse verbaut. Diese regeln das Absaugen der gereinigten Gase im Ansaugbereich. Herrscht Unterdruck im Saugrohr, werden die Blow-by-Gase direkt in das Saugrohr gesaugt. Ist Ladedruck vorhanden, werden die Blow-by-Gase in den Abgasturbolader eingeleitet.



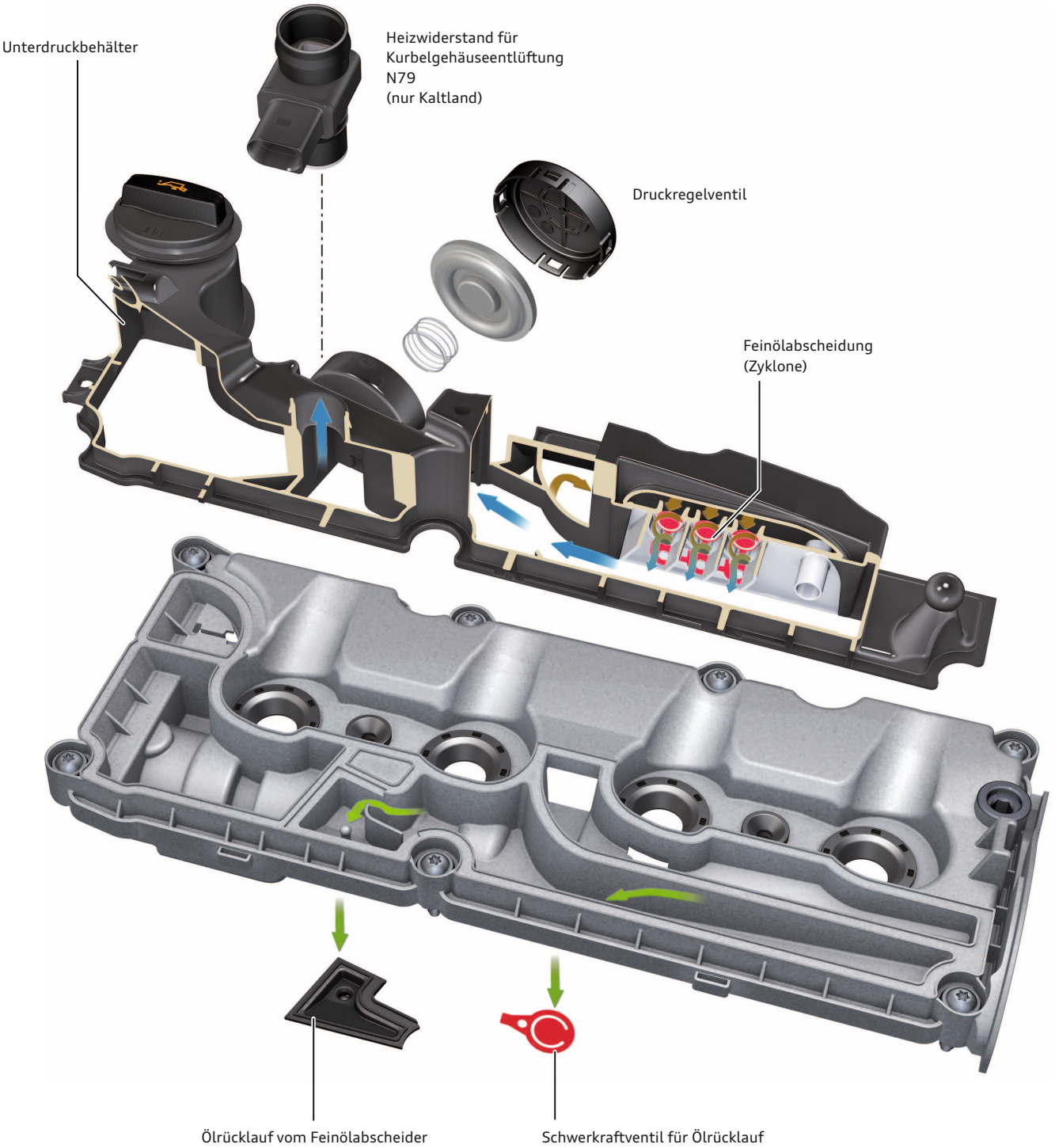
626_148

Aufbau und Funktion (beispielhaft am 2,0l-TDI-Motor, EA288)

Die Zylinderkopfhaube ist ein aus Polyamid gefertigtes Bauteil. Die wesentliche Aufgabe besteht darin, die Abdichtung des Zylinderkopfs herzustellen und den Unterdruckbehälter zu integrieren.

Daneben sind weitere Funktionen wie die Grob- und Feinölabscheidung aus den Blow-by-Gasen sowie der Druckregelung im Zylinderkurbelgehäuse integriert. Die Blow-by-Gase gelangen vom Kurbelraum über kleine Öffnungen in den Grobölabscheider, um von dort in die Zyklone einzuströmen.

Dort erfolgt die Feinölabscheidung. Nach den Zyklonen gelangen die Blow-by-Gase zum Druckregelventil. Anschließend werden sie über das Saugrohr der Verbrennung zugeführt.



626_247

Motorkühlsystem

Neben mechanischer Energie wandeln Verbrennungsmotoren einen erheblichen Teil der zugeführten Energie in Wärme um. Quellen für die Wärmeentwicklung ist in erster Linie der Verbrennungsprozess, aber auch innermotorische Reibung.
Um Bauteile vor erhöhtem Verschleiß und möglicher Zerstörung zu schützen, muss die Wärme vom Motor abgeführt werden. Das wird durch eine gezielte Kühlung realisiert, die auch einen direkten Einfluss auf folgende Betriebseigenschaften und somit auf die Wirtschaftlichkeit eines Motors hat:

- Zylinderfüllung
- Kraftstoffverbrauch
- Klopfneigung (nur Benzinmotor)
- Verdichtung

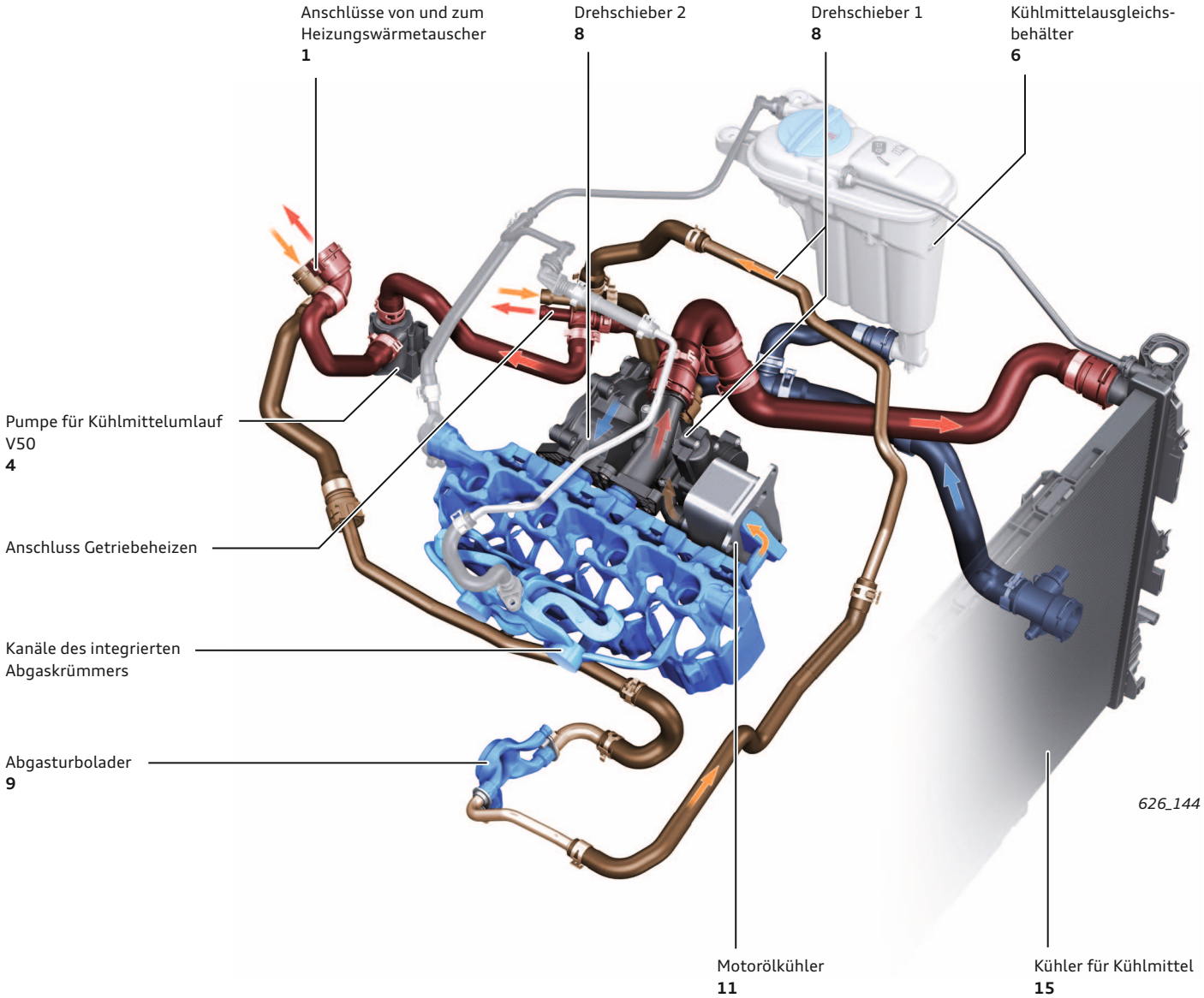
Daraus ergeben sich zahlreiche Anforderungen an ein Kühlsystem. So soll es leicht und kompakt sein, aber dennoch eine gute Kühlung bewirken. Zudem ist es wichtig, eine bedarfsgerechte Kühlung aller relevanten Bauteile sicher zu stellen.

Bauteile im Kühlkreislauf

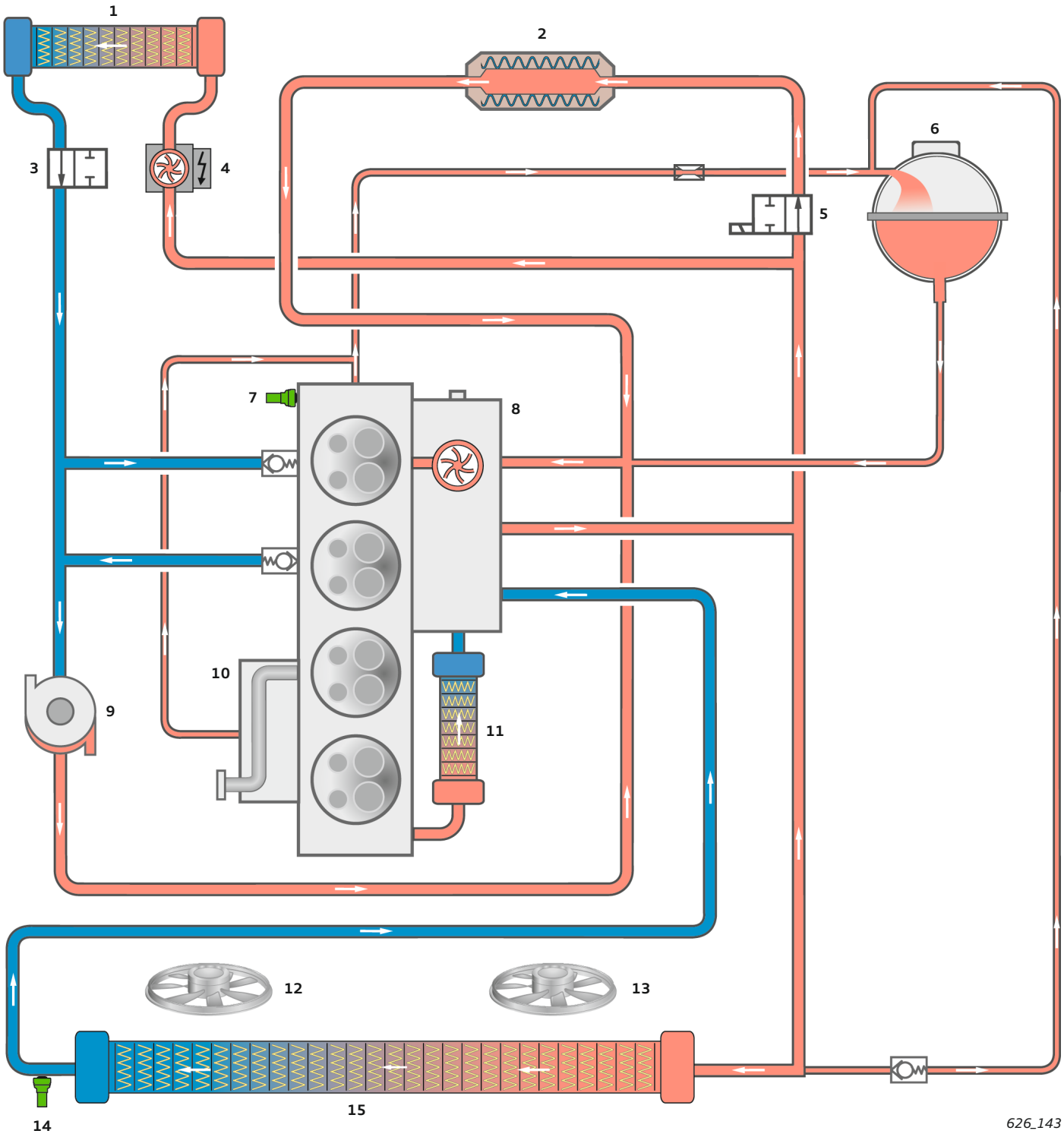
Die Abbildung zeigt beispielhaft den Aufbau eines Kühlkreislaufs mit seinen Bauteilen. Der Aufbau eines Kühlkreislaufs hängt wesentlich von folgenden Faktoren ab:

- Motorgröße und -bauart
- Art und Aufbau eines Aufladungssystems
- Zusatzausstattungen, wie z. B. Standheizung
- Fahrzeuggröße (Anzahl der Wärmetauscher)

Die Abbildung zeigt den Kühlkreislauf eines Fahrzeugs mit 1,8l-TFSI-Motor, EA888, Gen. 3 mit Schaltgetriebe und ohne Standheizung. Die Beschriftung in der Grafik ist zusätzlich mit Nummern der Legende auf der folgenden Seite versehen.



Systemübersicht



Abgekühltes Kühlmittel

Erwärmtes Kühlmittel

Legende:

1 Heizungswärmetauscher
2 Getriebeölkühler
3 Absperrventil für Kühlmittel der Climatronic N422
4 Pumpe für Kühlmittelumlauf V50
5 Kühlmittelventil für Getriebe N488
6 Kühlmittelausgleichsbehälter
7 Kühlmitteltemperaturgeber G62
8 Kühlmittelpumpe mit Stellelement für Motortemperaturregelung N493 (Drehschieber 1 und 2)
9 Abgasturbolader
10 Integrierter Abgaskrümmer (IAGK)
11 Motorölkühler
12 Kühlerlüfter V7
13 Kühlerlüfter 2 V177
14 Kühlmitteltemperaturgeber am Kühlerausgang G83
15 Kühler für Kühlmittel

2-Kreis-Kühlsystem

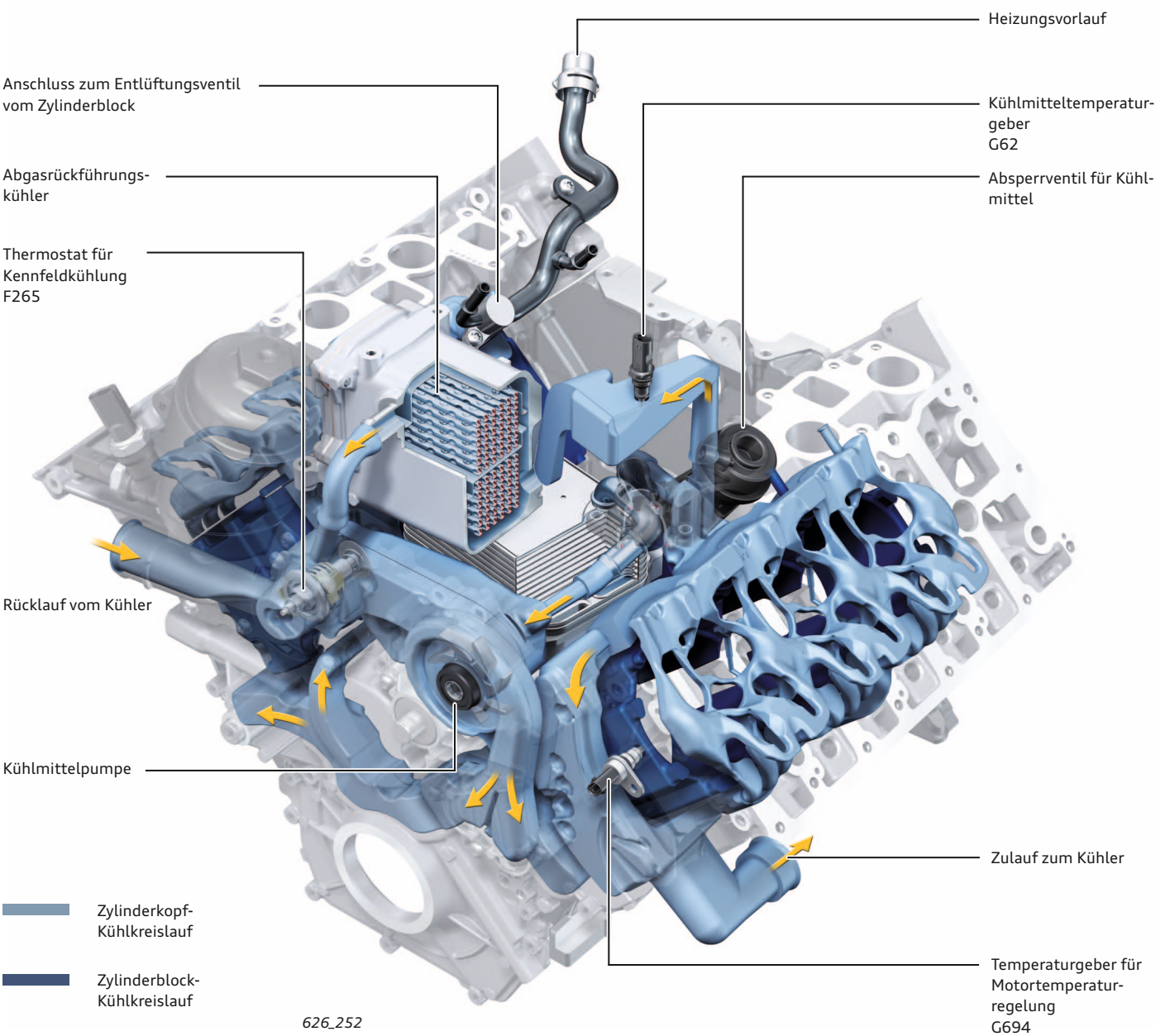
Um die Reibung im Motor und die Emissionen zu reduzieren, wurde das Kühlsystem konsequent weiterentwickelt. Eine Entwicklungsrichtung brachte Motoren hervor, bei dem der Motor über 2 voneinander unabhängige Kühlkreisläufe verfügt.

So ist der Kühlkreislauf des Audi V6-TDI-Motors als Split-Cooling-Konzept ausgeführt, d. h. der Zylinderblock und die Zylinderköpfe werden in 2 parallel geschalteten, getrennten Kühlkreisläufen durchströmt. Die stirnseitig im Innen-V positionierte kontinuierlich arbeitende Kühlmittelpumpe fördert das Kühlmittel im Zylinderblock jeweils auf die Auslassseiten des Aggregats. Dort teilt sich der Volumenstrom zu den Zylinderköpfen und zum Zylinderblock auf, um nach Durchströmen der beiden Teilkreisläufe zurück zur Saugseite der Kühlmittelpumpe zu strömen. Der Kühlmitteleintritt des Zylinderkopf-Kühlkreislaufs erfolgt auf den Auslassseiten der Zylinderbänke über jeweils ein Rückschlagventil. Die Rückschlagventile dienen zur Vermeidung von Kühlmittelrückströmungen zwischen den beiden Zylinderbänken und der damit verbundenen ungewollten Wärmeabfuhr aus dem Zylinderblock.

Zylinderblock-Kühlkreislauf
Zunächst wird der Zylinderblock-Kühlkreislauf über das im Kühlmittelaustritt positionierte, unterdruckgesteuerte Kugelventil abgesperrt und mit stehendem Kühlmittel betrieben, um so die Warmlaufphase des Motors zu verkürzen und die Reibleistung zu reduzieren. Nachdem der Motor durchgewärmt ist, wird das Temperaturniveau des Zylinderblock-Kühlkreislaufs mit Hilfe des unterdruckgesteuerten Kugelventils auf etwa 105 °C geregelt. Der Kurbeltrieb kann somit im reibleistungsoptimalen Temperaturbereich betrieben werden. Das Kugelventil wird dazu vom Kühlmittelventil für Zylinderkopf N489 Pulsweiten moduliert angesteuert (PWM).

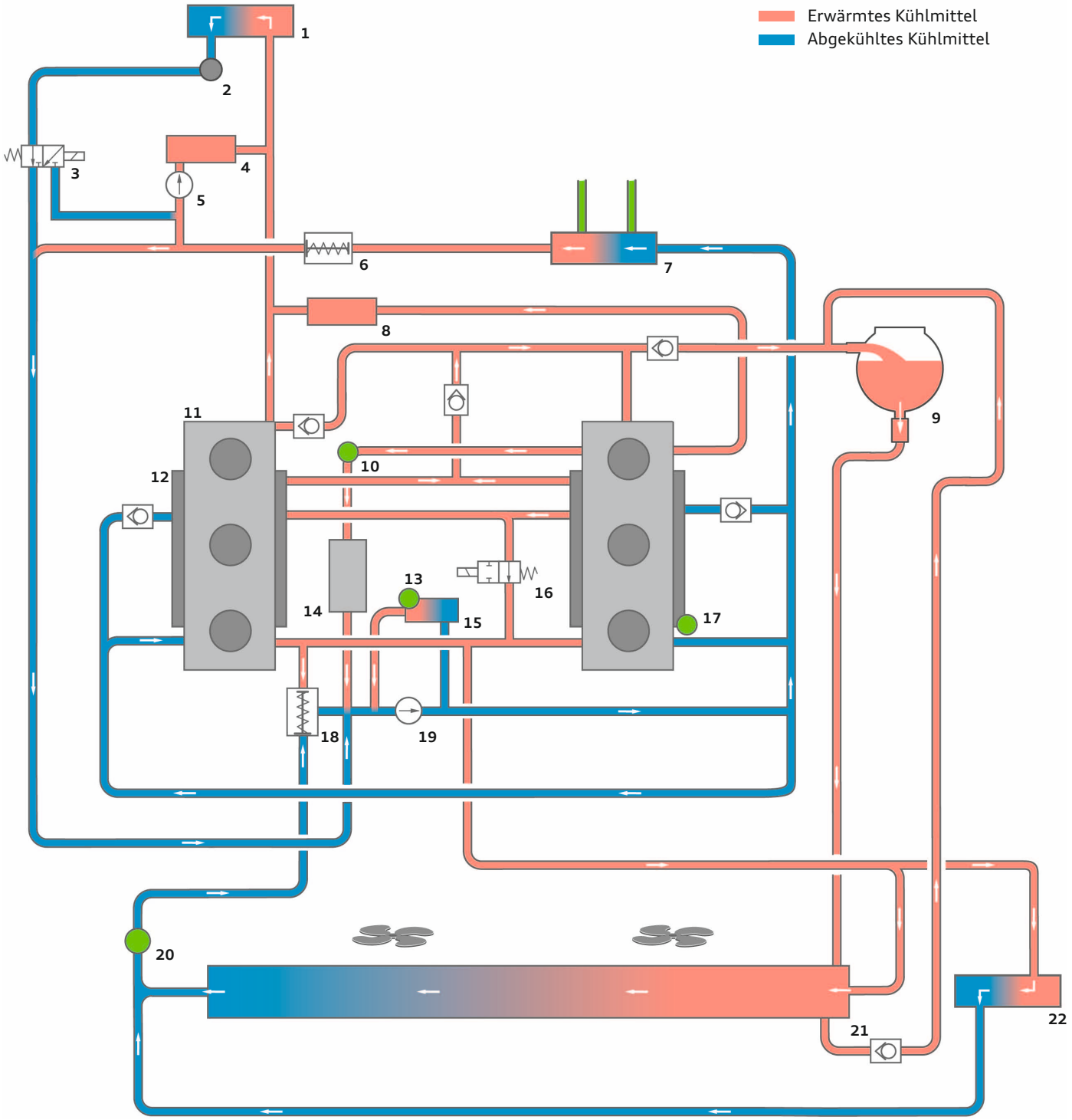
Zylinderkopf-Kühlkreislauf
Das Temperaturniveau des Zylinderkopf-Kühlkreislaufs wird mit Hilfe eines Kennfeldthermostaten mit beheizbarem Wachsdehnelement geregelt. Im Warmlauf ist das Thermostat unbestromt und öffnet ab 90 °C. So wird bis zur Erreichung dieser Temperatur keine Wärmeenergie an den Hauptwasserkühler abgegeben. Durch Bestromen des Thermostats für Kennfeldkühlung lässt sich das Temperaturniveau des Zylinderkopf-Kühlkreislaufs – im Rahmen der physikalischen Grenzen des Kühlers – absenken.

Bauteile am Motor (beispielhaft am 3,0l-V6-TDI-Motor)



626_252

Systemübersicht



626_253

Legende:

1	Heizungswärmetauscher
2	Entlüfterschraube
3	Absperrventil für Kühlmittel der Heizung N279
4	Zusatzheizung
5	Pumpe für Kühlmittelumlauf V50
6	Kühlmittelregler für ATF-Kühlung
7	ATF-Kühler
8	Abgasturbolader-Modul
9	Kühlmittelausgleichsbehälter
10	Kühlmitteltemperaturgeber G62
11	Zylinderkopf
12	Zylinderblock
13	Öltemperaturgeber G8
14	Kühler für Abgasrückführung
15	Motorölkühler
16	Absperrventil für Kühlmittel
17	Temperaturgeber für Motortemperaturregelung G694
18	Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung F265
19	Kühlmittelpumpe
20	Kühlmitteltemperaturgeber am Kühlerausgang G83
21	Kühler für Kühlmittel
22	Zusatzkühler für Kühlmittel

Kühlmittelpumpe

Im Kühlkreislauf eines flüssigkeitsgekühlten Verbrennungsmotors sorgt eine Kühlmittelpumpe für den Umlauf des Kühlmittels. Je nach Motor kommt eine Kühlmittelpumpe mit z. T. unterschiedlichen Pumpenrädern zum Einsatz. Zum Antrieb ist die Kühlmittelpumpe entweder in den Steuertrieb oder in den Riementrieb des Motors eingebunden, d. h. bei laufendem Motor fördern sie permanent Kühlmittel.

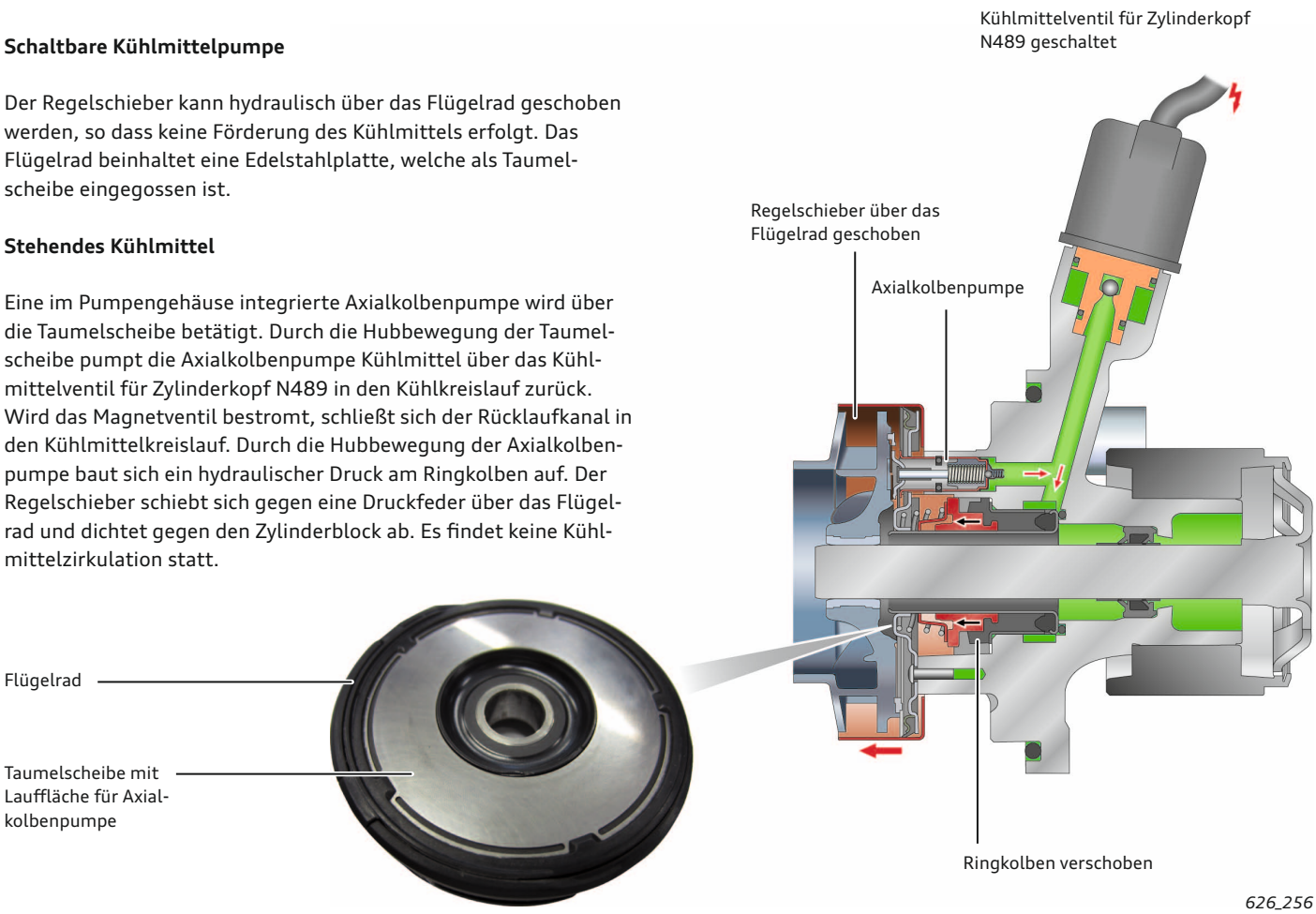
Bei einigen Motoren wird das Pumpenrad der Kühlmittelpumpe in bestimmten Betriebssituationen abgedeckt, um „stehendes Kühlmittel“ zu bewirken. Das führt nach dem Motorstart zu einer schnelleren Erwärmung in bestimmten Motorbereichen.

Schaltbare Kühlmittelpumpe

Der Regelschieber kann hydraulisch über das Flügelrad geschoben werden, so dass keine Förderung des Kühlmittels erfolgt. Das Flügelrad beinhaltet eine Edelstahlplatte, welche als Taumelscheibe eingegossen ist.

Stehendes Kühlmittel

Eine im Pumpengehäuse integrierte Axialkolbenpumpe wird über die Taumelscheibe betätigt. Durch die Hubbewegung der Taumelscheibe pumpt die Axialkolbenpumpe Kühlmittel über das Kühlmittelventil für Zylinderkopf N489 in den Kühlkreislauf zurück. Wird das Magnetventil bestromt, schließt sich der Rücklaufkanal in den Kühlmittelkreislauf. Durch die Hubbewegung der Axialkolbenpumpe baut sich ein hydraulischer Druck am Ringkolben auf. Der Regelschieber schiebt sich gegen eine Druckfeder über das Flügelrad und dichtet gegen den Zylinderblock ab. Es findet keine Kühlmittelzirkulation statt.



626_256

Kühlmittel zirkuliert

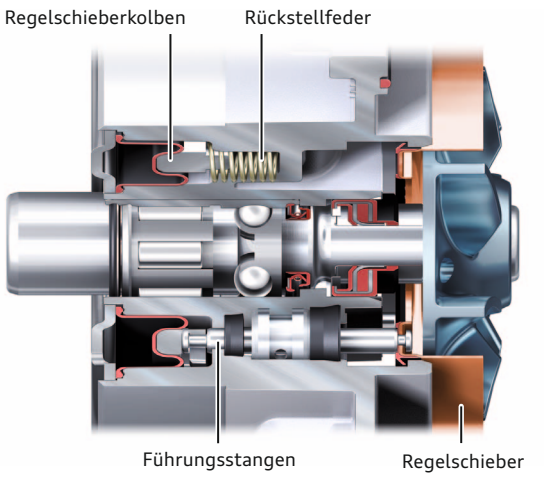
Wird das Magnetventil stromlos geschaltet, öffnet sich der Rücklaufkanal in den Kühlmittelkreislauf, der Ringkolben wird durch die Druckfeder zurückgeschoben und nimmt den Regelschieber in die Ausgangslage mit.

Das Flügelrad ist wieder frei und die Zirkulation des Kühlmittels beginnt. Die Axialkolbenpumpe ist bei Motorlauf immer in Funktion.

Bauart mit Unterdruckbestätigung

Durch das Evakuieren des Unterdruckraums wird eine Kraft auf den Regelschieberkolben ausgeübt. Dadurch wird über die Führungsstangen der Regelschieber, entgegen der Federkraft, über das Flügelrad am Zylinderblock gedrückt. Hiermit wird eine druckseitige Drosselung am Pumpenausgang erreicht. Durch die 3 Mal im Umfang angebrachten Rückstellfedern ist, im Falle von Problemen mit der Unterdruckversorgung, die volle Fördermenge sichergestellt.

Bei einer Kühlmitteltemperatur unter –20 °C erfolgt keine Ansteuerung der Pumpe, weil hier die Dichtungen und auch die Membrane beschädigt werden können. Es erfolgt auch keine Ansteuerung der Pumpe, wenn der Motor wieder gestartet wird.



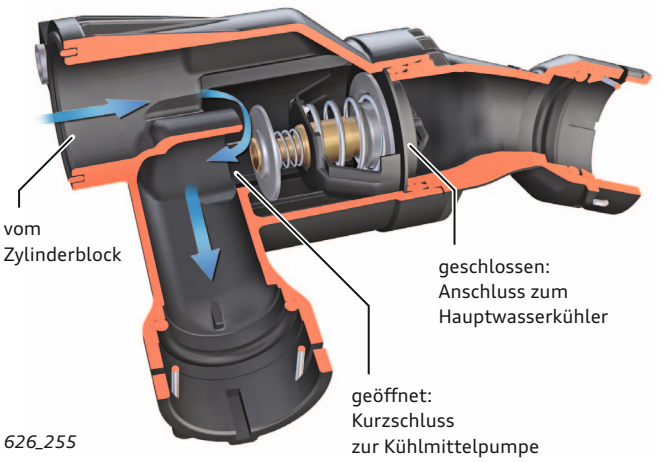
626_151

Kühlmittelregler als 3/2-Wegeventil

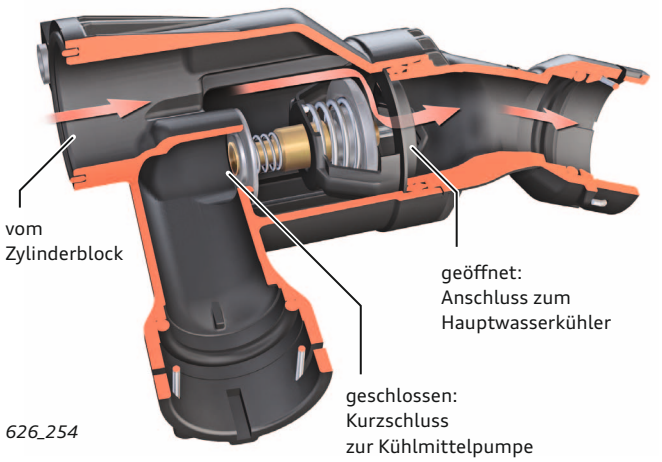
Der Kühlmittelregler, auch Thermostat genannt, enthält je nach Ausführung, 1 oder 2 Thermostate. Er wird über ein Wachsdehnelement betätigt.

Meist ist der Kühlmittelregler direkt am Motor montiert. In einigen Fällen ist zusätzlich der Kühlmittelregler in das Gehäuse der Kühlmittelpumpe integriert.

Kleiner Kühlkreislauf (Microkreislauf)



Großer Kühlkreislauf (Hochtemperatur-Kreislauf, geregelt)



Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung F265

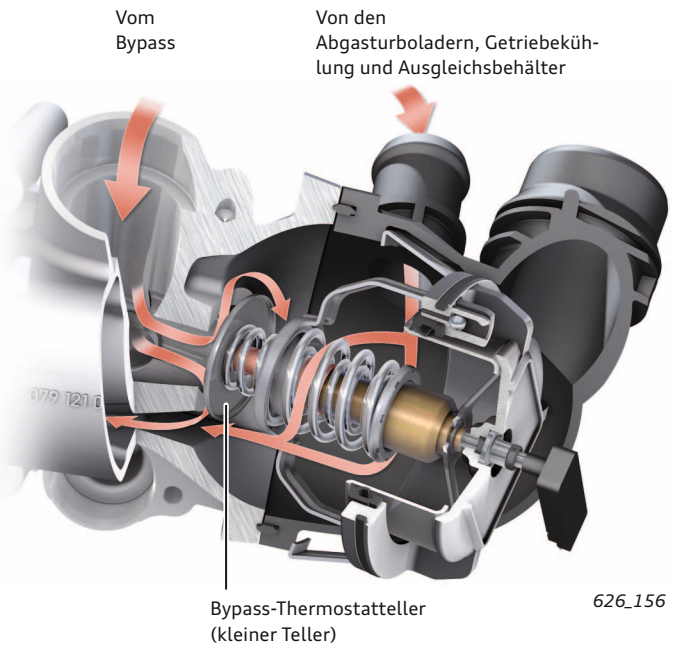
Zur Steigerung des Wirkungsgrads wird die Kühlmitteltemperatur nach einem Kennfeld elektronisch geregelt. Die Kühlmitteltemperatur-Regelung ist als System zu betrachten. Die Umsetzung der Kühlmittel-Solltemperatur erfolgt mithilfe des elektrisch beheizten Kühlmitteltemperatur-Reglers (Thermostat) F265 und des drehzahlgesteuerten Hydrolüfters. Aus Motordrehzahl, Motorlast, Außentemperatur sowie der Motoröltemperatur wird eine Kühlmittel-Solltemperatur berechnet.

Weiterhin Einfluss auf die Kühlmittel-Solltemperatur bei einem Benzinmotor hat die Klopfregelung. Bei einer klopfenden Verbrennung wird, soweit möglich, die Kühlmittel-Solltemperatur abgesenkt. Die Kühlmittel-Solltemperatur ist die Führungsgröße zur Regelung des F265 (Thermostat).

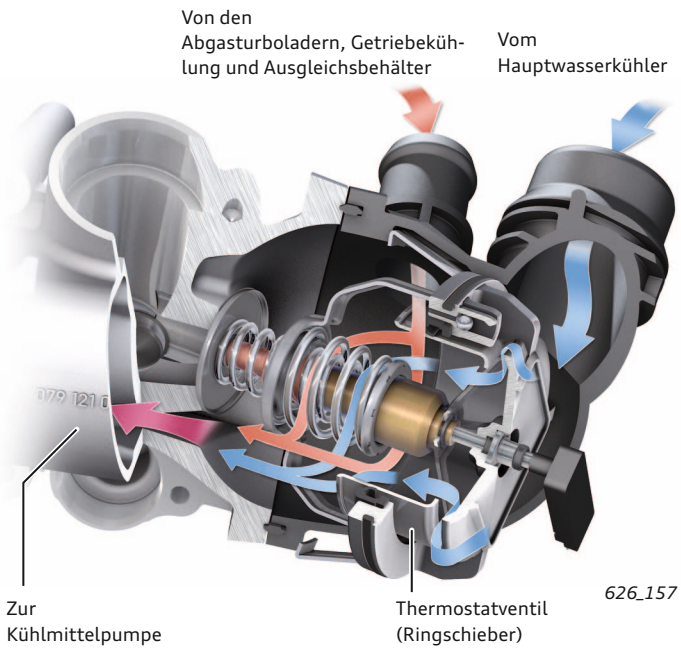
Der Thermostat ist im Beispiel (4,0l-V8-TFSI-Motor) auf der Saugseite der Kühlmittelpumpe positioniert. Er öffnet über ein Wachselement temperaturgesteuert. Zusätzlich kann über ein Heizelement die Öffnungstemperatur gesenkt werden. Diese Ansteuerung erfolgt durch das Motorsteuergerät, in dem ein Kennfeld hinterlegt ist.

Für die Berechnung nutzt das Steuergerät die Eingangsgrößen Lufttemperatur, Motorlast, Geschwindigkeit und Kühlmitteltemperatur. Es berechnet daraus die stufenlos verstellbare elektrische Beheizung des Dehnstoffelements. Die Mechanik des Thermostats entspricht einem Ringschieber-Thermostat.

Thermostat geschlossen (Bypass offen)



Thermostat offen (Bypass geschlossen)



Innovatives Thermomanagement (ITM)

ITM ist ein Teilsystem im Motorsteuergerät. Die Teilsysteme senden an das ITM ihren „Zustand“ (z. B. Heizbedarf, kein Wärmebedarf usw.).
Die ITM-Funktion wägt Anforderungen ab, entscheidet, welcher Teilnehmer die höhere Priorität hat und ermittelt damit die notwendigen Ansteuerungen der Aktuatoren. ITM gibt Ansteueranforderungen an die Teilnehmer, diese steuern dann die Aktuatoren an.

Das Warmlaufen der Aggregate erfolgt in 2 Phasen:

- Phase 1: Durch die Realisierung von stehendem Kühlmittel erfolgt ein schneller Temperaturanstieg im Motor. Dadurch geht weniger Reibleistung verloren. Die Einspritzung kann ebenfalls optimiert werden.
- Phase 2: Jetzt wird das heiße Kühlmittel benutzt, um über einen Wärmetauscher das Getriebeöl schnell aufzuheizen. Das Umlenken des Wärmestroms erfolgt dazu von einem elektrischen Schaltventil, geschaltet vom Getriebesteuergerät.
  Damit nicht zu starke Wärmespannungen auftreten und das heiße Kühlmittel des Motors nicht sofort komplett umgewälzt wird (die Reibleistung des Motors würde wieder schlechter werden), erfolgt eine getaktete Mischphase.

Beheizung des Fahrgastraums

Wünscht der Kunde eine schnellstmögliche Aufheizung des Fahrzeuginnenraums, erfolgt ein schnellstmöglicher Wärmetransport zur Innenraumheizung. In diesem Fall wird kein stehendes Kühlmittel im Motor realisiert.

Getriebeölkühlung/-aufheizung

Das Getriebeöl wird aber nicht nur aufgeheizt. Es kann bei Bedarf auch gekühlt werden. Da hier kein separater Kühlkreislauf vorhanden ist, erfolgt die Abkühlung auf das Temperaturniveau des Motorkühlkreislaufs.

In der Phase der optimalen Getriebetemperatur wird durch das Schaltventil der Kühlmittelstrom zum Getriebeölkühler unterbrochen.

Technikübersicht zum innovativen Thermomanagement an Audi V6-Motoren

2,8l-V6-FSI-Motor	3,0l-V6-TFSI-Motor	3,0l-V6-TDI-Motor
▸ Schaltbare Kühlmittelpumpe	▸ Schaltbare Kühlmittelpumpe	▸ Kühlmittelventil für Zylinderkopf N489
▸ 2 Sensoren: ▸ Temperaturgeber für Motortemperaturregelung G694 ▸ Kühlmitteltemperaturgeber G62	▸ 2 Sensoren: ▸ Temperaturgeber für Motortemperaturregelung G694 ▸ Kühlmitteltemperaturgeber G62	▸ 3 Sensoren: ▸ Temperaturgeber für Motortemperaturregelung G694 ▸ Kühlmitteltemperaturgeber am Kühlerausgang G83 ▸ Kühlmitteltemperaturgeber G62
▸ Getriebeölheizen/-kühlen	▸ Getriebeölheizen/-kühlen	▸ Getriebeölheizen/-kühlen
▸ Heizungsabschaltung	▸ Heizungsabschaltung	▸ Heizungsabschaltung
▸ Thermostat öffnet ab 95 °C	▸ Thermostat öffnet ab 87 °C	▸ Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung (65 °C – 90 °C)
		▸ Ölkühler-Umgehungsthermostat

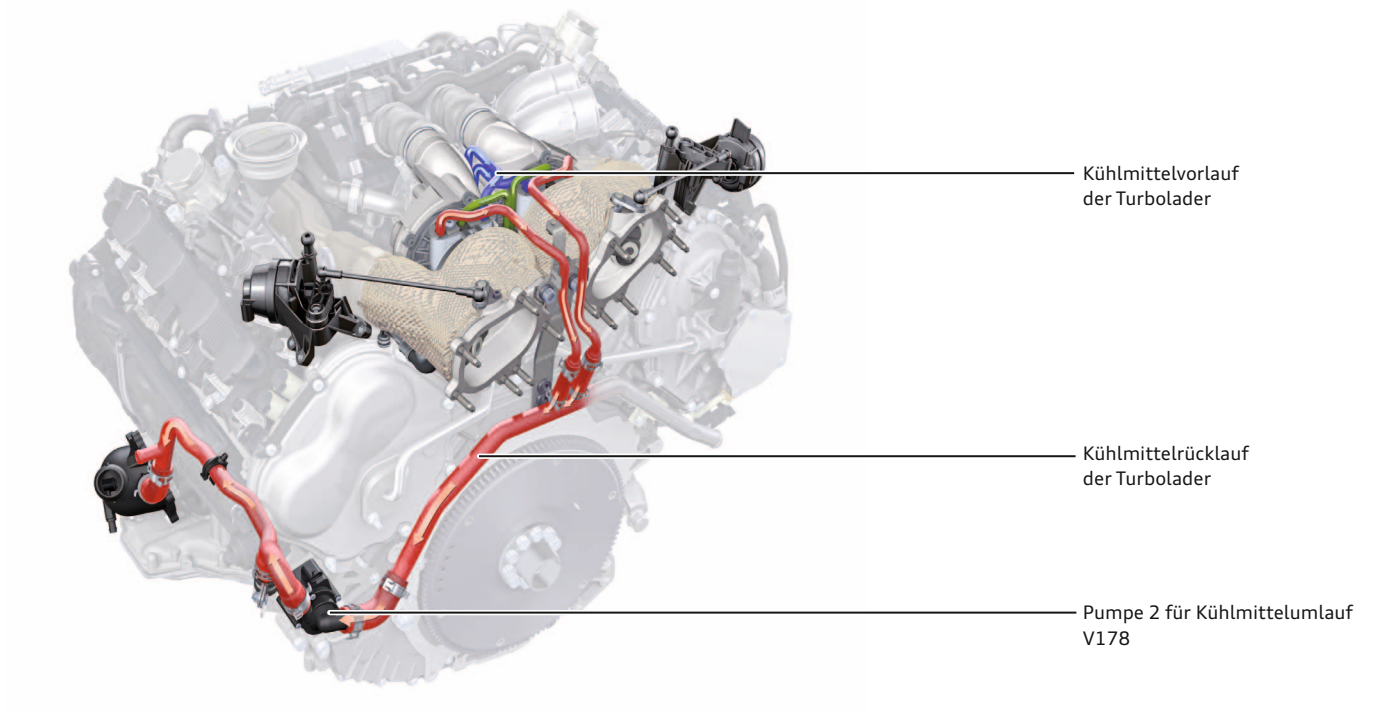
Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zum Thermomanagement am V6-TDI-Motor.

Elektrische Kühlmittelpumpen

Neben der mechanisch angetriebenen Kühlmittelpumpe, die permanent Kühlmittel fördert, kommen weitere Kühlmittelpumpen hinzu, die elektrisch angetrieben werden. Damit können Teilsysteme, wie z. B. die Ladeluftkühlung, die Kühlung des Aufladungssystems oder auch die Beheizung des Fahrgastraums bedarfsgerecht angesteuert werden.

Weiterhin ist ein Kühlnachlauf bei abgestelltem Motor möglich, um einen Wärmestau in bestimmten Motorbereichen zu verhindern, z. B. am Abgasturbolader. Die elektrischen Kühlmittelpumpen werden dazu bedarfsgeregelt vom Motorsteuergerät angesteuert. Die Abbildung zeigt beispielhaft den Zusatz-Kühlkreislauf für die beiden Abgasturbolader an einem 4,0l-V8-TFSI-Motor.



626_152

Temperaturgeber für Motortemperaturregelung G694

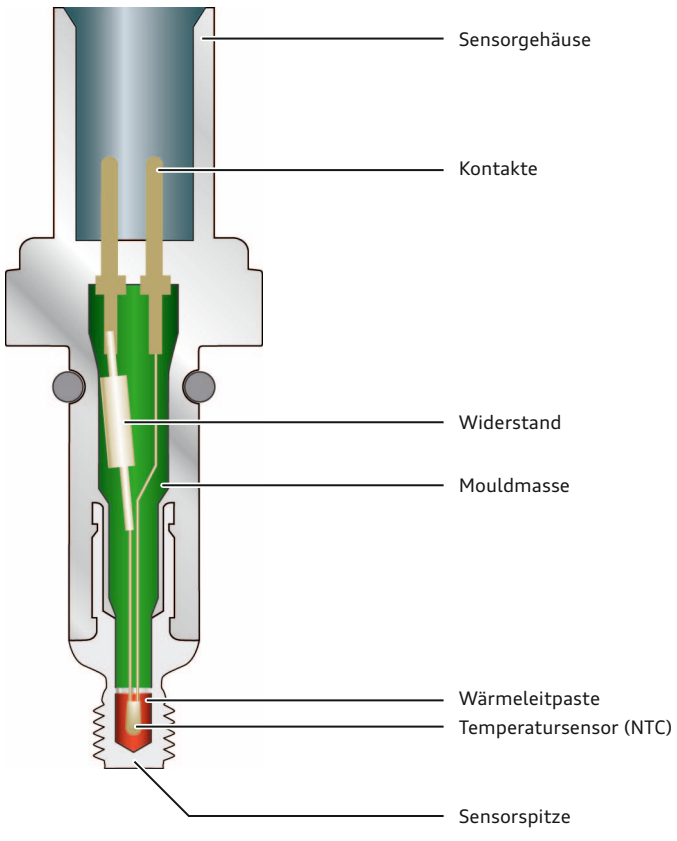
An einigen Fahrzeugen mit Benzinmotor kommt ein geänderter Sensor zur Erfassung der Motortemperatur zum Einsatz. Die Besonderheit dieser Sensorbauart besteht in der Oberflächenvergrößerung durch das Gewinde im Wärmeübertragungsbereich (schnellere Erwärmung und Abkühlung). Der Temperaturgeber G694 ist im Zylinderkopf verschraubt, d. h. an einer Stelle, an der kritische Bauteiltemperaturen am schnellsten zu erwarten sind.

Der technische Hintergrund für den Einsatz des Temperaturgebers G694 besteht vor allem im Bauteilschutz. Damit dient er zur Absicherung bei gerissenen Keilrippenriemen des Kühlmittelpumpen-Antriebs und bei plötzlichem oder schleichendem Kühlmittelverlust, bei dem ein herkömmlicher Kühlmittelsensor „in der Luft“ stehen würde und keine Informationen zur aktuellen Motortemperatur liefern kann.

Weiterhin wird mit dem neuen Sensor auch ein Schutz vor „Kühlmittel-Abkochen“ realisiert, da durch das „schnellere“ Messen an der „kritischen Stelle“ früher eine Warnmeldung ausgegeben werden kann.

Die Steuerung des innovativen Thermomanagements übernimmt folgende Funktionen:

- Warmlaufsteuerung bei stehendem Kühlmittel.
- Regelung Stellglied (z. B. schaltbare Kühlmittelpumpe)
- Heizung Kühlmittel
- Kühlerlüfter Kühlmittel
- Kühlmittelschutz Sieden



626_149

Luftversorgung

Zur Gewährleistung einer vollständigen Verbrennung und eines sicheren Motorlaufs ist es notwendig, dass Kraftstoff und Luft in einem homogenen Verhältnis gemischt werden. Die Versorgung des Motors mit ausreichend Frischluft wird über das sogenannte Saugrohrmodul gewährleistet. Der Grundkörper des Saugrohrmoduls besteht aus Polyamid. Er setzt sich aus 2 Schalen zusammen, die miteinander verschweißt sind.

Je nach Motorvariante kommen innerhalb des Saugrohrmoduls verschiedene Techniken zum Einsatz:

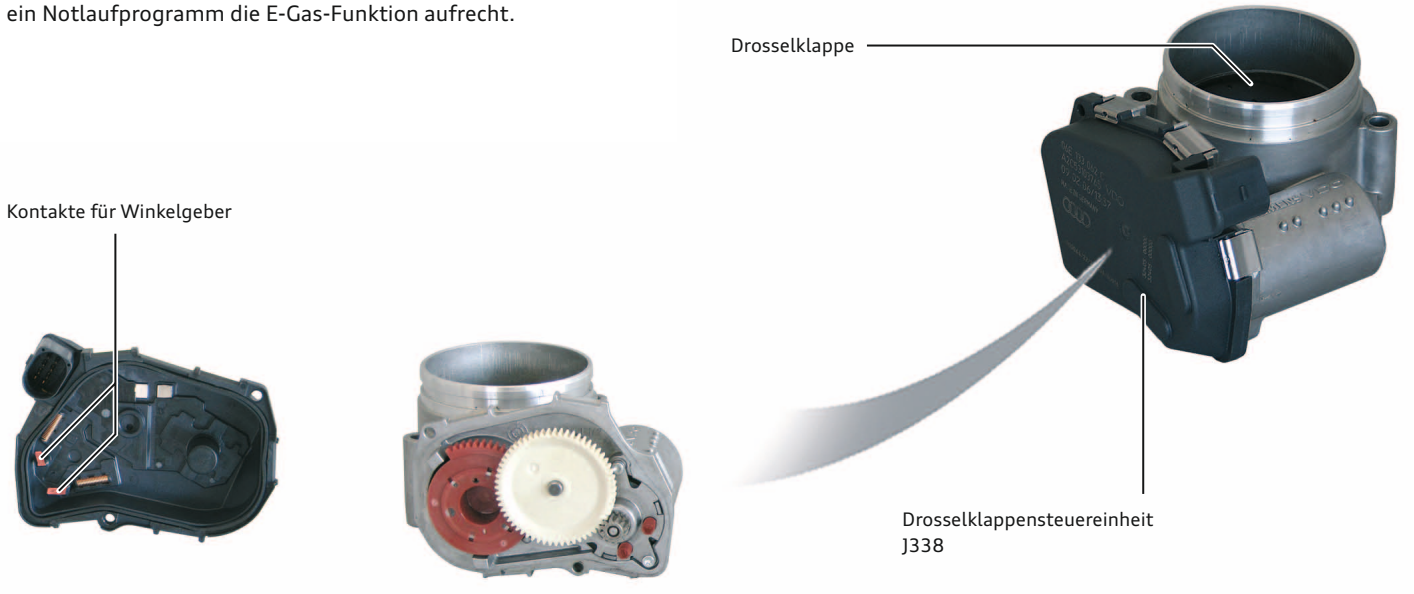
- Drosselklappe im Saugrohr
- Saugrohrklappen
  - Drallklappen bei Dieselmotoren
  - Tumbleklappen bei Benzinmotoren
  - Drumbleklappen
- Saugrohrumschaltung bei Benzinmotoren

Drosselklappe im Saugrohr

Die Drosselklappe regelt den Frischluftdurchsatz im Saugrohr. In Verbindung mit einer Steuerung der eingebrachten Kraftstoffmenge ist es somit möglich, die Drehzahl und damit die Leistung des Motors aktiv zu regulieren. Die Ansteuerung zur Stellung der Drosselklappe erfolgt dabei über das Betätigen des Gaspedals, allerdings nicht in direkter Abhängigkeit. Stattdessen wird die Gaspedalstellung an ein Steuergerät übermittelt, welches das Öffnen oder Schließen der Drosselklappe aktiv ansteuert. Auch die Geschwindigkeit, in der die Klappe öffnet oder schließt wird vom Steuergerät bestimmt. Aus Sicherheitsgründen werden 2 Winkelgeber eingesetzt, deren Widerstandskennlinien gegenläufig sind, siehe Diagramm. Fällt ein Winkelgeber aus, hält der zweite über ein Notlaufprogramm die E-Gas-Funktion aufrecht.

Die Drosselklappensteuereinheit J338 besteht aus:

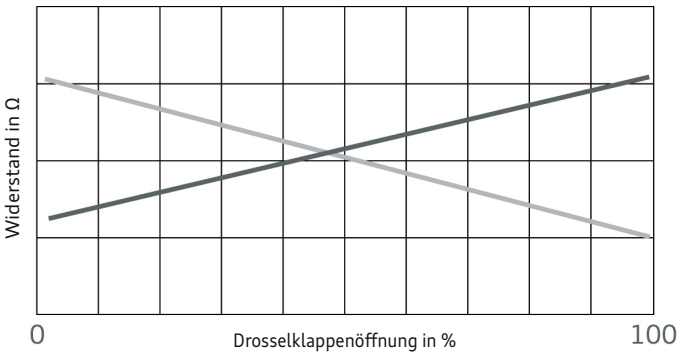
- Drosselklappenantrieb für elektrische Gasbetätigung G186
- Winkelgeber 1 für Drosselklappenantrieb bei elektrischer Gasbetätigung G187
- Winkelgeber 2 für Drosselklappenantrieb bei elektrischer Gasbetätigung G188



626_264

Signale der Winkelgeber

Als Winkelgeber sind 2 magnetoresistive Sensoren verbaut. An das Motorsteuergerät werden die Stellungen der Drosselklappen als analoges Spannungssignal ausgegeben, siehe Diagramm. Die Kennlinien der beiden Sensoren sind gegenläufig.



626_265

Legende:

Winkelgeber 1 G187

Winkelgeber 2 G188

Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Luftversorgung eines V8-TFSI-Motors.

Tumbleklappen

Tumbleklappen werden in Benzinmotoren mit Direkteinspritzung eingesetzt. Sie befinden sich im Ansaugrohr kurz vor dem Einspritzventil. Über solche Klappen lässt sich die angesaugte Frischluft walzenförmig parallel zum Kolbenboden verwirbeln.

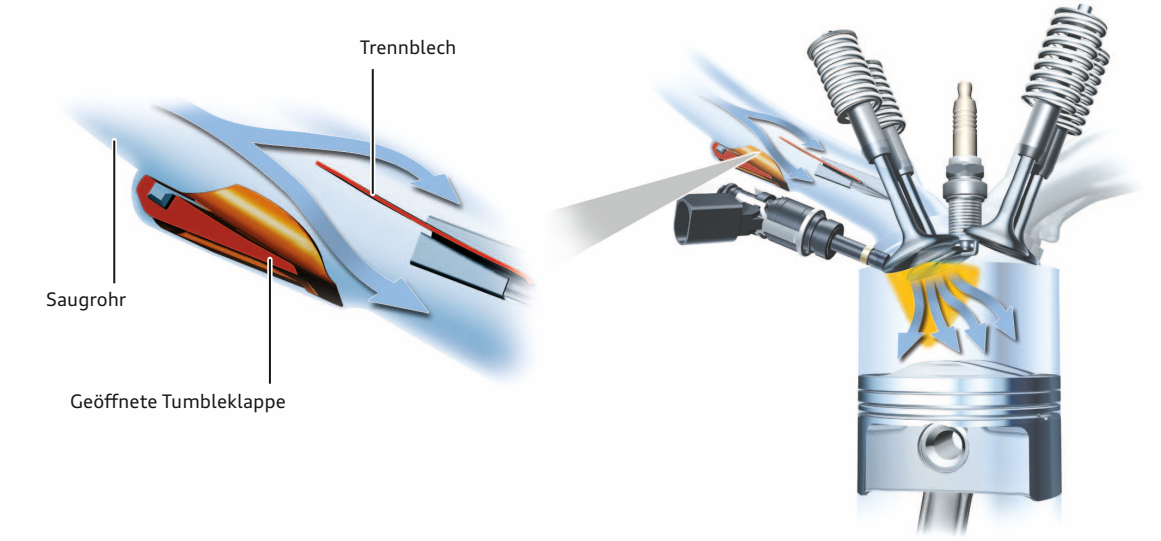
In älteren Motoren werden Tumbleklappen eingesetzt, um den sogenannten Schichtladungsbetrieb zu realisieren.

Funktion

Zum Verwirbeln der Frischluft wird das Saugrohr, getrennt durch ein Trennblech, in eine obere und eine untere Hälfte geteilt. In die untere Hälfte eines jeden Zylinders wird eine Tumbleklappe verbaut. Wenn diese geschlossen wird muss die angesaugte Luft über den oberen Teil des Saugrohrs und somit auch über einen Teil des Einlassventils einströmen. Die angesaugte Luft erzeugt auf diese Weise eine walzenförmige Luftsäule.

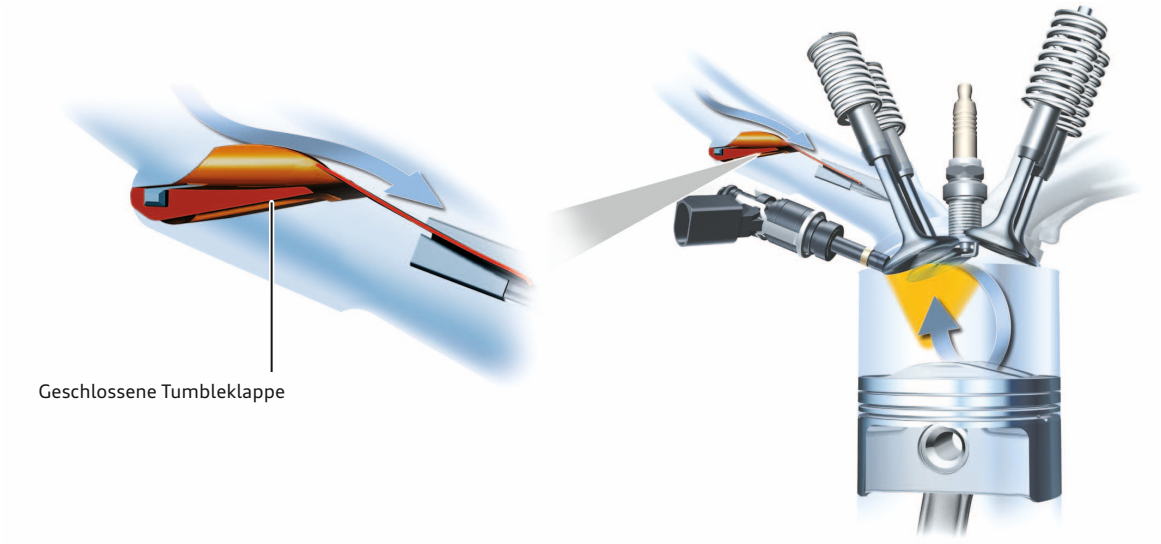
In Verbindung mit einer speziellen Geometrie des Kolbenbodens wird die Luft im Zentrum der Zündkerze konzentriert. In diesen Bereich erfolgt die gezielte Einspritzung und das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird gezündet. In den Randbereichen des Brennraums befindet sich in dann reine Luft. Diese wirkt als Isolator und verringert so die Wärmeverluste. Bei höheren Drehzahlen werden die Tumbleklappen geöffnet, um einen besseren Füllungsgrad zu erreichen.

Tumbleklappe geöffnet



626_168

Tumbleklappe geschlossen



626_169

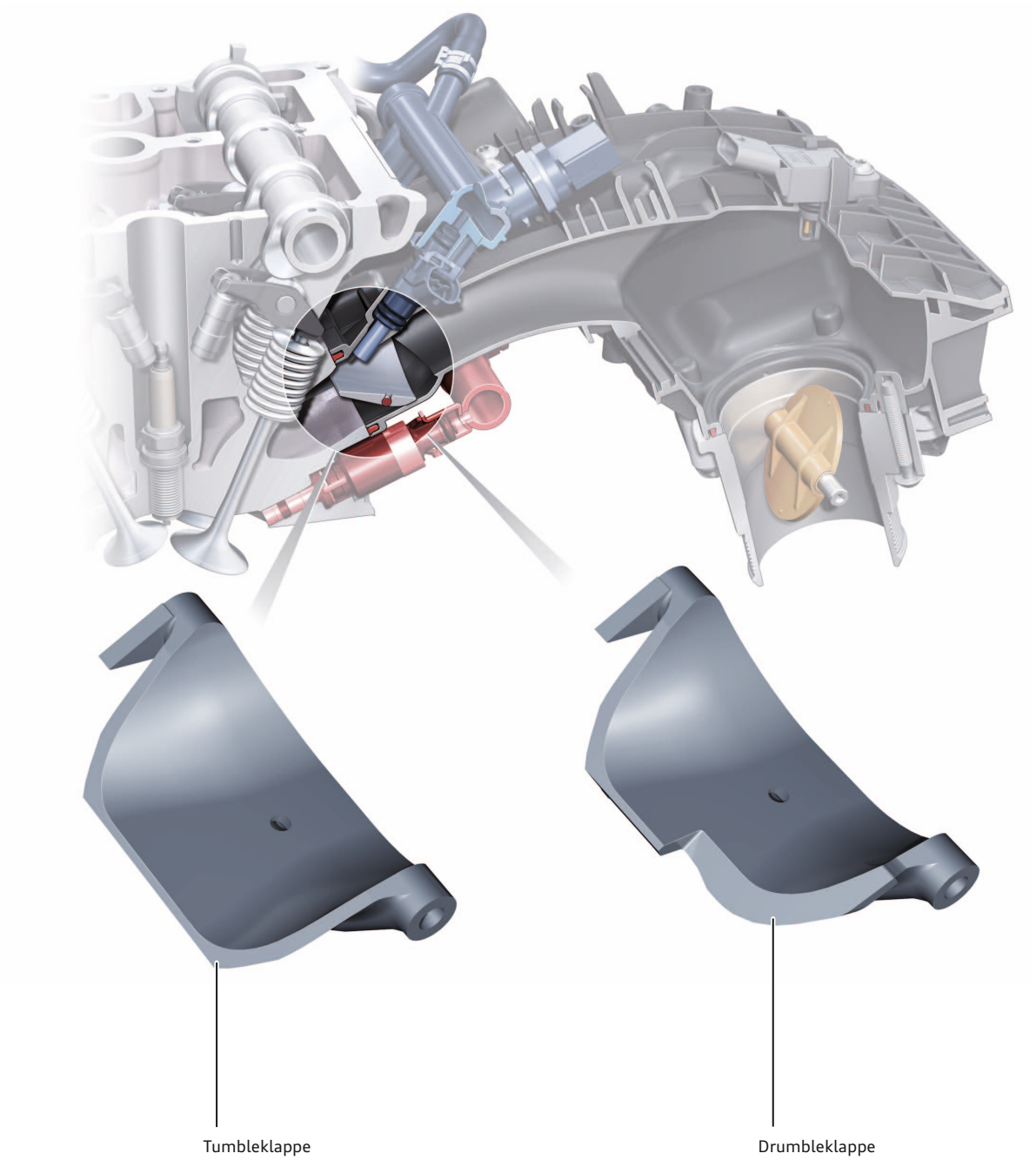
Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und erfahren Sie mehr zur Funktionsweise von Tumbleklappen.

Drumbleklappen

Nicht alle Motoren verfügen über das gleiche Hubvolumen. Daher weichen die Ladungsbewegungen verschiedener Motoren bei geschlossener Saugrohrklappe voneinander ab. Um bei allen Motoren gleichwertige Ergebnisse zu erzielen, müsste man für unterschiedliche Hubräume unterschiedliche Saugrohre einsetzen. Dies kann durch den Einsatz angepasster Drallklappen umgangen werden.

Sogenannte Drumbleklappen, eine Kombination aus Drall- und Tumbleklappen, stellen hier eine Lösung dar. Damit ist das System in der Lage, den Tumblekanal asymmetrisch zu verschließen, was zu einer Überlagerung von Drall- und Tumble-Ladungsbewegungen führt.



626_171

Drallklappen

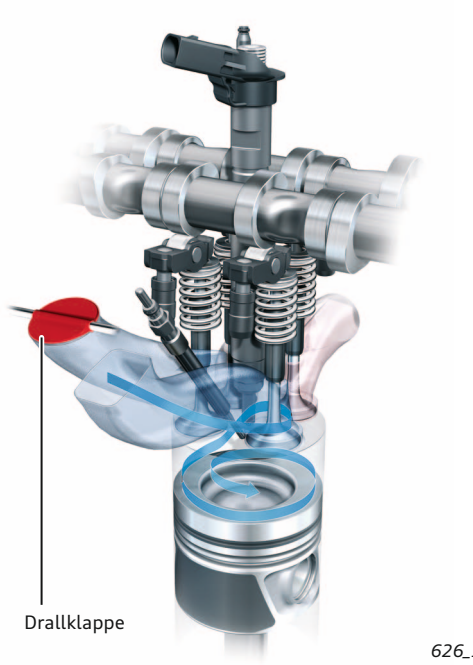
Drallklappen werden ausschließlich in Dieselmotoren eingesetzt und befinden sich im Ansaugrohr. Ihr Funktionsprinzip und die Art ihrer Konstruktion sind vergleichbar mit denen einer Drosselklappe. Je nach Stellung der Drallklappen erzeugen sie einen Wirbel des Luftstroms entlang der Zylinderachse.

Funktion

Die angesaugte Frischluft wird für jeden Zylinder durch je einen Füll- und einen Drallkanal im Ansaugrohr zugeführt. Der Füllkanal kann dabei durch eine Drallklappe verschlossen werden. Dies führt zu einer größeren Luftgeschwindigkeit im Drallkanal und somit zu einer deutlich verbesserten Durchmischung von Kraftstoff und Luft in niedrigen Drehzahlbereichen. Reduzierter Verbrauch und geringere Schadstoffemission sind das Resultat. In höheren Drehzahlbereichen werden die Drallklappen geöffnet.

Drallklappen geschlossen

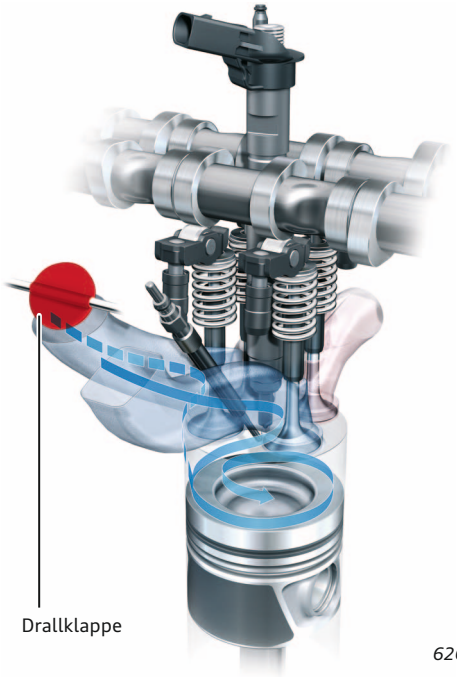
Im Leerlauf und bei niedrigen Drehzahlen sind die Drallklappen geschlossen. Dadurch wird eine hohe Drallwirkung der angesaugten Luft erzielt, die zu einer guten Gemischbildung führt.



626_164

Drallklappen in Zwischenstellung

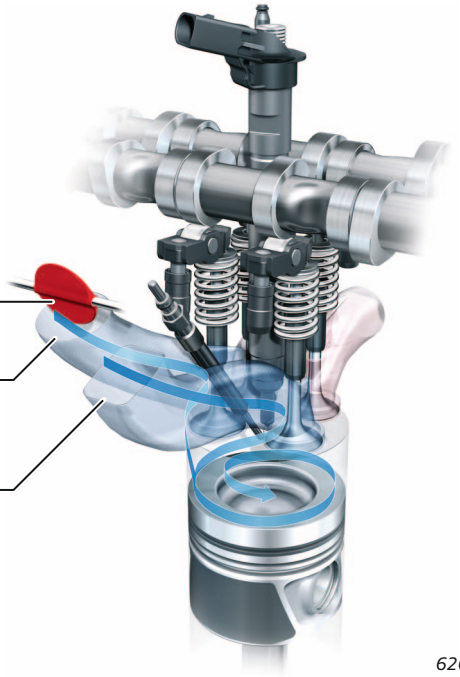
Im Fahrbetrieb werden die Drallklappen in Abhängigkeit von Last und Motordrehzahl kontinuierlich verstellt. Für jeden Betriebsbereich ist dadurch im Brennraum die optimale Luftbewegung vorhanden.



626_165

Drallklappen geöffnet

Beim Motorstart, im Notlauf und bei Volllast, ab einer Drehzahl von etwa 3000 1/min werden die Drallklappen geöffnet. Jetzt kann die angesaugte Luft über Drall- und Füllkanal in die Zylinder einströmen. Durch den nun erhöhten Luftdurchsatz wird eine optimale Füllung des Brennraums erzielt.



626_166

Schaltsaugrohr

Schaltsaugrohre arbeiten nach dem Prinzip der Gasschwingungen. Dabei werden Druck- und Unterdruckwellen innerhalb des Saugrohrs genutzt, um die Zylinder zu befüllen und gleichzeitig den Füllungsgrad zu verbessern.

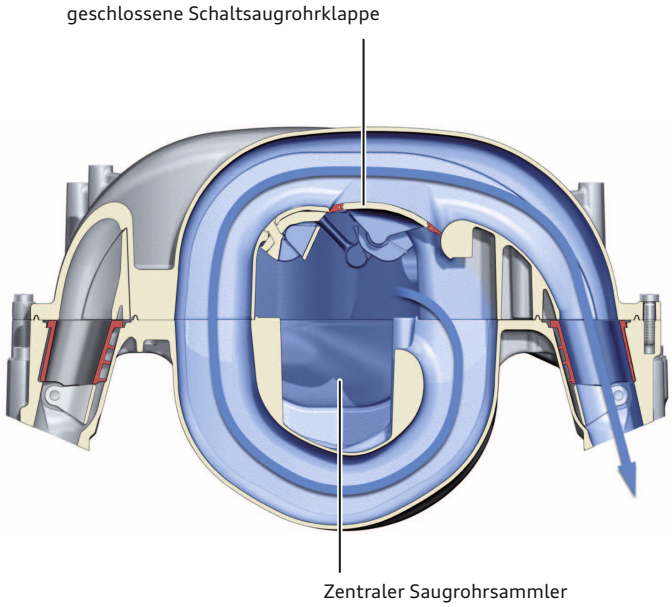
Funktion

Beim Öffnen des Einlassventils bewegt sich der Kolben in Richtung unterer Totpunkt. Dadurch wird im Zylinder ein Unterdruck erzeugt, der eine Unterdruckwelle im Bereich des Einlassventils zur Folge hat. Diese Welle breitet sich durch das angeschlossene Saugrohr aus und gelangt letztlich in den zentralen Saugrohrsammler. Das Saugrohr wird hier auch als Schwingrohr bezeichnet. Im Saugrohrsammler wirkt die Unterdruckwelle auf ein bereitstehendes Luftvolumen und reist dieses mit in das Schwingrohr. Die Luft strömt nun durch das Rohr in Richtung Einlassventil des Zylinders. Die dadurch entstandene Druckwelle tritt in gleicher Größenordnung wie die Unterdruckwelle an deren Stelle. Die Luft läuft nun durch das Schwingrohr zurück und wird so lange am noch offenen Einlassventil vorbei in den Zylinder gedrückt, bis die Drücke im Zylinder und im Schwingrohr ausgeglichen sind.

Der Motor erfährt damit eine sogenannte „innere Aufladung“. Das Schließen des Einlassventils verhindert dabei ein Zurückströmen der inneren Aufladung in das Saugrohr. Da sich die beiden Druckwellen stets mit gleich bleibender Geschwindigkeit bewegen, ist die benötigte Zeit für den Prozess der Luftströmung immer gleich. Dem entgegen stehen die Zeiten, in denen die Einlassventile geöffnet sind. Diese Intervalle verändern sich in Abhängigkeit von der Drehzahl, so dass mit steigender Drehzahl die Öffnungszeiten der Einlassventile immer kürzer werden. Als Folge sinkt in hohen Drehzahlbreichen die Masse der Luft, die in die Zylinder strömen kann. Um diesem Effekt entgegen zu wirken und die Füllungsmenge der inneren Aufladung konstant hoch zu halten, gibt es die Möglichkeit, die Saugrohrlänge den Drehzahlbereichen anzupassen. Diese Saugrohre werden Schaltsaugrohre genannt.
Dabei gilt:

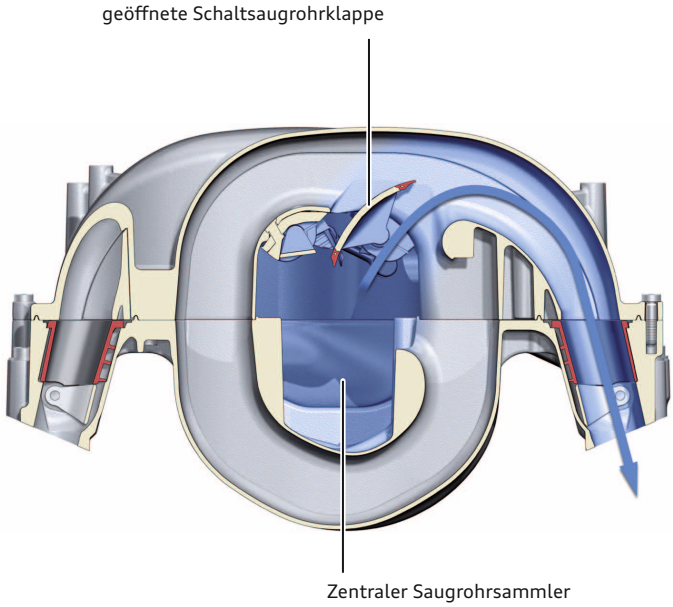
Drehzahlbereiche	Saugrohrstellung	Ansaugstrecke
Niedrige bis mittlere Drehzahl	Drehmomentstellung	Lange Ansaugstrecke
Hohe Drehzahl	Leistungsstellung	Kurze Ansaugstrecke

Schaltsaugrohr in Drehmomentstufe (beispielhaft an einem 5,2l-FSI-Motor)



626_177

Schaltsaugrohr in Leistungsstufe (beispielhaft an einem 5,2l-FSI-Motor)

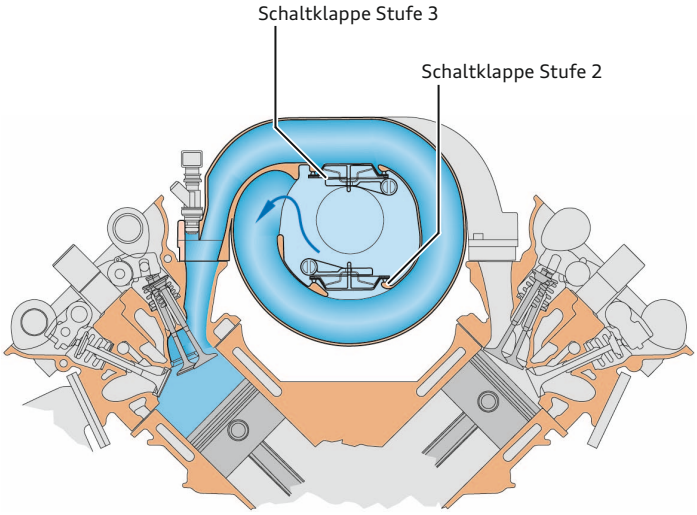


626_178

3-stufiges Schaltsaugrohr

Stufe 1: unterer Drehzahlbereich

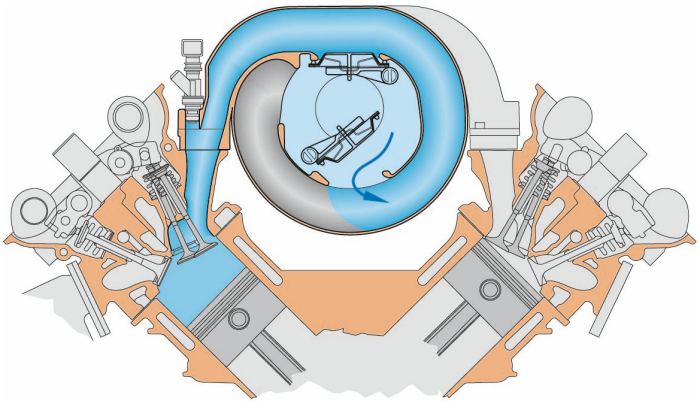
Bei Motorstillstand sind beide Klappen offen. Läuft der Motor im Leerlauf, werden die beiden Unterdruckdosen durch die entsprechenden Magnetventile für Registersaugrohrumschaltung evakuiert. Die Schaltklappen sind somit von der Leerlaufdrehzahl bis zur Schaltdrehzahl geschlossen.



626_248

Stufe 2: mittlerer Drehzahlbereich

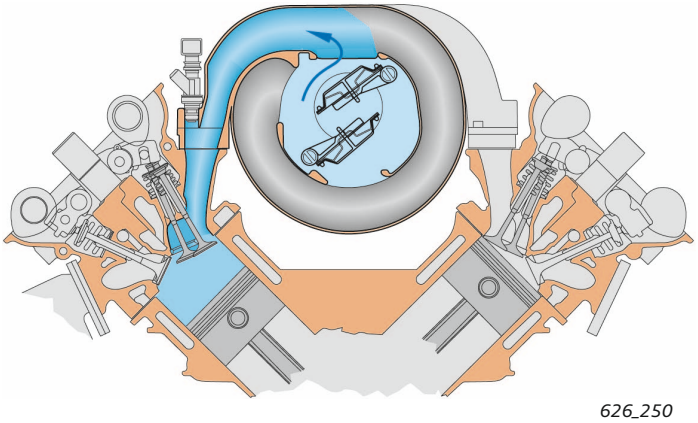
Im mittleren Drehzahlbereich wird durch das Magnetventil für Registersaugrohrumschaltung N156 in die Unterdruckdose Schaltklappe Stufe 2 atmosphärischer Druck geleitet. Die Schaltklappe Stufe 2 wird geöffnet und der Ansaugweg verkürzt sich.



626_249

Stufe 3: oberer Drehzahlbereich

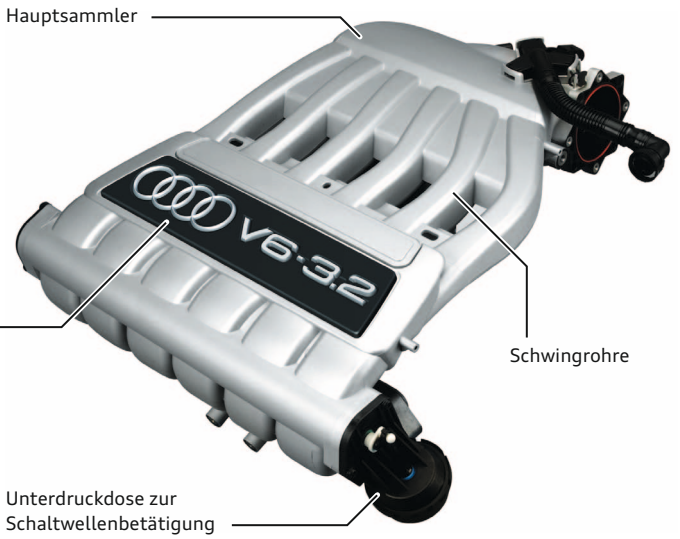
Im oberen Drehzahlbereich wird zusätzlich die Schaltklappe Stufe 3 geöffnet. Die Ansaugluft gelangt auf den kürzesten Weg in den Verbrennungsraum.



626_250

Umschalten des Schaltsaugrohrs

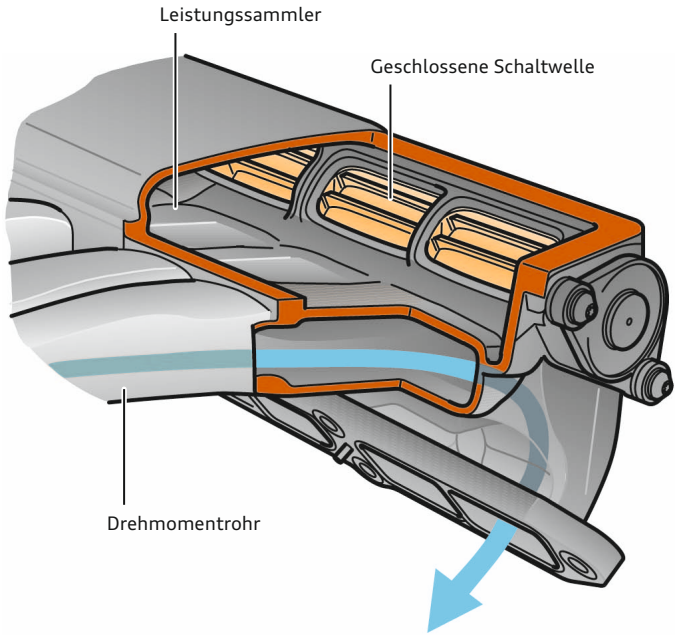
Die Schaltwelle für die Schaltsaugrohrklappen wird je nach Motorvariante entweder von einem kennfeldgesteuertem Elektromotor oder einer Unterdruckdose verstellt. Bei Verstellung über eine Unterdruckdose erfolgt die Ansteuerung über das Magnetventil für Saugrohrumschaltung.



626_180

Drehmomentstellung

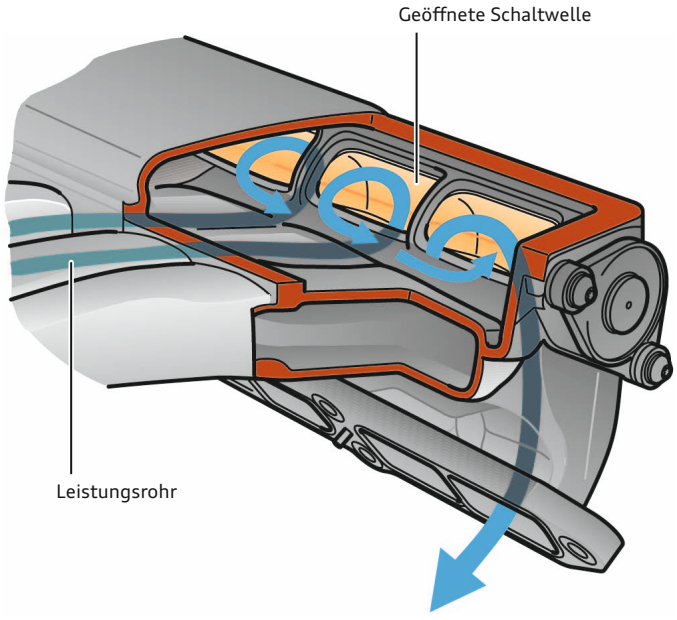
Ab einer Drehzahl von 1100 1/min wird das Magnetventil für Saugrohrumschaltung angesteuert und die Unterdruckdose geschaltet. Dadurch wird die Schaltwelle für die Schaltsaugrohrklappen um 90° verdreht und die Leistungsrohre verschlossen. Der Zylinder, der gerade ansaugt, saugt die Luft durch die langen Schwingrohre direkt aus dem Hauptsammler.



626_181

Leistungsstellung

In Drehzahlbereichen oberhalb von 4100 1/min wird das Magnetventil für Saugrohrumschaltung nicht mehr angesteuert und die Unterdruckdose wird mit Atmosphärendruck beaufschlagt. Durch eine Feder wird die Schaltwelle nun wieder um 90° in ihre Ausgangsstellung zurückgedreht. Der Zylinder wird nun über eine kurze Ansaugstrecke mit Luft aus dem Leistungssammler versorgt. Die Luftversorgung des Leistungssammlers erfolgt über die Schwingrohre der anderen Zylinder, die gerade nicht ansaugen.



626_182

Aufladung

Aufladungssysteme bieten die Möglichkeit, den Füllungsgrad eines Motors zu erhöhen. Dazu wird die Ansaugluft entsprechend vorverdichtet. Daraus ergibt sich eine Verbesserung von Leistungsabgabe und Wirkungsgrad. Grundsätzlich werden verschiedene Aufladungssysteme eingesetzt.

Bei Audi sind das neben den weit verbreiteten Abgasturboladern auch Kompressormodule in Form von Roots-Gebläsen. Hinzu kommen bei beiden Systemen weitere Zusatzeinrichtungen zur Regelung des Ladedrucks.

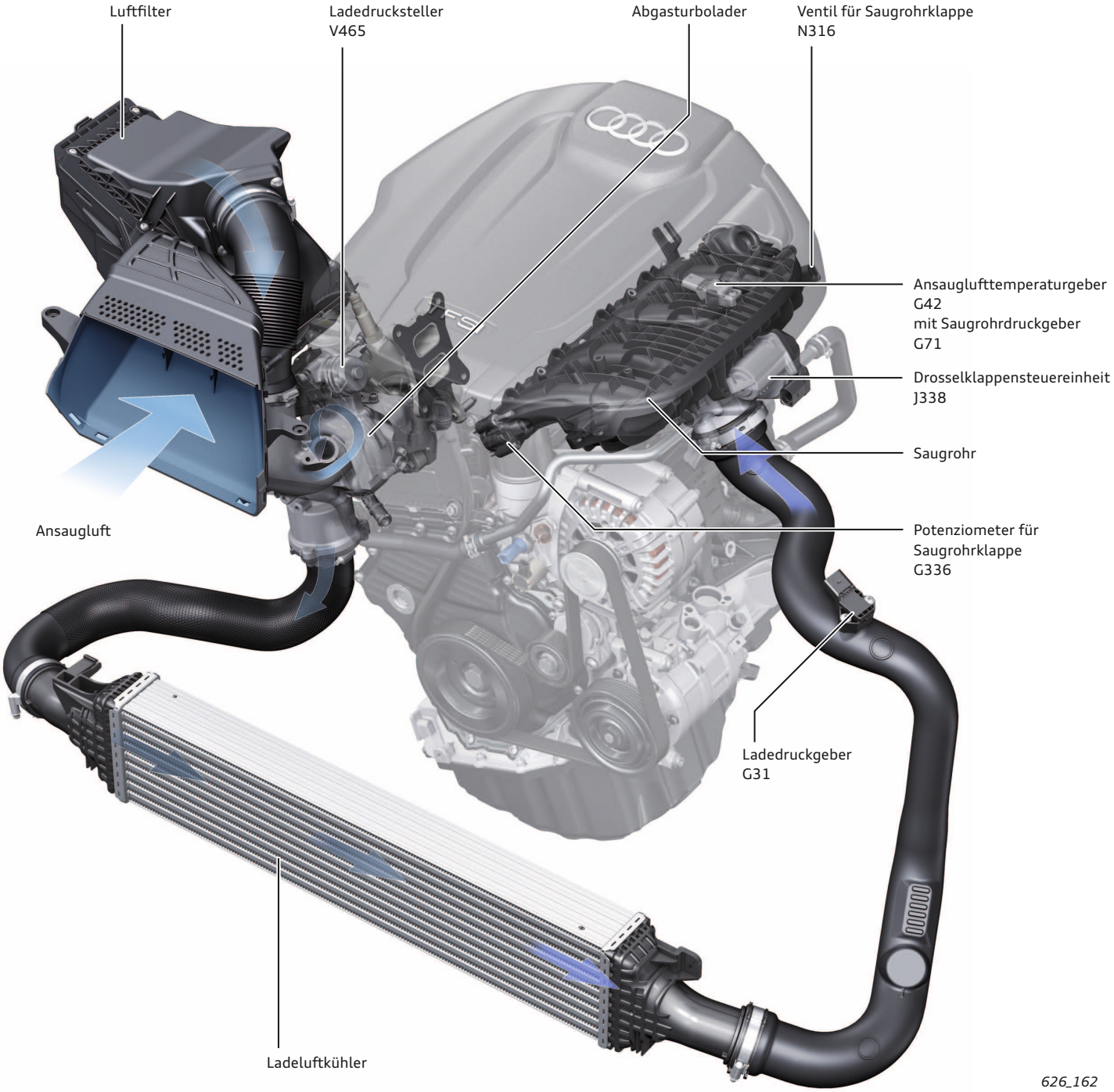
Abgasturbolader

Das Grundprinzip von Abgasturboladern beruht darauf, die im Abgas enthaltene kinetische Energie zur Vorverdichtung der Ansaugluft zu nutzen. Bei laufendem Motor treiben die Abgase im Abgasturbolader das Turbinenrad an und der Verdichter komprimiert die Ansaugluft.

Audi QR-Code

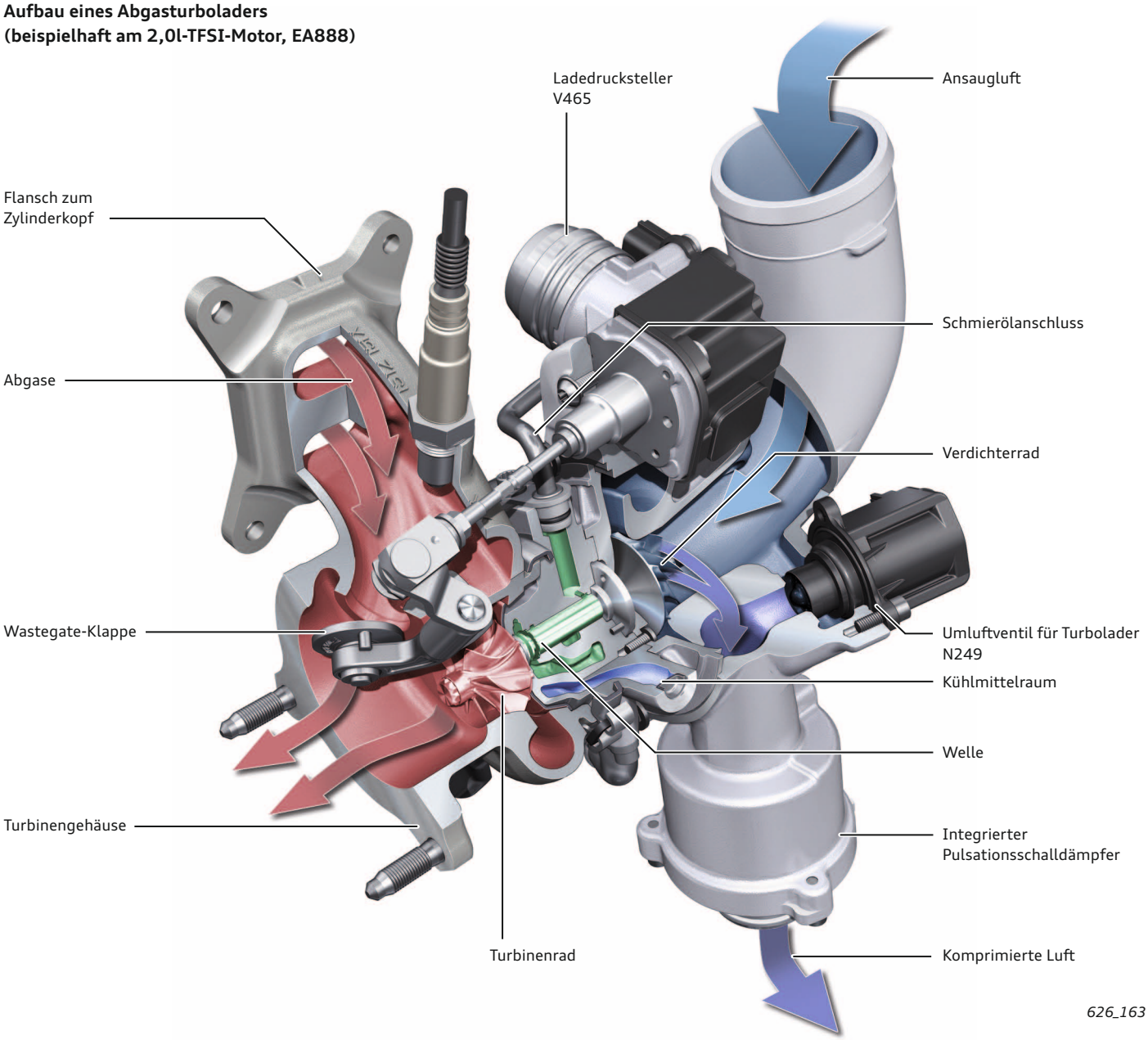
Scannen Sie den QR-Code und sehen Sie sich einen Abgasturbolader in Funktion an.

Bauteile am Motor
(beispielhaft am 2,0l-TFSI-Motor, EA888)



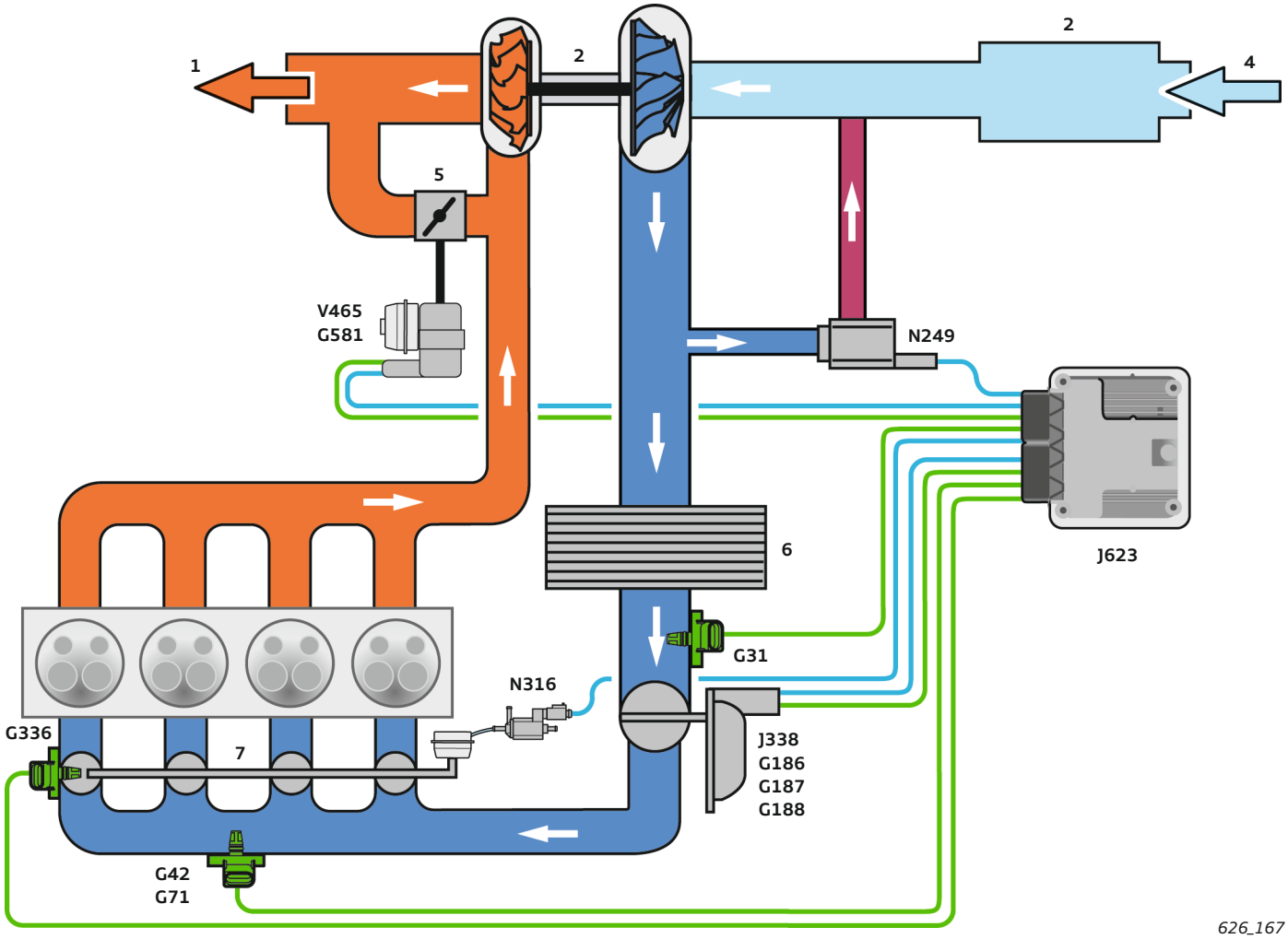
626_162

Aufbau eines Abgasturboladers (beispielhaft am 2,0l-TFSI-Motor, EA888)



Bauteil	Merkmale
Verdichtergehäuse und Verdichterrad	Das Verdichtergehäuse besteht aus Aluminium-Guss. In ihm dreht sich das Verdichterrad, das über eine Welle mit dem Turbinenrad verbunden ist.
Turbinengehäuse und Turbinenrad	Das Turbinengehäuse besteht aufgrund der hohen Abgastemperaturen aus einem Stahlguss-Werkstoff. Das Turbinenrad ist hier als Mixed-Flow-Turbine (Halbradialturbine) ausgelegt.
Ladedrucksteller V465	Elektrischer Steller für die Wastegate-Klappe, der vom Motorsteuergerät angesteuert wird, um über die Wastegate-Klappe den Ladedruck zu regeln. Gegenüber einer elektro-pneumatischen Betätigung zeichnet er sich durch ein schnelleres und präziseres Ansprechen aus. Weiterhin kann er unabhängig vom anliegenden Ladedruck angesteuert werden.
Wastegate-Klappe	Öffnet oder verschließt einen Bypass-Kanal. Die Klappe wird über ein Gestänge vom Ladedrucksteller V465 betätigt – bei anderen Motoren auch über eine Druckdose und ein Magnetventil für Ladedruckbegrenzung N75.
Umluftventil für Turbolader N249	Wenn die Drosselklappe geschlossen wird, entsteht durch den weiterhin anliegenden Ladedruck ein Staudruck im Verdichterkanal. Das Umluftventil für Turbolader N249 wird in dieser Situation vom Motorsteuergerät angesteuert und öffnet einen Bypass-Kanal in den Ansaugkanal vor dem Verdichterrad.
Flansch zum Zylinderkopf	Um eine bestmögliche Zündfolgetrennung zu erreichen, wurde der Flansch 2-flutig bis kurz vor die Turbine ausgeführt. Die Verbindung zum Zylinderkopf besteht durch Stehbolzen und Muttern.
Schmierölanschluss	Aufgrund der hohen Drehzahlen der Welle des Turboladers ist eine Schmierung unbedingt erforderlich, die über den Anschluss an das Schmiersystem des Motors gewährleistet wird.

Systemübersicht
(beispielhaft am 2,0l-TFSI-Motor, EA888)



626_167

Legende:

1 Abgasstrom

2 Abgasturbolader

3 Luftfilter

4 Frischluftstrom

5 Wastegate-Klappe

6 Ladeluftkühler

7 Saugrohrklappen

Sensorleitung

Aktorleitung

Abgase

Ansaugluft (Unterdruck)

Ladeluft (Ladedruck)

Schubumluft (Ladedruck)

G31 Ladedruckgeber

G42 Ansauglufttemperaturgeber

G71 Saugrohrdruckgeber

G186 Drosselklappenantrieb für elektrische Gasbetätigung

G187 Winkelgeber 1 für Drosselklappenantrieb bei elektrischer Gasbetätigung

G188 Winkelgeber 2 für Drosselklappenantrieb bei elektrischer Gasbetätigung

G336 Potenziometer für Saugrohrklappe

G581 Positionsgeber für Ladedrucksteller

J338 Drosselklappensteuereinheit

J623 Motorsteuergerät

N249 Umluftventil für Turbolader

N316 Ventil für Saugrohrklappe

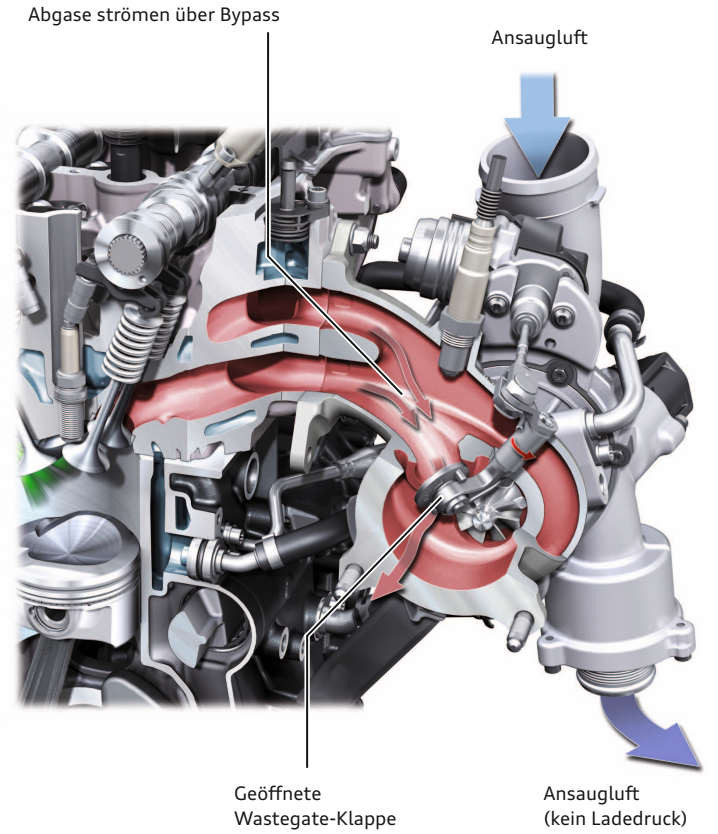
V465 Ladedrucksteller

Ladedruckregelung
(beispielhaft am 2,0l-TFSI-Motor, EA888)

Nicht in allen Betriebssituationen wird Ladedruck benötigt, so beispielsweise im Leerlauf oder im Schubbetrieb.

Wenn kein oder nur ein geringer Ladedruck erforderlich ist, wird vom Motorsteuergerät der Ladedrucksteller V465 angesteuert. Der Ladedrucksteller öffnet daraufhin über ein Gestänge die Wastegate-Klappe. Die Abgase strömen nun ungenutzt über einen Bypass an der Turbine vorbei. Die Turbinenwelle dreht sich langsamer und der Ladedruck lässt nach, was vom Ladedruckgeber G31 erkannt wird.

Wenn der Ladedruck entsprechend abgenommen hat bzw. wieder ein höherer Ladedruck benötigt wird, verschließt der Ladedrucksteller V465 die Wastegate-Klappe, so dass die Abgase über das Turbinenrad strömen.

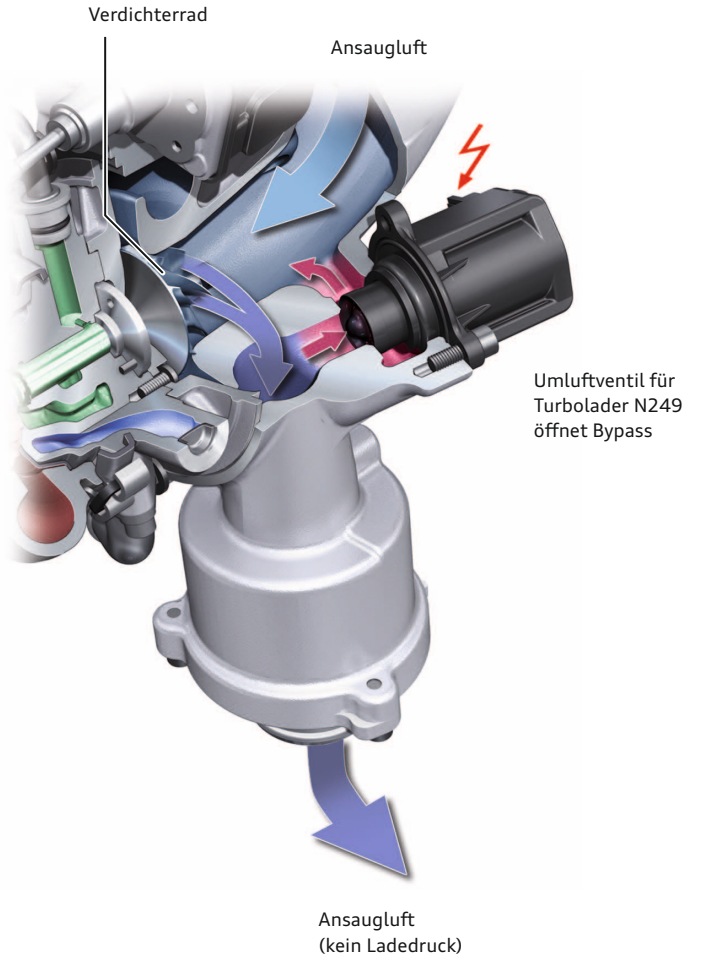


626_170

Schubumluftsteuerung

Wenn die Drosselklappe geschlossen wird, z. B. im Schubbetrieb, entsteht durch den weiterhin anliegenden Ladedruck ein Staudruck in den Verdichterkanal. Das Verdichterrad des Turboladers wird dadurch stark abgebremst. Beim Öffnen der Drosselklappe müsste der Turbolader zunächst wieder auf Drehzahl gebracht werden.

Durch die Schubumluftsteuerung wird das ansonsten entstehende Turboloch verringert. Das Umluftventil für Turbolader N249 arbeitet elektromagnetisch und wird vom Motorsteuergerät angesteuert.



626_172

Turbolader mit Variabler Turbinengeometrie bei Dieselmotoren

Variable Turbinengeometrie (VTG)

Die Regelung des Ladedrucks ist an einem Turbolader von großer Bedeutung. Neben dem Konzept eines Bypass-Kanals mit Wastegate-Klappe gibt es Turbolader, deren Turbinengeometrie variabel ist.

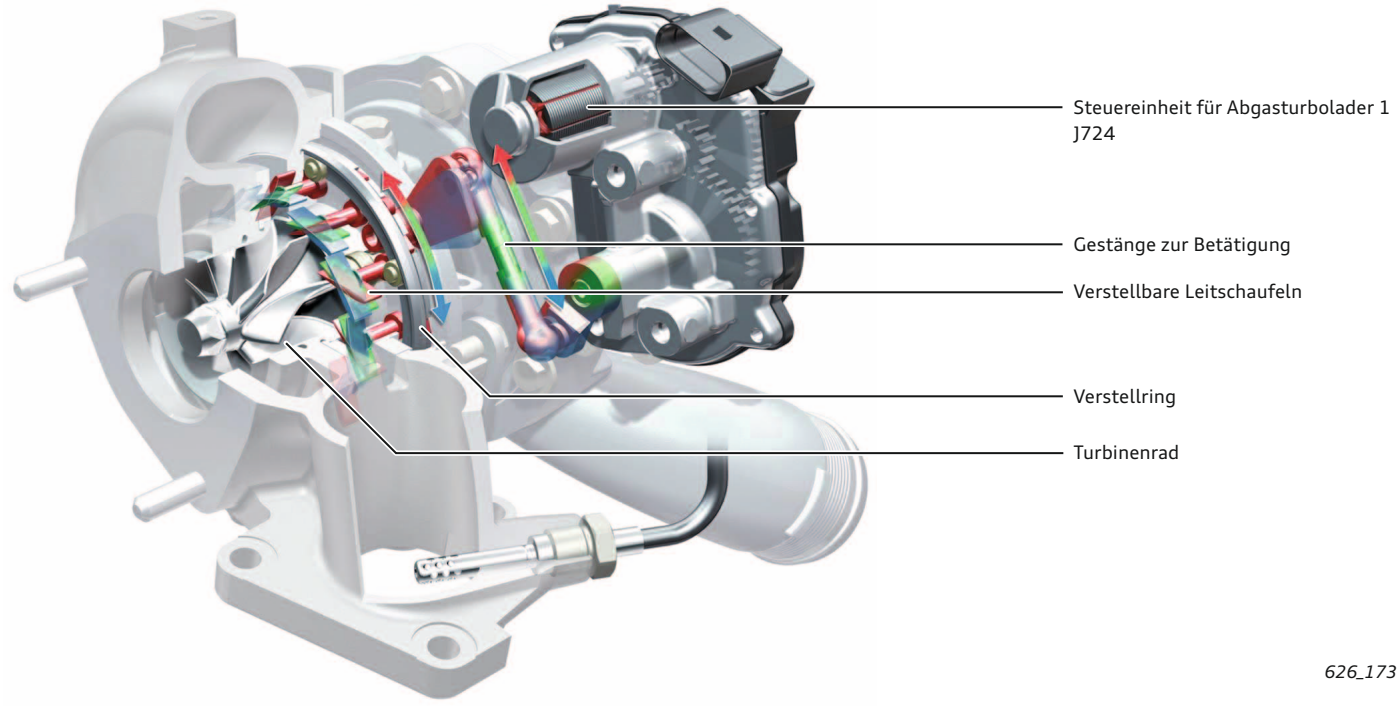
Damit lässt sich das Betriebsverhalten wesentlich günstiger gestalten. Diese Bauart kommt bei Audi überwiegend an Dieselmotoren zum Einsatz.

Aufbau
(beispielhaft an einem 3,0l-TDI-Motor)

Um das Turbinenrad sind verstellbare Leitschaufeln angeordnet. Die Verstellbewegung geht von einem Verstellring aus. Die Steuereinheit für Abgasturbolader betätigt ein Gestänge am Turbolader. Die Leitschaufeln mit tragflächenähnlichem Profil, sollen das Aufstauverhalten der Turbine ändern.

Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und sehen Sie sich einen VTG-Turbolader in Funktion an.

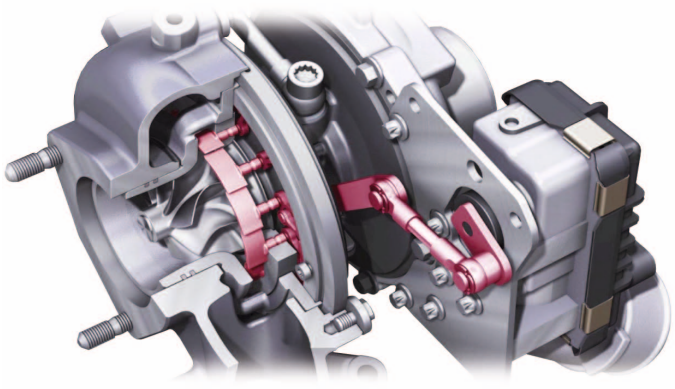


626_173

Funktion

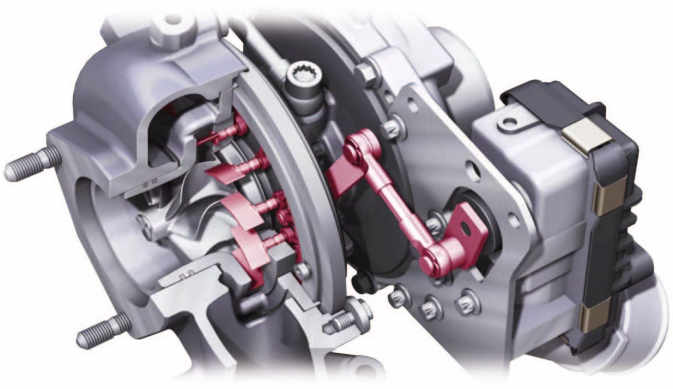
Wenn die Leitschaufeln bewegt werden, verengen sich die Zwischenräume. Die Abgase strömen schneller hindurch. Dieser Effekt ähnelt einer Venturi-Düse im Vergaser. Ein Geber im Saugrohr liefert dem Motorsteuergerät ständig Informationen über den Ladedruck.

Hat der Ladedruck ein bestimmtes Niveau erreicht, werden die Leitschaufeln verstellt, um die Zwischenräume zu vergrößern. Dadurch verlangsamt sich die Abgasströmung und die Turbine dreht sich langsamer, so dass der Ladedruck abfällt.



626_174

Flache Leitschaufelstellung, dadurch enger Eintrittsquerschnitt des Abgasstroms

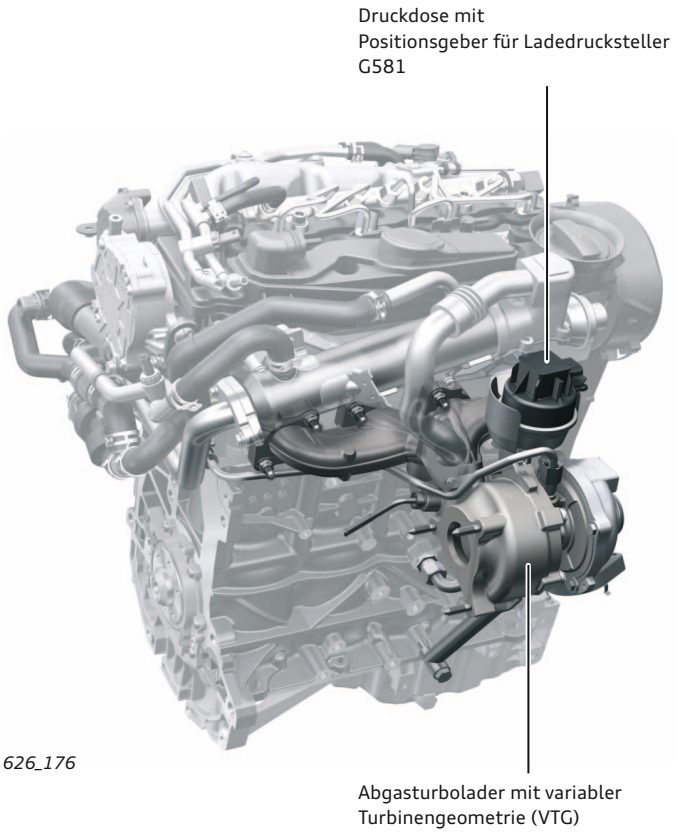


626_175

Steile Leitschaufelstellung, dadurch großer Eintrittsquerschnitt des Abgasstroms

Betätigung der Leitschaufeln

Je nach Motor werden die Leitschaufeln über eine Steuereinheit für Abgasturbolader J724 oder über eine Druckdose mit Membran betätigt. Die Druckdose wird über das Magnetventil für Ladedruckbegrenzung N75 betätigt, das dazu vom Motorsteuergerät angesteuert wird.
An der Druckdose befindet sich der Positionsgeber für Ladedrucksteller G581.

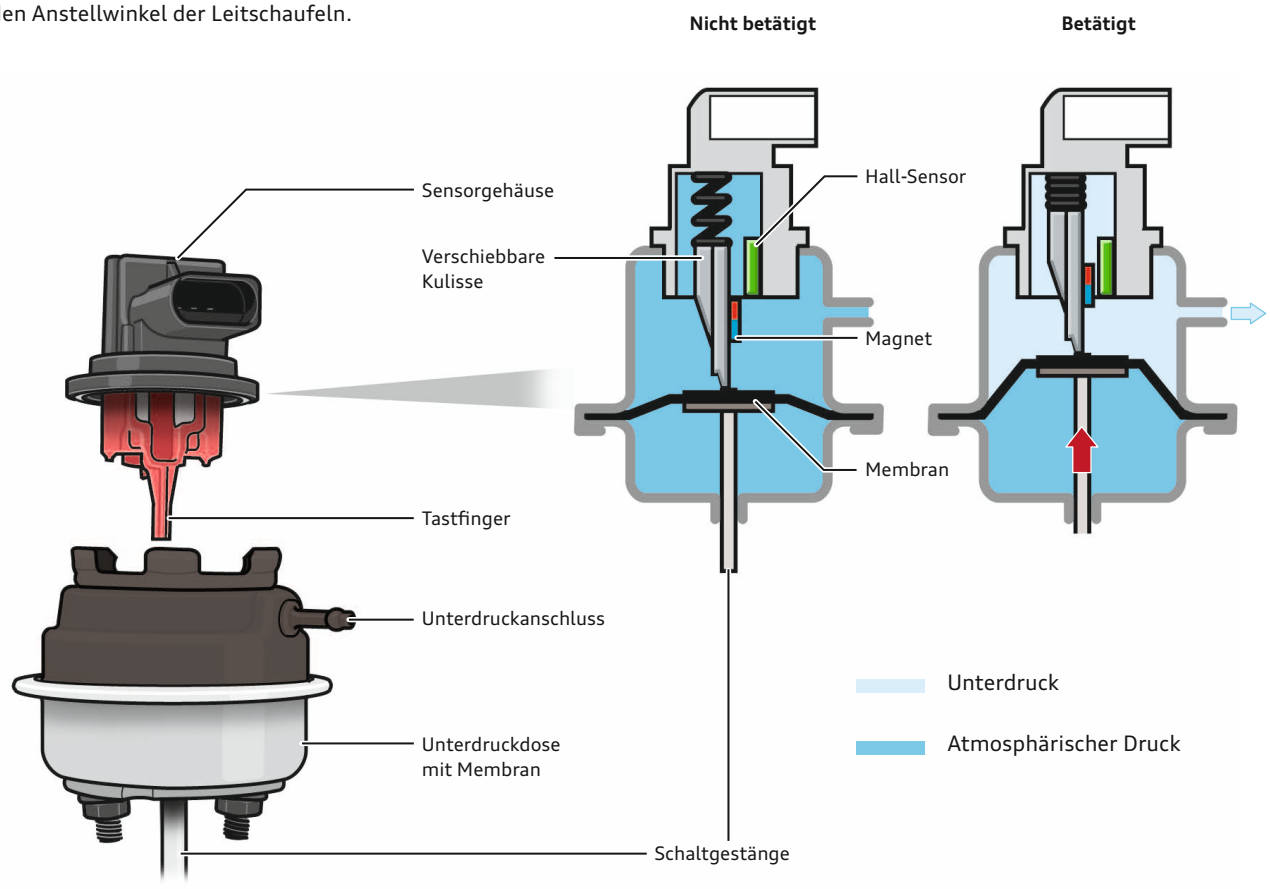


626_176

Positionsgeber für Ladedrucksteller G581

Der Geber sorgt mit seiner elektrischen berührungslosen Wegrückmeldung an der Turbinenverstellung zusätzlich für bessere Regelgenauigkeit.
Der Positionsgeber für Ladedrucksteller G581 ist in der Druckdose des Turboladers integriert. Ein beweglicher Tastfinger erfasst den Weg, um den sich die Membran der Druckdose bei der Betätigung der Leitschaufeln bewegt. Die Position der Membran ist somit das Maß für den Anstellwinkel der Leitschaufeln.

Der Hallsensor ist eigendiagnosefähig. Kurzschluss nach Plus und Masse sowie Leitungsunterbrechung werden erkannt. Bei Ausfall des Sensors wird **kein** Ersatzkennfeld verwendet, sondern die Funktion wird abgeschaltet.



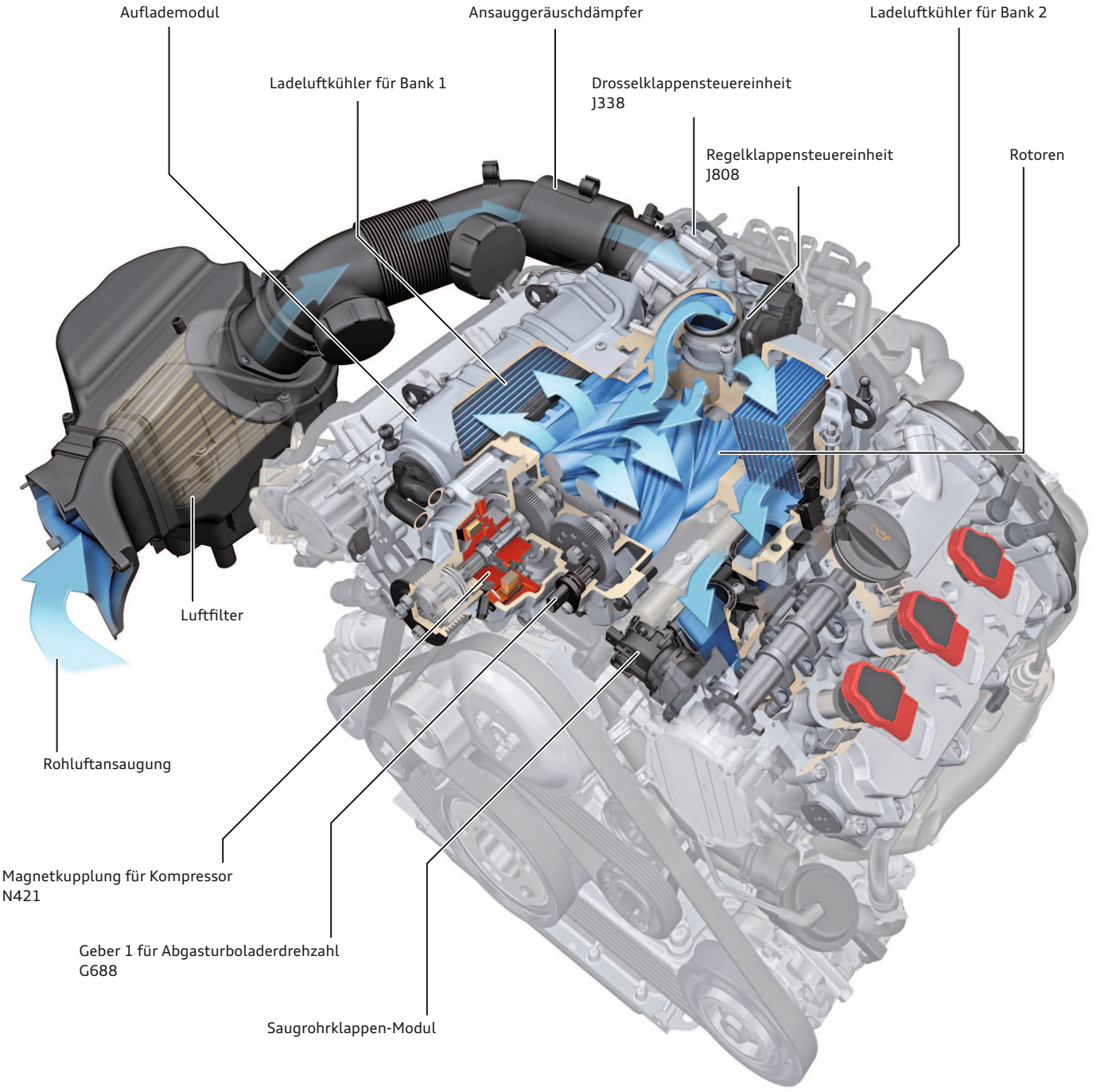
626_179

Kompressormodul (Roots-Lader)

Das zentrale Bauteil der Luftversorgung ist das im Innen-V des Motors verbaute Kompressormodul. Darin sind der Roots-Lader und die Ladeluftkühlung integriert, bei einigen Motoren noch zusätzlich die Bypassregelung.

Der Name des „Roots-Lader“ stammt von den Gebrüdern Philander und Francis Roots, die sich das Prinzip schon im Jahr 1860 patentieren ließen. „Roots-Lader“ sind der Bauform nach Drehkolbenmaschinen. Sie arbeiten ohne innere Verdichtung nach dem Verdrängerprinzip.

Gesamtsystem

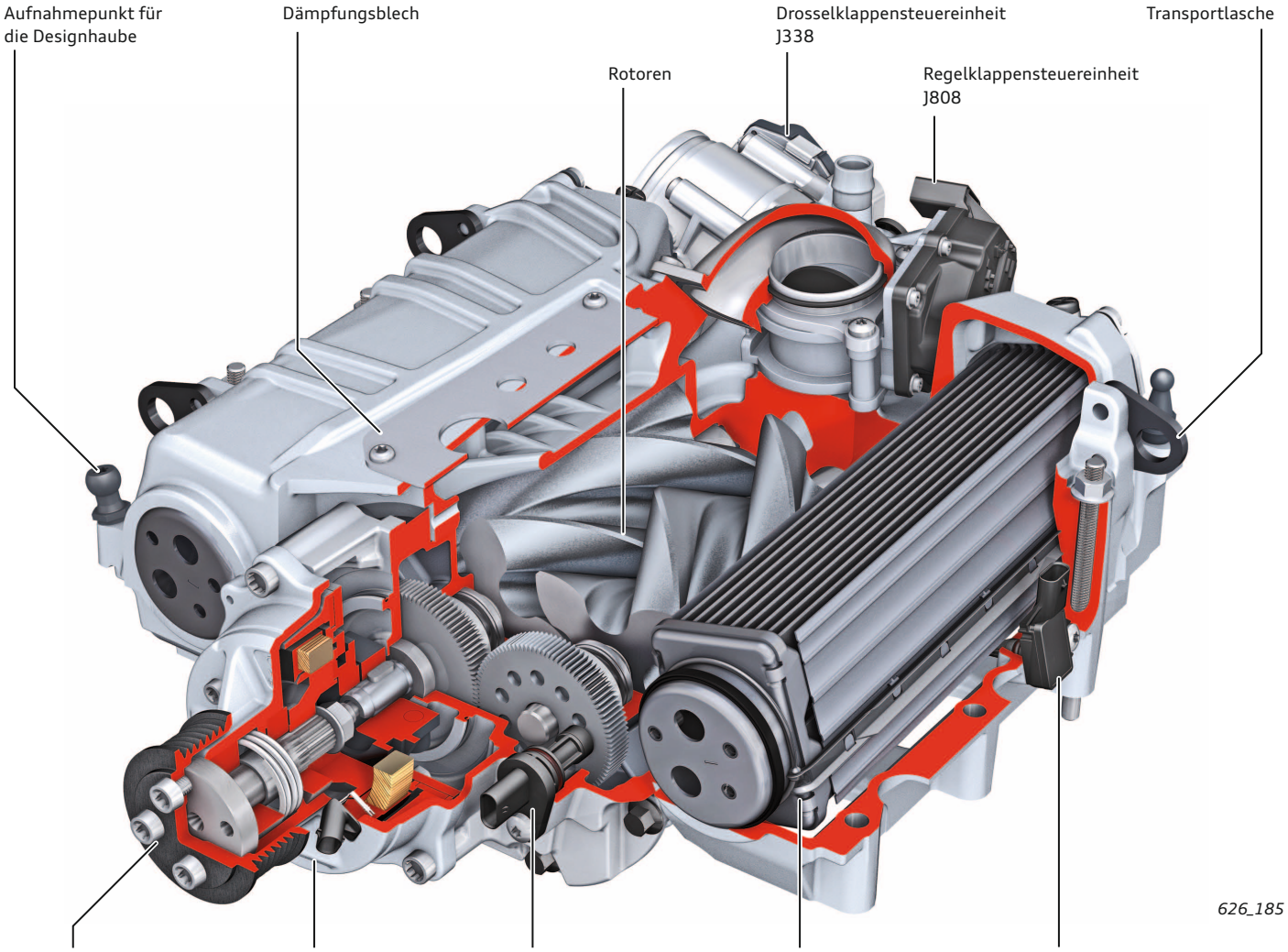


626_184

Aufbau

Das Kompressormodul besteht aus einem Gehäuse, in dem sich 2 Rotoren (Läufer) drehen. Dieser Roots-Lader verfügt über 4-flügelige Rotoren. Jeder Flügel der beiden Rotoren ist um 160° zur Längsachse verdreht. Dadurch erfolgt eine kontinuierlichere und pulsationsärmere Luftförderung. Der Antrieb beider Rotoren erfolgt mechanisch, zum Beispiel über einen Riementrieb von der Kurbelwelle aus. Mit einer Zahnradstufe, außerhalb des Gehäuses, werden beide Rotoren synchron verbunden und drehen sich gegenläufig.

So kämmen sie miteinander. Bei der Konstruktion ist es besonders wichtig, dass die Rotoren miteinander und zum Gehäuse abdichten. Die Schwierigkeit: Dabei darf möglichst keine Reibung entstehen. Bei Betrieb (Drehbewegung der Rotoren) wird die Luft zwischen den Flügeln und der Außenwand vom Lufteintritt (Saugseite) zum Luftaustritt (Druckseite) gefördert. Der Druck der geförderten Luft entsteht durch Rückströmung.



Mechanische Aufladung mit Kompressormodul gegenüber einer Aufladung mit Abgasturbolader im Vergleich

Vorteile:

- Bei Bedarf sofort verfügbarer Ladedruck, der Ladedruck wird kontinuierlich geliefert und steigt mit der Drehzahl.
- Schneller, dynamischer Drehmomentaufbau; frühes Spitzendrehmoment, dadurch gutes Anfahrverhalten.
- Sehr kurze Wege der zu verdichtenden Luft bis in die Zylinder.
- Besseres Abgasverhalten; Grund: Der Katalysator erreicht schneller seine Betriebstemperatur. Bei einem Motor mit Abgasturboaufladung geht ein Teil der Wärmeenergie für den Antrieb des Turboladers verloren.

Nachteile:

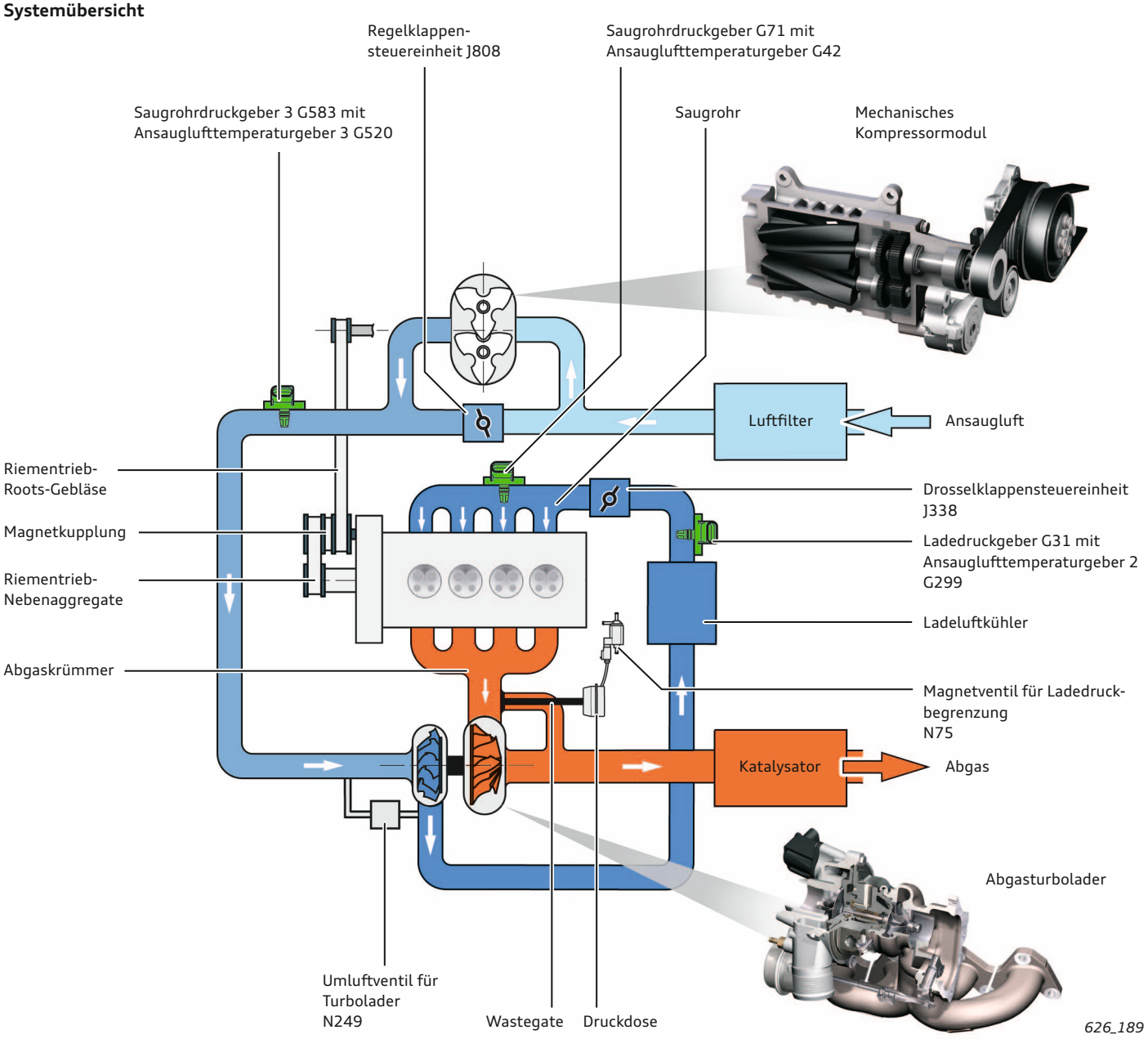
- In der Herstellung sehr aufwendig, aufgrund sehr enger Fertigungstoleranzen (der Rotoren zum Gehäuse und Rotoren zueinander).
- Höhere Empfindlichkeit gegen dem Eindringen von Fremdkörpern in die Reinluftstrecke.
- Großer Aufwand zur Geräuschdämpfung.
- Zum Antrieb des Gebläses geht ein Teil der Motorleistung verloren.

Doppelaufladung (beispielhaft am 1,4l-TFSI mit Doppelaufladung)

Einigen Motoren arbeiten mit einer Kombination aus Kompressormodul und Abgasturbolader. Das heißt, je nach Drehmoment-Anforderung wird der Motor zusätzlich zum Abgasturbolader von einem Kompressormodul aufgeladen. Die Frischluft wird über den Luftfilter angesaugt.

Die Stellung der Regelklappe in der Regelklappensteuereinheit bestimmt, ob die Frischluft über das Kompressormodul und/oder direkt zum Abgasturbolader strömt. Vom Abgasturbolader strömt die Frischluft über den Ladeluftkühler und die Drosselklappensteuereinheit in das Saugrohr. Der Ladedruck wird über das Magnetventil für Ladedruckbegrenzung N75 geregelt.

Systemübersicht



Arbeitsbereiche

Je nach Drehmomentanforderung entscheidet das Motorsteuergerät ob und wenn ja, wie der nötige Ladedruck erzeugt wird. Im unteren Drehzahlbereich reicht die Abgasenergie nicht aus, um den erforderlichen Ladedruck allein zu erzeugen.
Ab einer Mindestdrehmoment-Anforderung und bis zu einer Motordrehzahl von 2400 1/min ist das Kompressormodul ständig zugeschaltet. Der Ladedruck des Kompressormoduls wird über die Regelklappensteuereinheit geregelt.

Bis zu einer maximalen Drehzahl von 3500 1/min wird das Kompressormodul bei Bedarf zugeschaltet. Das ist zum Beispiel erforderlich, wenn in diesem Bereich mit konstanter Geschwindigkeit gefahren und dann stark beschleunigt wird. Aufgrund der Trägheit des Turboladers würde es zu einer verzögerten Beschleunigung (Turboloch) kommen. Deshalb wird hier das Kompressormodul zugeschaltet und so der erforderliche Ladedruck schnellstmöglich erreicht.

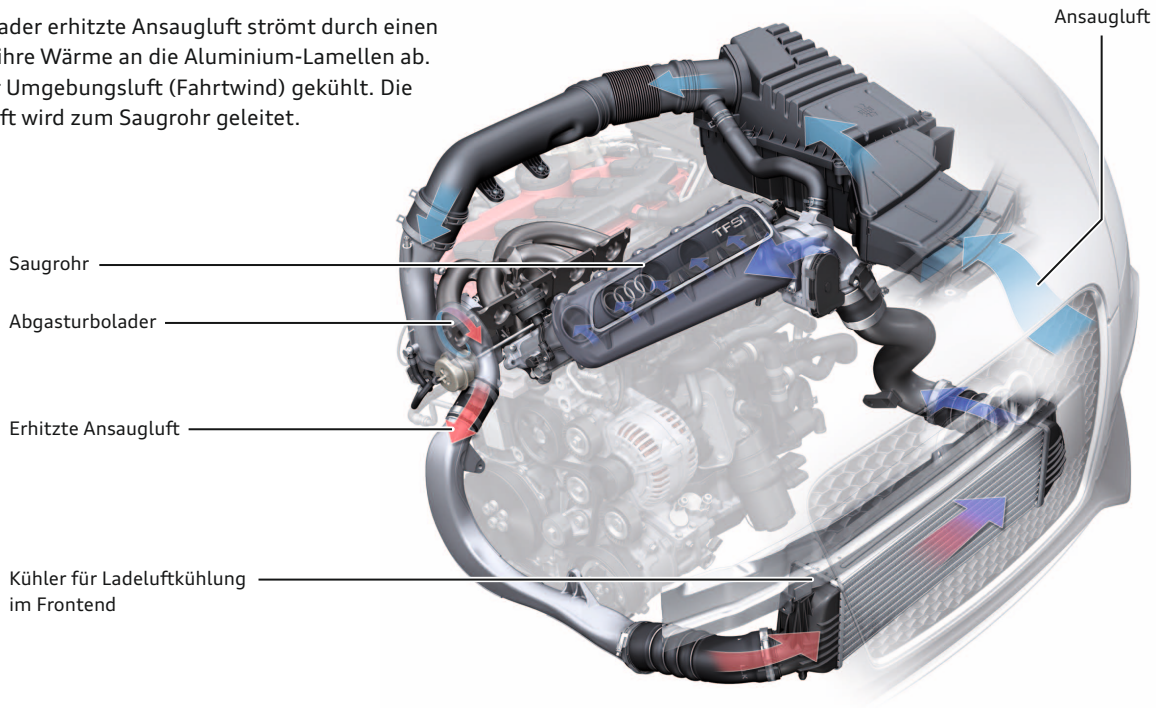
Ladeluftkühlung

Die Ladeluftkühlung ermöglicht einen effizienteren Betrieb von aufgeladenen Motoren. Drehmoment- und Leistungsabgabe lassen sich damit weiter optimieren. Wenn der heiße Turbolader die Ansaugluft vorverdichtet, erhitzt sie sich und dehnt sich dabei aus. Hauptsächlich durch den Verdichtungsprozess, aber auch durch den sehr heißen Abgasturbolader wird die Ansaugluft auf bis zu 200 °C erhitzt. Das wirkt jedoch dem gewünschten Ladedruckeffekt entgegen.

Denn in kühlerer Luft befinden sich bei vergleichbarem Volumen mehr Sauerstoff-Moleküle als in warmer. Damit verbessert sich der Füllungsgrad des Motors – die abgegebene Leistung steigt. Durch den Einsatz eines Ladeluftkühlers zwischen Turbolader und Saugrohr lässt sich die Temperatur der Ansaugluft um bis zu 50 °C reduzieren. Des Weiteren sinken durch die Kühlung die Klopfneigung (bei Benzinmotoren) und die Entstehung von Stickoxiden.

Luft/Luft-Ladeluftkühlung (beispielhaft am 2,5l-R5-TFSI-Motor)

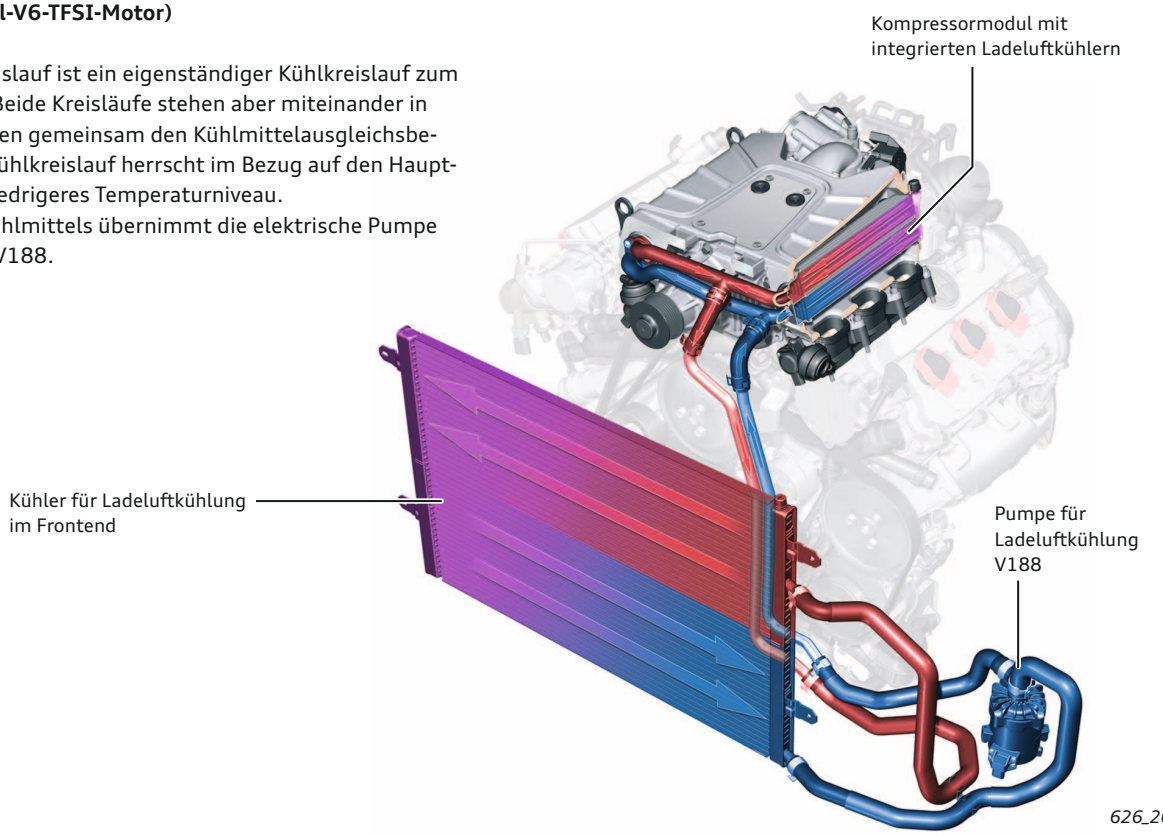
Die vom Abgasturbolader erhitzte Ansaugluft strömt durch einen Kühler und gibt dort ihre Wärme an die Aluminium-Lamellen ab. Diese werden von der Umgebungsluft (Fahrtwind) gekühlt. Die abgekühlte Ansaugluft wird zum Saugrohr geleitet.



626_208

Luft/Wasser-Ladeluftkühlung (beispielhaft am 3,0l-V6-TFSI-Motor)

Der Ladeluft-Kühlkreislauf ist ein eigenständiger Kühlkreislauf zum Hauptkühlkreislauf. Beide Kreisläufe stehen aber miteinander in Verbindung und nutzen gemeinsam den Kühlmittelausgleichsbehälter. Im Ladeluft-Kühlkreislauf herrscht im Bezug auf den Hauptkreislauf meist ein niedrigeres Temperaturniveau.
Die Förderung des Kühlmittels übernimmt die elektrische Pumpe für Ladeluftkühlung V188.



626_209

Abgasrückführung

Bei hohen Brennraumtemperaturen bilden sich bei einer Verbrennung mit Luftüberschuss in jedem Verbrennungsmotor unerwünschte Stickoxide. Ein großer Teil davon lässt sich mithilfe der Abgasrückführung vermeiden. Das sogenannte AGR-System leitet einen Teil des Abgases in die Brennräume zurück. Je nach Motor bilden zurückgeführte Abgase dann bis zu 20 % der Zylinderfüllungen.

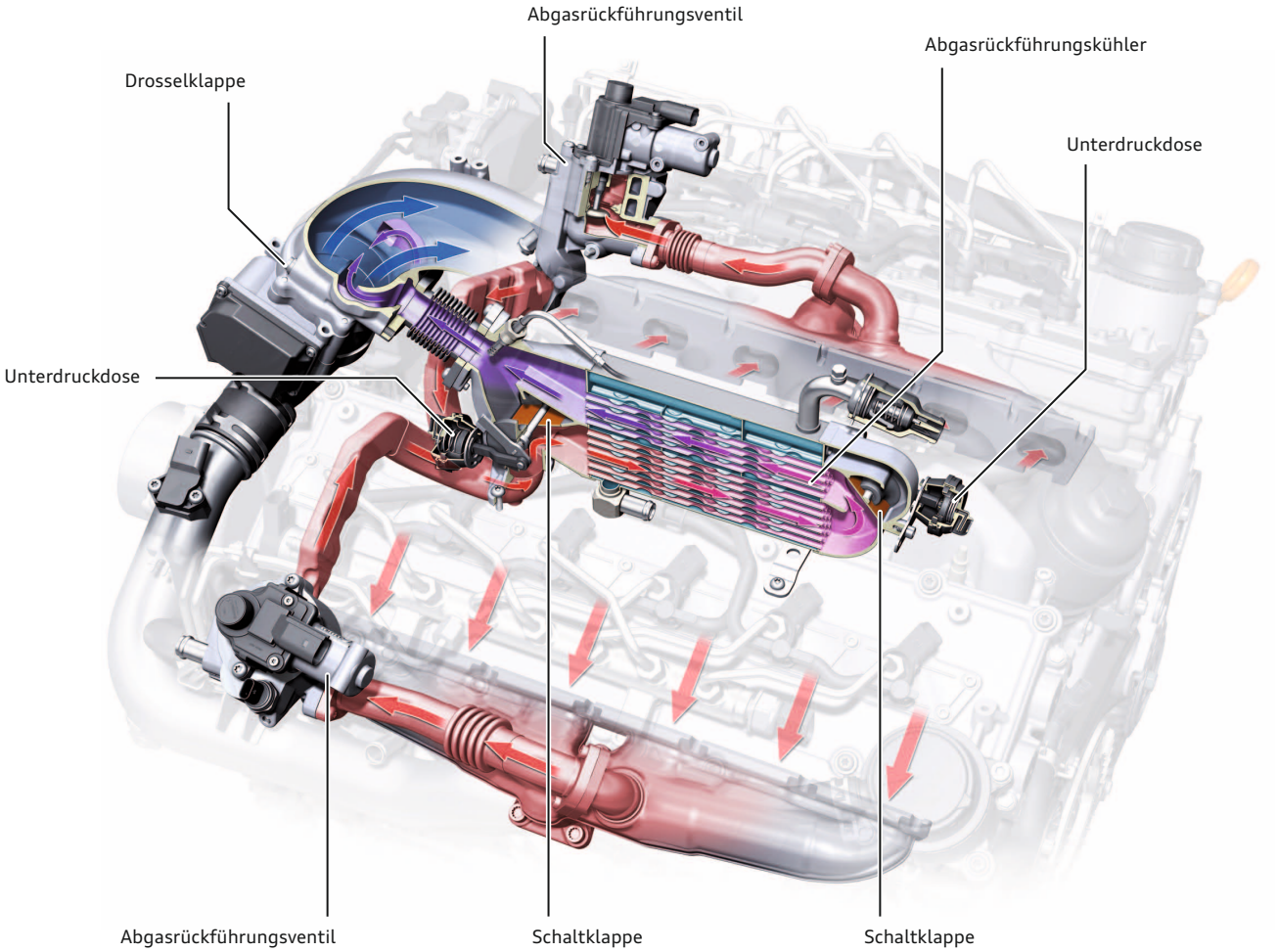
Dadurch verringert sich der Anteil an frischer, sauerstoffreicher Luft, was die im Brennraum ablaufenden chemischen Reaktionen hemmt. Dies führt dazu, dass die Verbrennungstemperaturen sinken, was deutlich weniger NO_x entstehen lässt. Je nach Entnahmepunkt des Abgases unterscheidet man in externe und interne AGR-Systeme.

Externe Abgasrückführung

Die externe Abgasrückführung zeichnet sich dadurch aus, dass das Abgas auf der Auslassseite des Motors aus dem Abgaskrümmer entnommen und der Verbrennung wieder zugeführt wird. Um die stickoxidmindernde Wirkung noch zu steigern, verwenden moderne Motoren eine zusätzliche Kühlung für ihr externes AGR-System.

Dabei durchströmt das Abgas auf dem Rückweg zum Motor einen kennfeldgesteuerten Wasserkühler. Die Kühlung sorgt dafür, dass eine höhere Menge an Abgas zurückgeführt werden kann, gleichzeitig wird die Brennraumtemperatur weiter reduziert.

Aufbau
(beispielhaft an einem V12-TDI-Motor)



626_183

Audi QR-Code

Scannen Sie den QR-Code und sehen Sie sich eine externe Abgasrückführung im Betrieb an.

Schaltbarer Abgasrückführungskühler

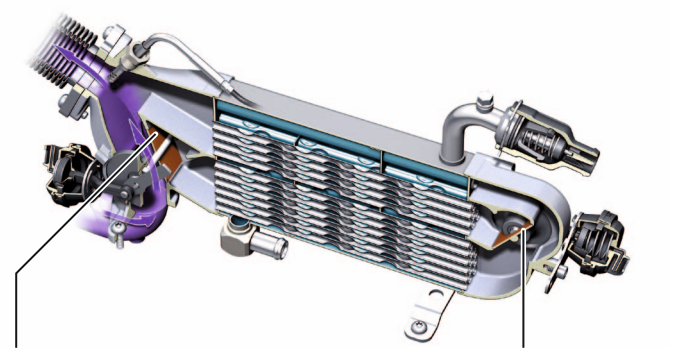
Moderne Motoren verfügen über einen schaltbaren Abgasrückführungskühler, den das zurückgeführte Abgas durchströmt, bevor es der Verbrennung erneut zugeführt wird. Um möglichst niedrige Temperaturen des rückgeführten Abgases zu erreichen, ist der AGR-Kühler an einen separaten Niedertemperatur-Kühlkreislauf angeschlossen. Das Kühlwasser wird hierbei direkt am Austritt des Hauptwasserkühlers entnommen und mittels einer elektrischen Pumpe zum AGR-Kühler gefördert.

Je nach Betriebstemperatur schaltet der Kühler eine aktive Kühlung des Abgases zu oder ab. Dies ermöglicht eine weitere Reduzierung der Stickoxidemissionen. Bei kaltem Motor werden die heißen Abgase über den Bypasskanal direkt in den Brennraum geführt. Dies dient der schnellen Aufheizung des Oxydationskatalysators und des Kühlmittels. Folgende Abbildungen zeigen die 3-stufige Regelung des 6,0l-V12-TDI-Motors.

Kühler für Abgasrückführung durchströmt – Zusatzkühler im Bypass

Stufe 1 - Bypass-Betrieb

- Bypassklappe am Eingang zum AGR-Kühler ist geschlossen.
- Abgase strömen bei kaltem Motor und niedrigen Außentemperaturen direkt in das Saugrohr.



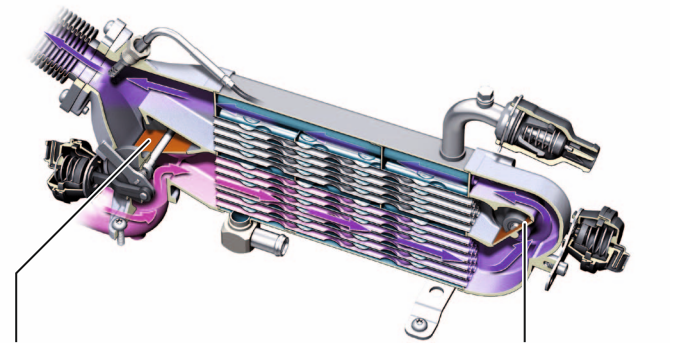
Bypassklappe geschlossen Bypassklappe geschlossen

626_257

Kühler für Abgasrückführung durchströmt – Zusatzkühler halbe Leistung

Stufe 2 - Mittlere Kühlleistung

- Kühlbetrieb 1
- Bypassklappe am Eingang zum AGR-Kühler ist geöffnet.
- Bypassklappe im AGR-Kühler ist geschlossen.
- Abgase strömen im unteren Teil des AGR-Kühlers in das Saugrohr.



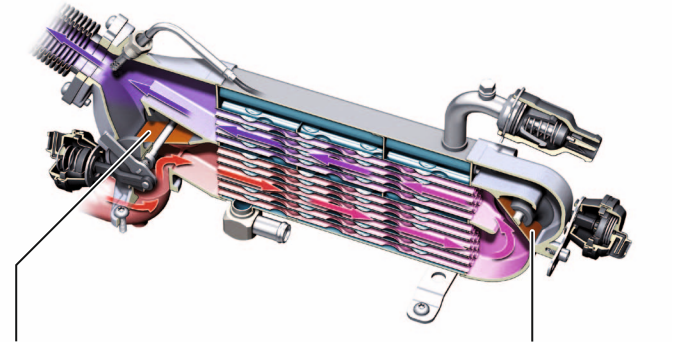
Bypassklappe geöffnet Bypassklappe geschlossen

626_258

Kühler für Abgasrückführung durchströmt – Zusatzkühler durchströmt

Stufe 3 - Maximale Kühlleistung

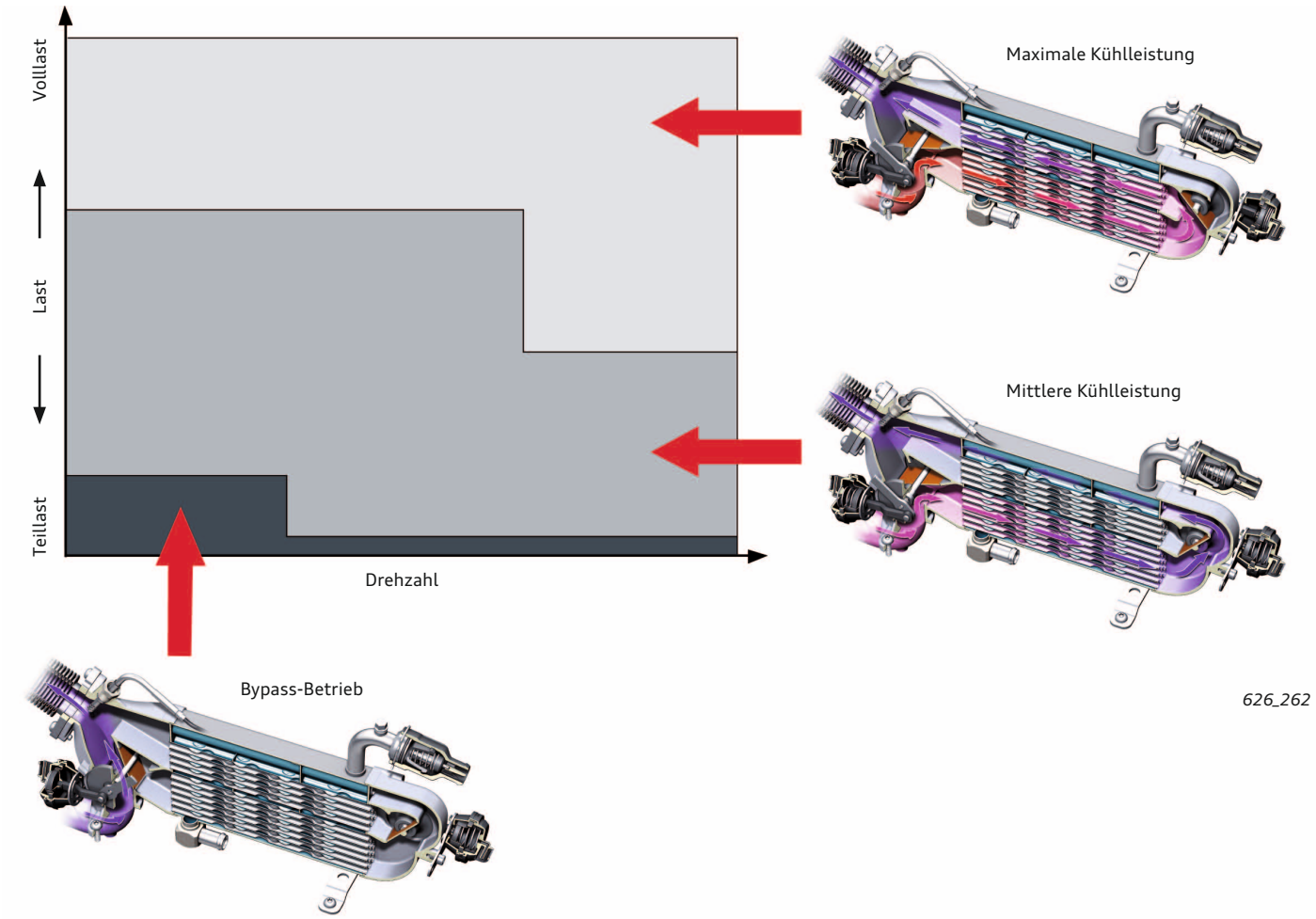
- Kühlbetrieb 2
- Motor unter Last
- Hohe Außentemperatur
- Bypassklappe am Eingang zum AGR-Kühler ist geöffnet.
- Bypassklappe im AGR-Kühler ist geöffnet.
- Abgase strömen durch alle Kühlkanäle des AGR-Kühlers in das Saugrohr.



Bypassklappe geöffnet Bypassklappe geöffnet

626_259

Schaltschema der externen Abgasrückführung



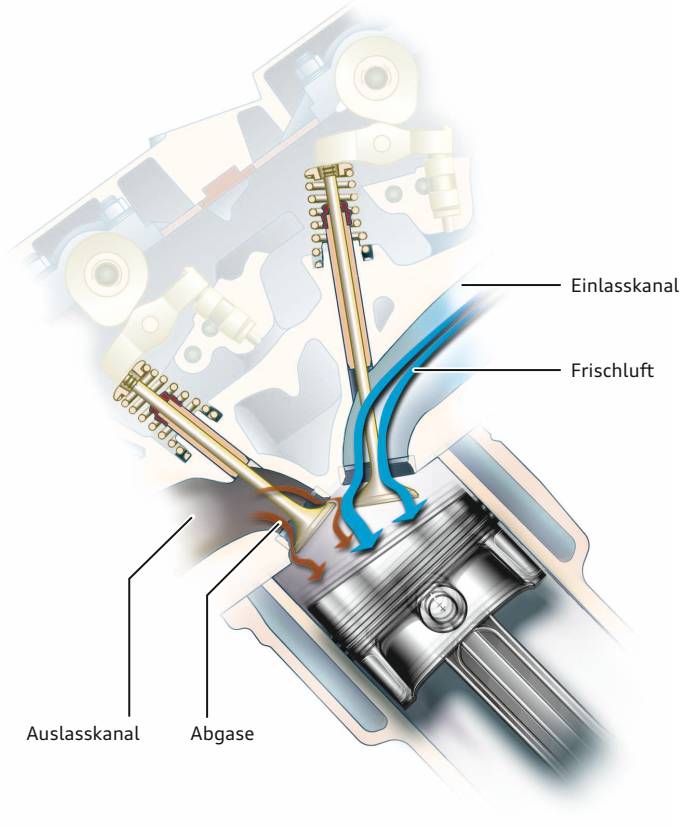
626_262

Interne Abgasrückführung bei Benzinmotoren

Auch bei der internen Abgasrückführung werden Abgase erneut der Verbrennung zugeführt, um die Stickoxidemission zu verringern. Unterschied zur externen AGR ist, dass die Abgase nicht aus dem Abgastrakt entnommen werden.

Voraussetzung für den Betrieb einer internen Abgasrückführung ist, dass der Motor über eine Nockenwellenverstellung verfügt.

Bei der internen AGR wird ein Teil der Abgase direkt nach der Verbrennung wieder in den Brennraum gesogen. Dafür wird die Nockenwelle der Auslassventile so verstellt, dass diese etwas später schließen als sie es sonst täten. Dadurch wird ein Teil der gerade in den Auslasskanal gedrückten Abgase, während der Abwärtsbewegung des Kolbens, wieder zurück in den Brennraum gesogen und vermischt sich dort mit der angesaugten Frischluft und dem eingespritztem Kraftstoff.



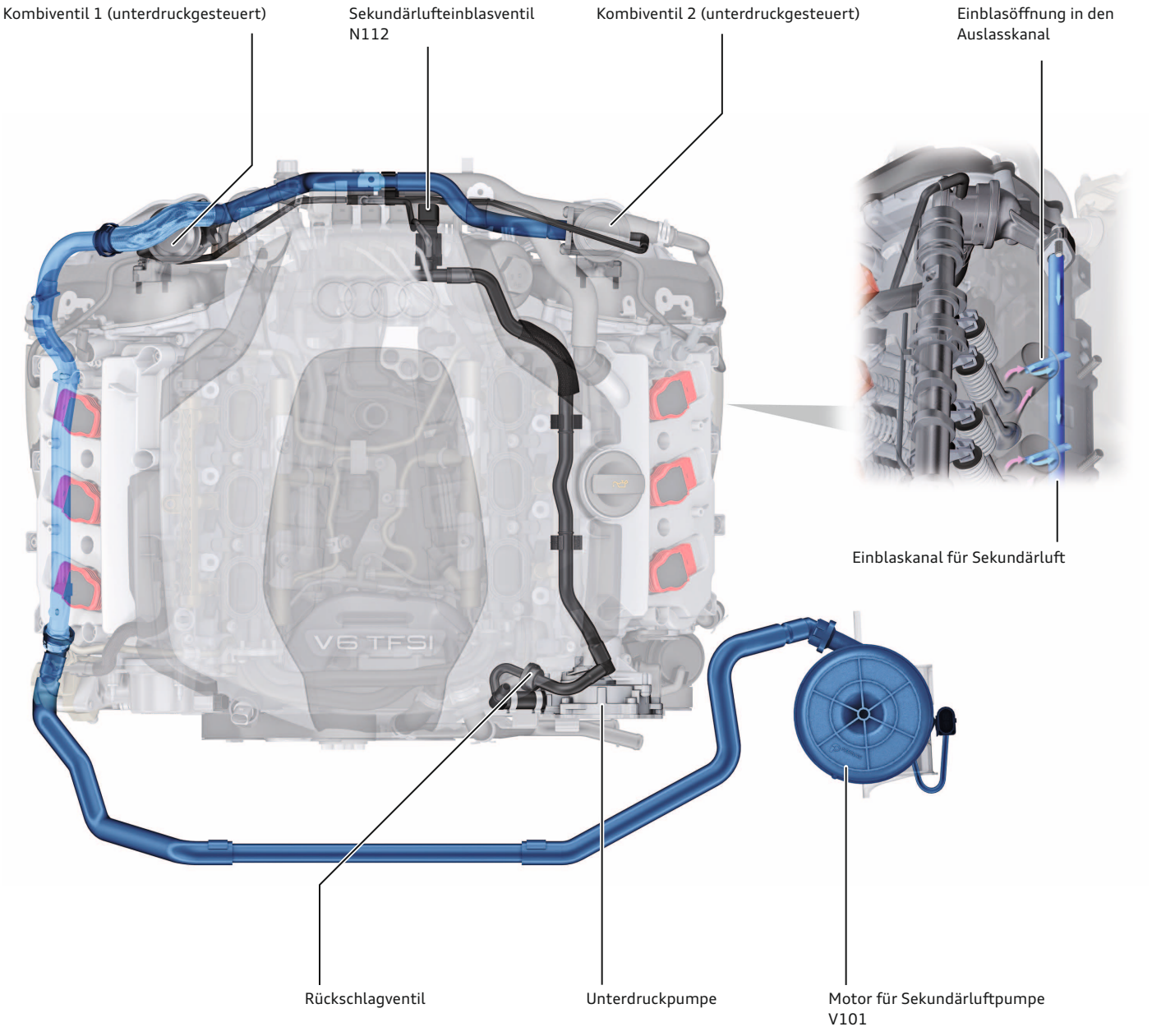
626_192

Sekundärluftsystem bei Benzinmotoren

Aufgrund der hohen Gemischanreicherung während des Kaltstarts und in der Warmlaufphase entsteht in dieser Zeit ein erhöhter Anteil an unverbrannten Kohlenwasserstoffen im Abgas.

In diesem Betriebszustand kann der Katalysator seine Aufgabe nicht verrichten, weil:

- Die nötige Betriebstemperatur des Katalysators ist noch nicht erreicht.
- Zur vollständigen Umsetzung muss ein Gemisch von λ = 1 vorhanden sein.



626_266

Funktion

Durch Lufteinblasung hinter die Auslassventile erfolgt eine Sauerstoffanreicherung der Abgase, wodurch eine Nachoxidation (Nachverbrennung) der Kohlenwasserstoffe und des Kohlenmonoxids stattfindet. Die dabei freigesetzte Wärme heizt den Katalysator zusätzlich auf und bringt ihn schneller auf Betriebstemperatur.

Das Sekundärluftsystem besteht aus:

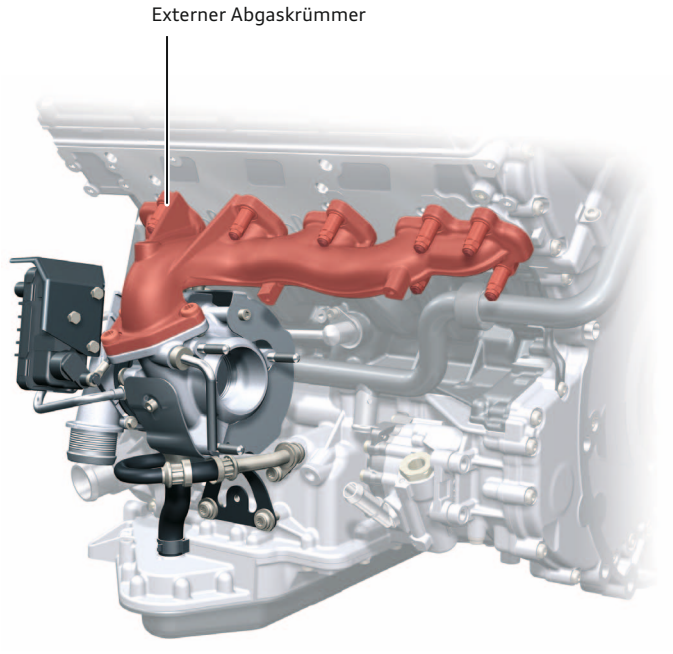
- Sekundärluftpumpe V101
- 2 Kombiventile
- Sekundärlufteinblasventil N112

Abgaskrümmer

Der Abgaskrümmer hat die Aufgabe, die Abgase der einzelnen Zylinder zu sammeln und der Abgasanlage zuzuführen. Dieses Bauteil kann direkt an den Motor angeschraubt, in den Motor integriert oder innerhalb eines Krümmer-Abgasturbolader-Moduls verbaut sein.

Externer Abgaskrümmer

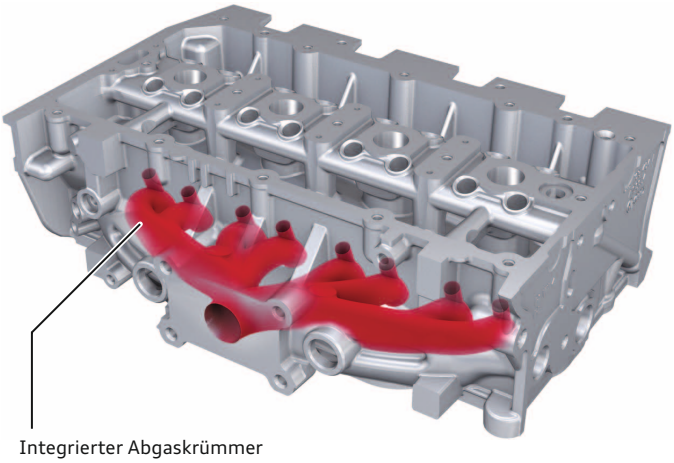
Der externe Abgaskrümmer befindet sich außerhalb des Motorblocks und ist mit diesem direkt verschraubt. Nachteil dieser Bauform ist, dass der sich anschließende Katalysator nicht direkt am Motorblock sitzen kann. Dem Katalysator fehlt dadurch die Wärmestrahlung und er benötigt länger, um auf Betriebstemperatur zu kommen. Diesem Effekt kann man mit sogenannten luftspaltisolierten Abgaskrümmern entgegenwirken. Dabei wird der Abgaskrümmer mit einer zusätzlichen Metallhülle ummantelt. Zwischen Mantelung und Abgaskrümmer entsteht so ein luftgefüllter Raum, welcher den Krümmer isoliert. Als Folge gelangt das Abgas mit höherer Temperatur in den Katalysator und bringt diesen schneller auf Betriebstemperatur.



626_194

Integrierter Abgaskrümmer

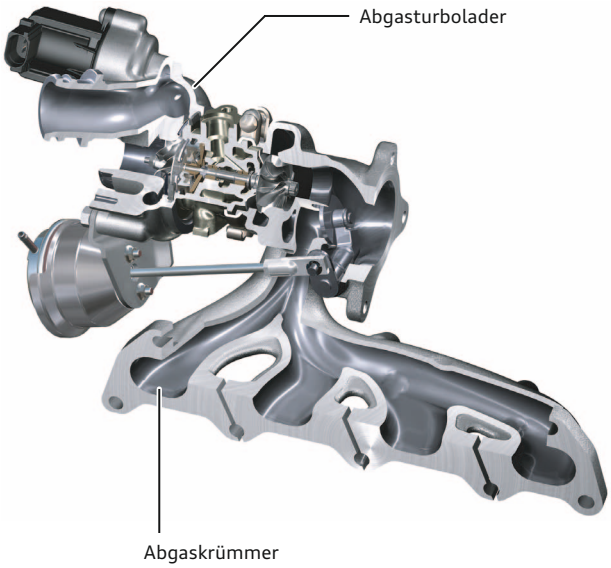
Beim integrierten Abgaskrümmer werden die Auslasskanäle innerhalb des Zylinderkopfs zu einem zentralen Flansch zusammengeführt. An diesen Flansch wird der Katalysator direkt angeschraubt. Neben Kraftstoffeinsparung und thermischen Vorteilen bringt diese konstruktive Lösung eine Gewichtseinsparung gegenüber einem herkömmlichen Abgaskrümmer.



626_204

Krümmer-Abgasturbolader-Modul

Bei dieser Variante sind der Abgaskrümmer und der Abgasturbolader in einem Modul integriert. Vorteile dieser kompakten Bauweise sind eine Reduzierung von Gewicht, die Einsparung einer Dichtstelle und eine Verringerung der Teileanzahl. Ein erheblicher Nachteil ist, dass bei einem Funktionsausfall einer einzelnen Komponente der Austausch des gesamten Moduls notwendig wird.



626_205

Abgasanlage

Die Abgasanlage befindet sich in den meisten Fällen am Unterboden des Fahrzeugs. Sie besteht aus mehreren Komponenten und muss eine Reihe von Aufgaben erfüllen:

- Die aus dem Verbrennungsraum mit starken Impulsen austretenden Abgase so zu dämpfen, dass ein bestimmter Gräuschpegel nicht überschritten wird. Der Leistungsverlust soll dabei möglichst gering bleiben.
- Abgase sicher ableiten, so dass ein Eindringen in das Fahrzeuginnere verhindert wird.
- Schadstoffanteile im Abgas auf die vorgeschriebenen Grenzwerte verringern.
- Geräuschemissionen einhalten und eine gewünschte Geräuschkulisse erzeugen.

Komponenten

Abgasanlagen können sich aus folgenden Komponenten zusammensetzen:

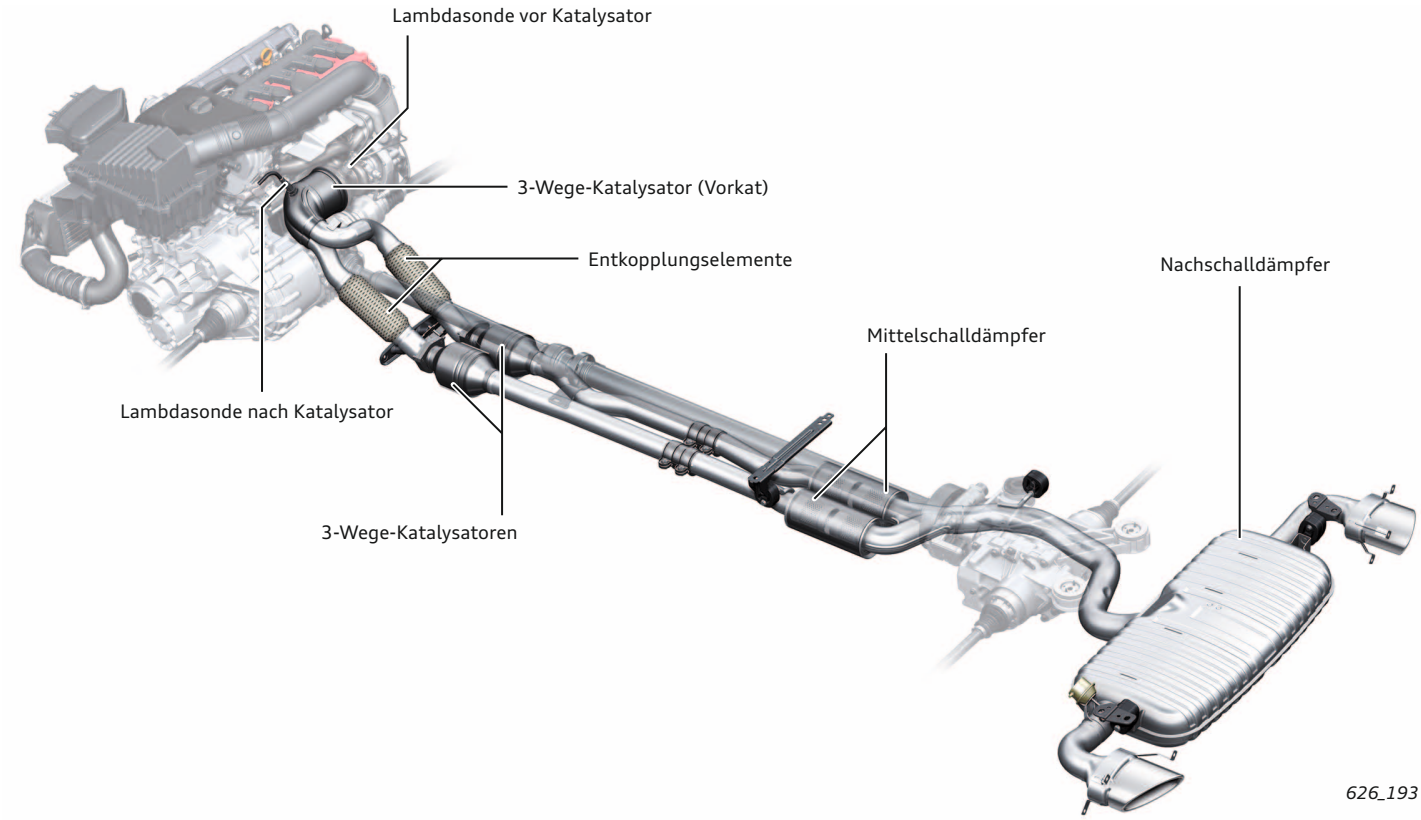
- Abgasrohre
- Abgaskrümmer
  - Externer Abgaskrümmer
  - Integrierter Abgaskrümmer
  - Krümmer-Abgasturbolader-Modul
- Katalysatoren
  - 3-Wege-Katalysator bei Benzinmotoren
  - Oxidationskatalysator bei Dieselmotoren
  - Dieselpartikelfilter bei Dieselmotoren
  - SCR-System bei Dieselmotoren
- Entkopplungselemente
- Schalldämpfer
  - Reflexionsschalldämpfer
  - Absorptionsschalldämpfer
  - Abgasklappen

Aufbau und Funktion

(beispielhaft am Audi TT RS mit 5-Zylinder-TFSI-Motor)

Direkt nach der Verbrennung strömen die Abgase durch das Krümmer-Abgasturbolader-Modul. Der nun gesammelte Abgasstrom durchströmt zunächst einen Katalysator, welcher Schadstoffpartikel herausfiltert. Die motornahe Anordnung hat den Vorteil, dass der Katalysator nach Motorstart schnell seine Betriebstemperatur erreicht. Vor und hinter dem Katalysator befinden sich Lambdasonden. Die Sonde vor dem Katalysator überprüft den Sauerstoffgehalt des Abgases, um einen Grundwert zu ermitteln. Die Sonde nach dem Katalysator ermittelt erneut die Abgaswerte und vergleicht diese mit dem Grundwert, um die Arbeitsweise des Katalysators zu überprüfen.

Im weiteren Verlauf durchströmen die Abgase sogenannte Entkopplungselemente. Diese Bauteile gleichen unerwünschte Schwingungen aus und verhindert damit eine Übertragung der Schwingungen auf die gesamte Abgasanlage und auf die Karosserie. Je nach Fahrzeugtyp können sich im Anschluss noch weitere Katalysatoren befinden. Im letzten Abschnitt der Abgasanlage durchströmen die Abgase ein oder mehrere Schalldämpfer, welche die Geräuschkulisse auf ein vorgeschriebenes Maß reduzieren. Als Verbindungsrohre für die einzelnen Komponenten werden aluminiumbeschichtete Stahlrohre verwendet.



626_193

Katalysatoren

Katalysatoren werden eingesetzt, um die bei der Verbrennung entstandenen Abgase nachzubehandeln. Ziel ist es dabei, die im Abgas enthaltenen Schadstoffe ganz oder teilweise in unschädliche Stoffe umzuwandeln. Je nach Motorvariante können dafür verschiedene Systeme zum Einsatz kommen.

3-Wege-Katalysator bei Benzinmotoren

Die Abgasreinigung bei Benzinmotoren wird von sogenannten 3-Wege-Katalysatoren übernommen. Der Name leitet sich davon ab, dass diese Katalysatoren gleichzeitig 3 Schadstoffarten umwandeln können. Die Regelung der katalytischen Reinigung wird vom Motorsteuergerät realisiert, indem der Sauerstoffgehalt des Abgases von der Lambdasonde an das Motorsteuergerät gemeldet wird und das Motorsteuergerät das Kraftstoff-Luft-Gemisch auf ein Verhältnis von $\lambda = 1$ einstellt.

Der Katalysator entfaltet seine reinigende Wirkung ab einer Temperatur von etwa 300 °C und benötigt bei einem Kaltstart eine gewisse Zeit zum Aufheizen. Damit die Aufheizphase verkürzt und die Abgase schneller gereinigt werden, kommen bei modernen Abgasanlagen Vorkatalysatoren zum Einsatz. Diese Vorkatalysatoren sitzen nah am Abgaskrümmer, sind in der Regel kleiner dimensioniert und erreichen dadurch schneller ihre Betriebstemperatur.

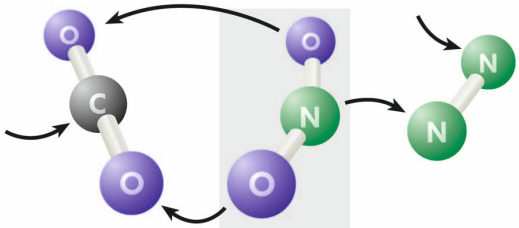
Katalytische Reinigung

Grundlage für die hier stattfindende katalytische Reinigung bilden 2 chemische Prozesse:

Chemischer Prozess	Charakteristik
Reduktion	Den Abgaskomponenten wird Sauerstoff entzogen.
Oxidation	Den Abgaskomponenten wird Sauerstoff zugeführt.

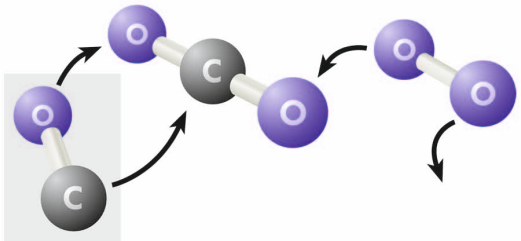
Mithilfe dieser beiden chemischen Prozesse wandelt der 3-Wege-Katalysator gleichzeitig 3 Schadstoffarten wie folgt um:

Reduktion



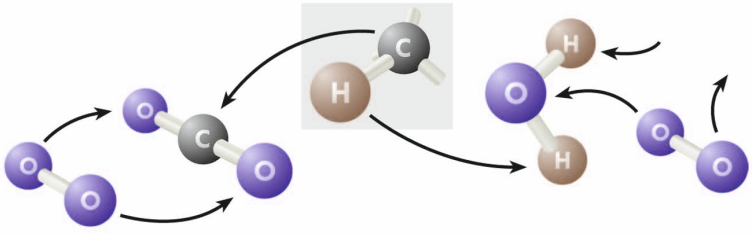
Stickoxide NO_x reduzieren zu Kohlendioxid CO_2 und Stickstoff N_2.

Oxidation



Kohlenmonoxid CO oxidiert zu Kohlendioxid CO_2.

Oxidation



Kohlenwasserstoff HC oxidiert zu Kohlendioxid CO_2 und Wasser H_2O.

626_211

Katalysatoren bei Dieselmotoren

Dieselmotoren arbeiten mit einem Überschuss an Sauerstoff im Kraftstoff-Luft-Gemisch (λ > 1), was eine hohe Sauerstoffkonzentration im Abgas zur Folge hat. Aus diesem Grund ist für den Betrieb des Katalysators keine Regelung des Sauerstoffanteils durch Lambdasonden notwendig.

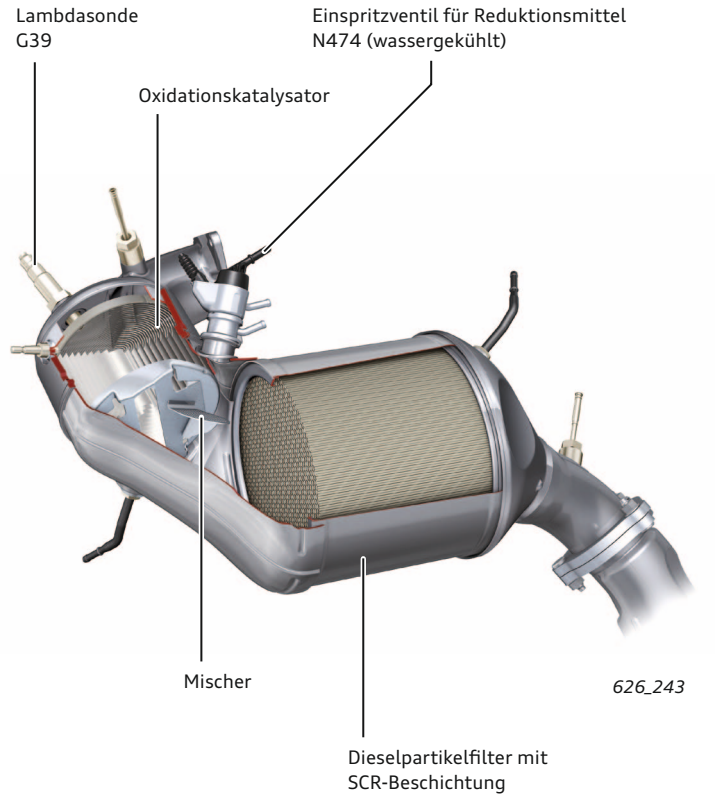
Um die unterschiedlichen Schadstoffarten umwandeln zu können, verfügen Dieselmotoren über mehrere Katalysatoren, welche jeweils andere Funktion übernehmen.

Oxidationskatalysator

Der Oxidationskatalysator macht sich den hohen Restanteil an Sauerstoff im Abgas zu Nutzen. Dabei kann dieser Katalysator lediglich die oxidierbaren Anteile im Abgase umwandeln. Die Oxidationsreaktionen laufen hier identisch zum 3-Wege-Katalysator ab. Aufgrund der niedrigen Abgastemperaturen sind Oxidationskatalysatoren von Dieselmotoren meist in der Nähe des Abgaskrümmers verbaut. Das Innere des Katalysators besteht aus Platin und Palladium.

Dieselpartikelfilter

Der Dieselpartikelfilter ist im Abgasstrom dem Oxidationskatalysator nachgeordnet und filtert die Rußpartikel aus dem Abgas. Damit sich der Partikelfilter nicht mit Rußpartikeln zusetzt und in seiner Funktion beeinträchtigt wird, muss er regelmäßig regeneriert werden. Beim Regenerationsvorgang werden die im Partikelfilter gesammelten Rußpartikel durch eine Reaktion mit Stickstoffdioxid in Kohlendioxid umgewandelt (oxidiert).



Die Regeneration des Partikelfilters erfolgt in folgenden Stufen:

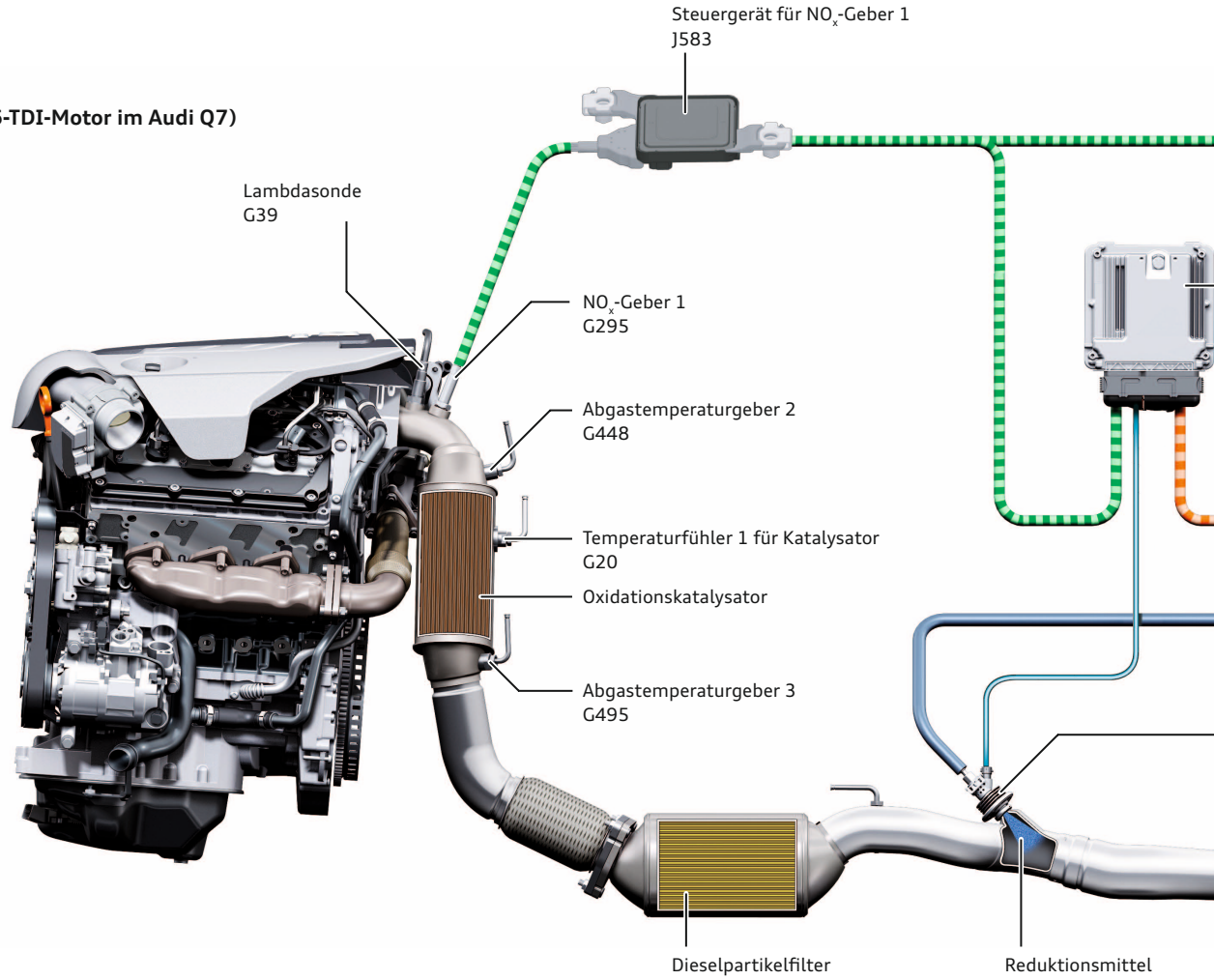
Regenerationsstufe	Charakteristik
Passive Regeneration	Während der passiven Regeneration werden die Rußpartikel, ohne Eingriff der Motorsteuerung, kontinuierlich verbrannt. Dies geschieht überwiegend bei hoher Motorlast, zum Beispiel im Autobahnbetrieb, bei Abgastemperaturen von 350 °C – 500 °C.
Aktive Regeneration	Bei häufigem Stadtverkehr sind die Abgastemperaturen für eine passive Regeneration zu niedrig. Der Filter setzt sich dann mit Rußpartikeln zu. Ist eine definierte Rußbeladung erreicht, wird eine aktive Regeneration über das Motormanagement eingeleitet. Dabei wird die Abgastemperatur gezielt auf bis zu 750 °C erhöht, was das Verbrennen der eingelagerten Rußpartikel zur Folge hat.
Regenerationsfahrt durch den Kunden	Wird das Fahrzeug ausschließlich im extremen Kurzstreckenverkehr betrieben, erreicht das Abgas nicht die nötige Temperatur, um den Dieselpartikelfilter regenerieren zu können. Überschreitet die Rußpartikelbeladung des Filters einen Grenzwert, wird der Fahrer über eine Kontrollleuchte im Kombiinstrument darüber informiert, dass er eine Regenerationsfahrt durchführen muss. Dabei muss das Fahrzeug über einen kurzen Zeitraum mit erhöhter Geschwindigkeit gefahren werden, damit eine ausreichend hohe Abgastemperatur erreicht werden kann, um eine Regeneration durchführen zu können.
Service-Regeneration	Wenn die Regenerationsfahrt nicht erfolgreich verlaufen ist und die Rußpartikelbeladung des Filters nicht abgebaut werden konnte, ist eine Service-Regeneration in einer Werkstatt notwendig. Der Fahrer wird in diesem Fall durch Kontrollleuchten und ggf. Displaytexte im Kombiinstrument darauf hingewiesen, dass er eine Werkstatt aufsuchen muss.

Selectiv Catalytic Reduktion System (SCR)

Das System ist ein Teilbereich der Abgasnachbehandlung. Mithilfe eines DeNO$_x$-Katalysators und unter Einsatz eines Reduktionsmittels werden hier die Stickoxide, welche von Oxidationskatalysator und Dieselpartikelfilter nicht erfasst und umgewandelt werden können, gebunden und reagieren zu Stickstoff und Wasser.

Als Reduktionsmittel kommt eine hochreine, transparente 32,5-prozentige Harnstoff-Wasser-Lösung zum Einsatz, die in Europa unter dem Markennamen AdBlue® und in den USA unter der Bezeichnung Diesel Exhaust Fluid AdBlue® vertrieben wird.

Aufbau
(beispielhaft am 3,0l-V6-TDI-Motor im Audi Q7)



Funktion

Der DeNo$_x$-Katalysator hat einige Minuten nach dem Motorstart seine Betriebstemperatur mit 180 °C Abgastemperatur erreicht. Ab dieser Temperaturinformation, welche vom Abgastemperaturgeber 4 G648 vor dem DeNo$_x$-Katalysator ans Motorsteuergerät J623 übertragen wird, kann das Reduktionsmittel eingespritzt (eindosiert) werden. In der Strecke vom Einspritzventil N474 bis zum und im DeNo$_x$-Katalysator laufen verschiedene chemische Prozesse ab.

Wird das Reduktionsmittel in einen heißen Gasstrom eingespritzt, verdampft zunächst das Wasser. Es folgt dann die Thermolyse, bei der sich Harnstoff in Isocyansäure und Ammoniak zersetzt.

Ammoniak wird im DeNo$_x$-Katalysator eingespeichert und reagiert mit Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) aus dem Abgasstrom zu Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O).

Sofern heiße Oberflächen zur Verfügung stehen, kann die Isocyansäure durch Hydrolyse in Kohlendioxid und ein weiteres Molekül Ammoniak umgewandelt werden.

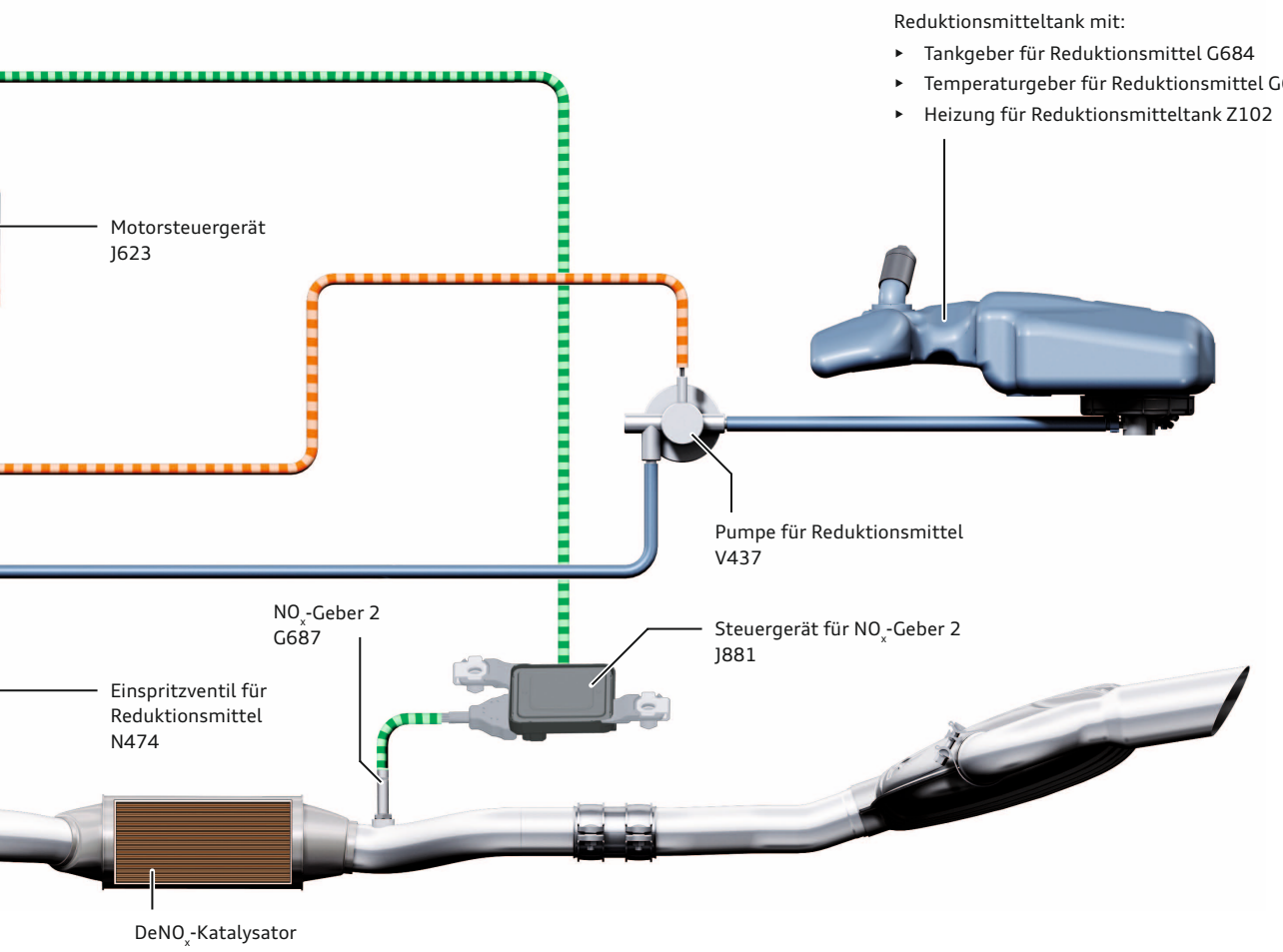
Das für die Reaktion notwendige Wasser steht im Abgasstrom als Reaktionsprodukt aus den motorischen Verbrennungsprozessen zur Verfügung. Aus einem Molekül Harnstoff können so 2 Moleküle Ammoniak gewonnen und für Reaktionen am Reduktions-Katalysator genutzt werden.

Thermolyse = Eine chemische Reaktion, bei der ein Ausgangsstoff durch Erhitzen in mehrere Stoffe zersetzt wird.

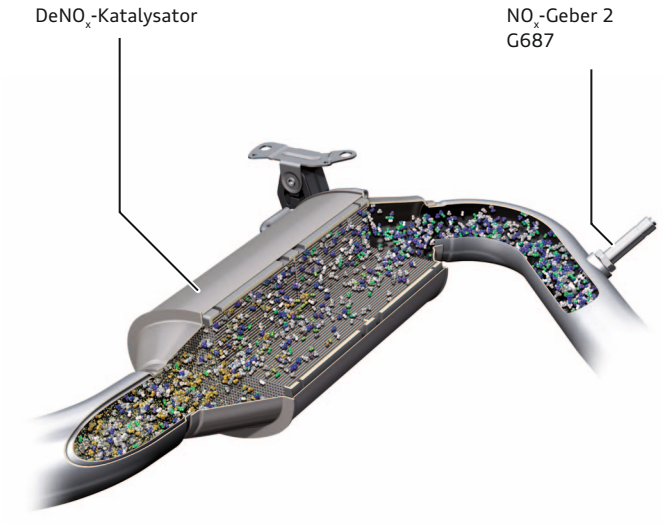
Hydrolyse = Spaltung einer chemischen Verbindung durch Wasser.

Audi QR-Code

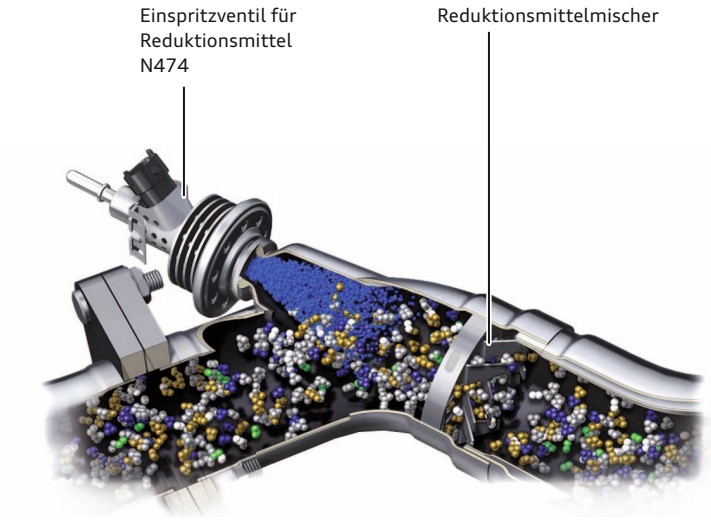
Scannen Sie den QR-Code und sehen Sie sich eine Abgasanlage mit SCR-System im Betrieb an.



626_210



626_212

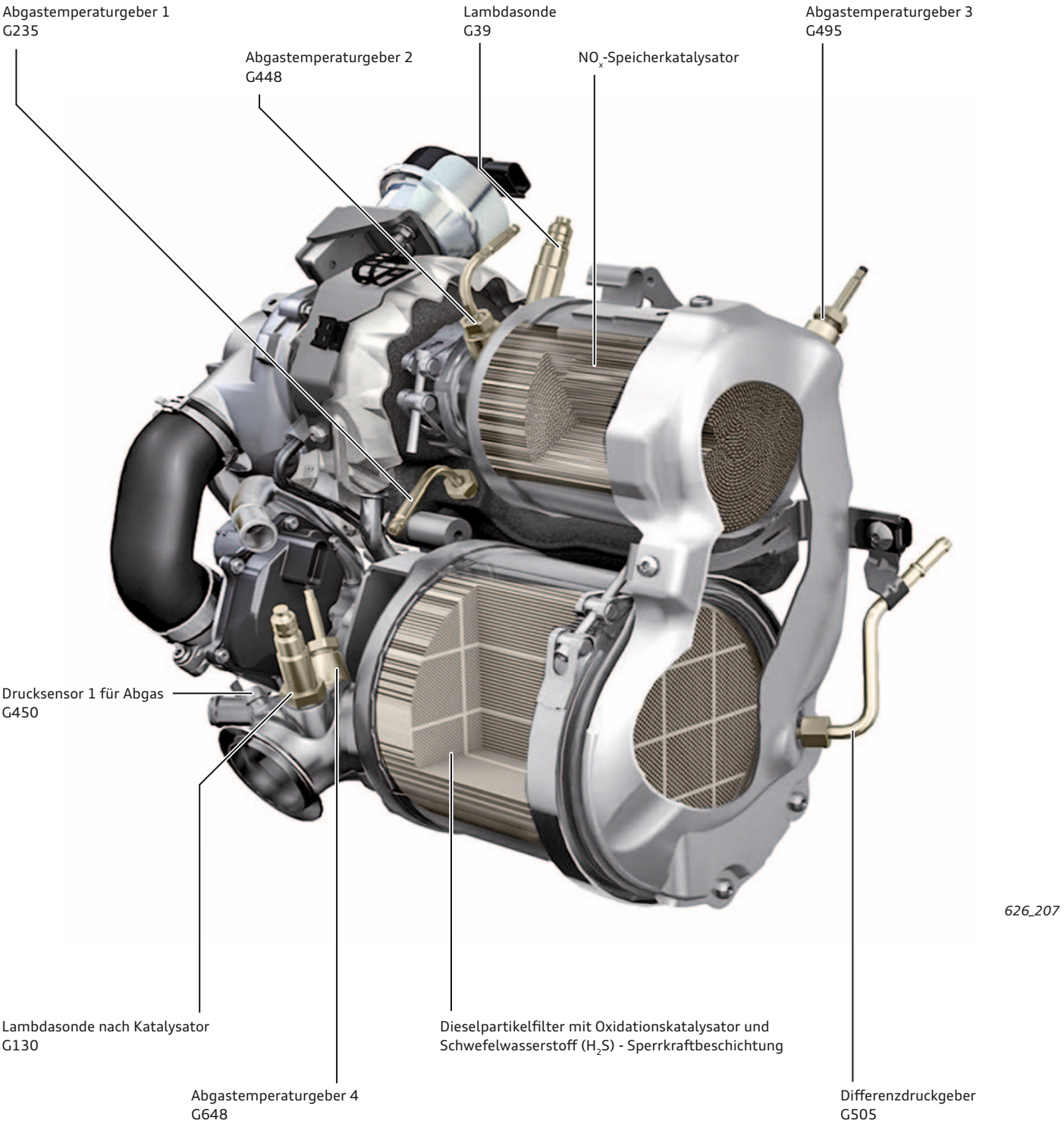


626_213

Abgasreinigungsmodul bei Dieselmotoren

Bei einigen Dieselmotoren kommt ein sogenanntes Abgasreinigungsmodul zum Einsatz. Das Modul nimmt sowohl den Oxidationskatalysator als auch den Dieselpartikelfilter in einer Baugruppe so auf, dass eine motornahe Anordnung dieser Komponenten möglich wird. Somit kann das Abgasreinigungsmodul schneller auf die gewünschte Betriebstemperatur gebracht werden. Zur Speicherung der Stickoxide im Abgas ist der Oxidationskatalysator als NO_x-Speicherkatalysator ausgelegt.

Die Regelung zur Speicherung und Regeneration der Stickoxide im NO_x-Speicherkatalysator erfolgt durch ein Rechenmodell im Steuergerät. Für das Rechenmodell werden die Informationen der Temperatursensoren und Lambdasonden verwendet. Der Dieselpartikelfilter dient zusätzlich als Sperrkatalysator für Schwefelwasserstoff (H_2S), der bei der Entschwefelung des NO_x-Speicherkatalysators entsteht. Der Dieselpartikelfilter ist dazu mit Metalloxid beschichtet.

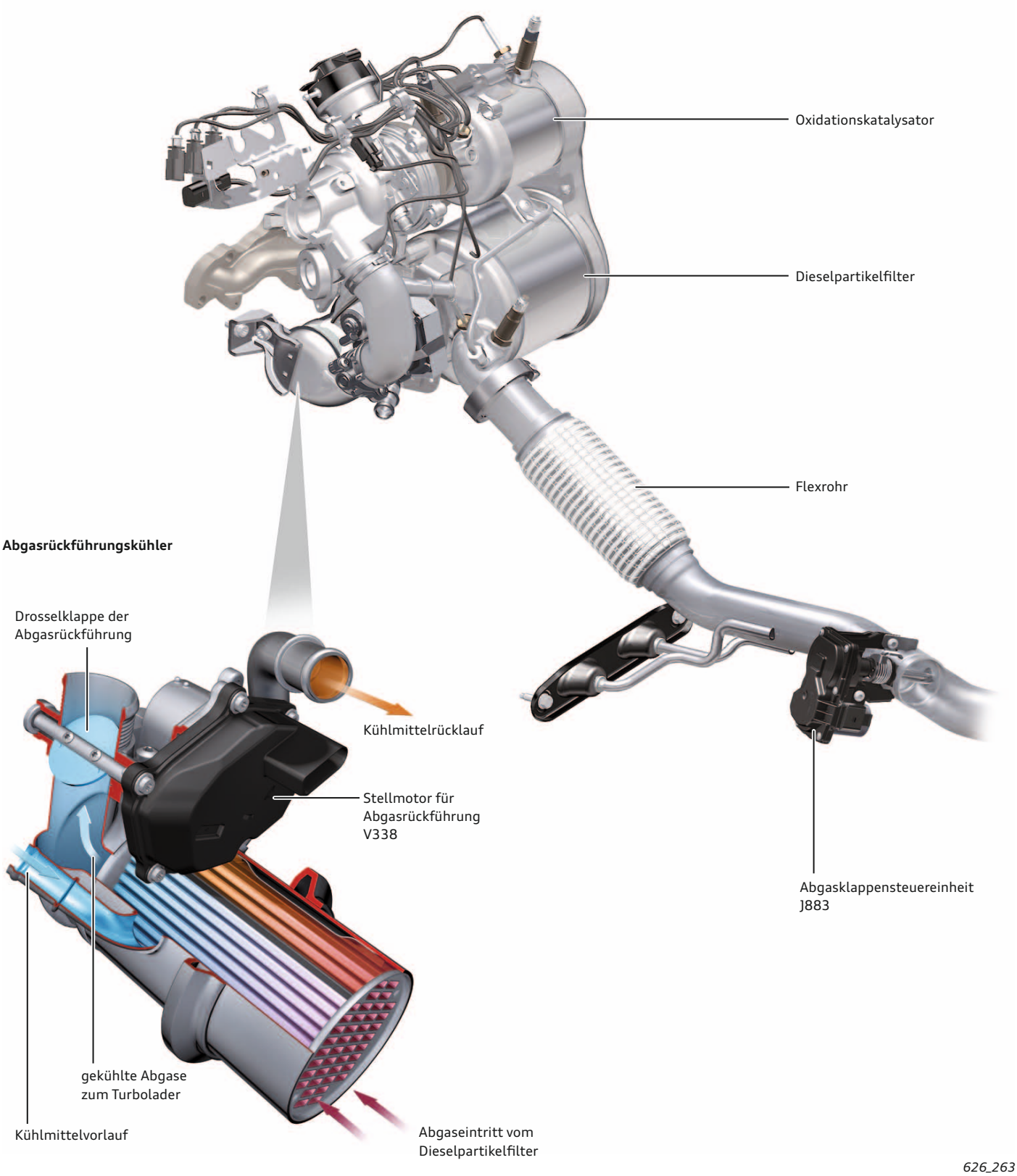


Motoren mit Abgasnorm EU6 ohne SCR-System

Um die Niederdruck-Abgasrückführung über den gesamten Kennfeldbereich nutzen zu können, wird der gesamte Abgasstrom aus dem Dieselpartikelfilter mit einer elektromotorischen Abgasklappe definiert aufgestaut. Dies bewirkt einen Überdruck von etwa 30 mbar – 40 mbar nach dem Partikelfilter über den Abgasdruck nach der Abgasklappe.

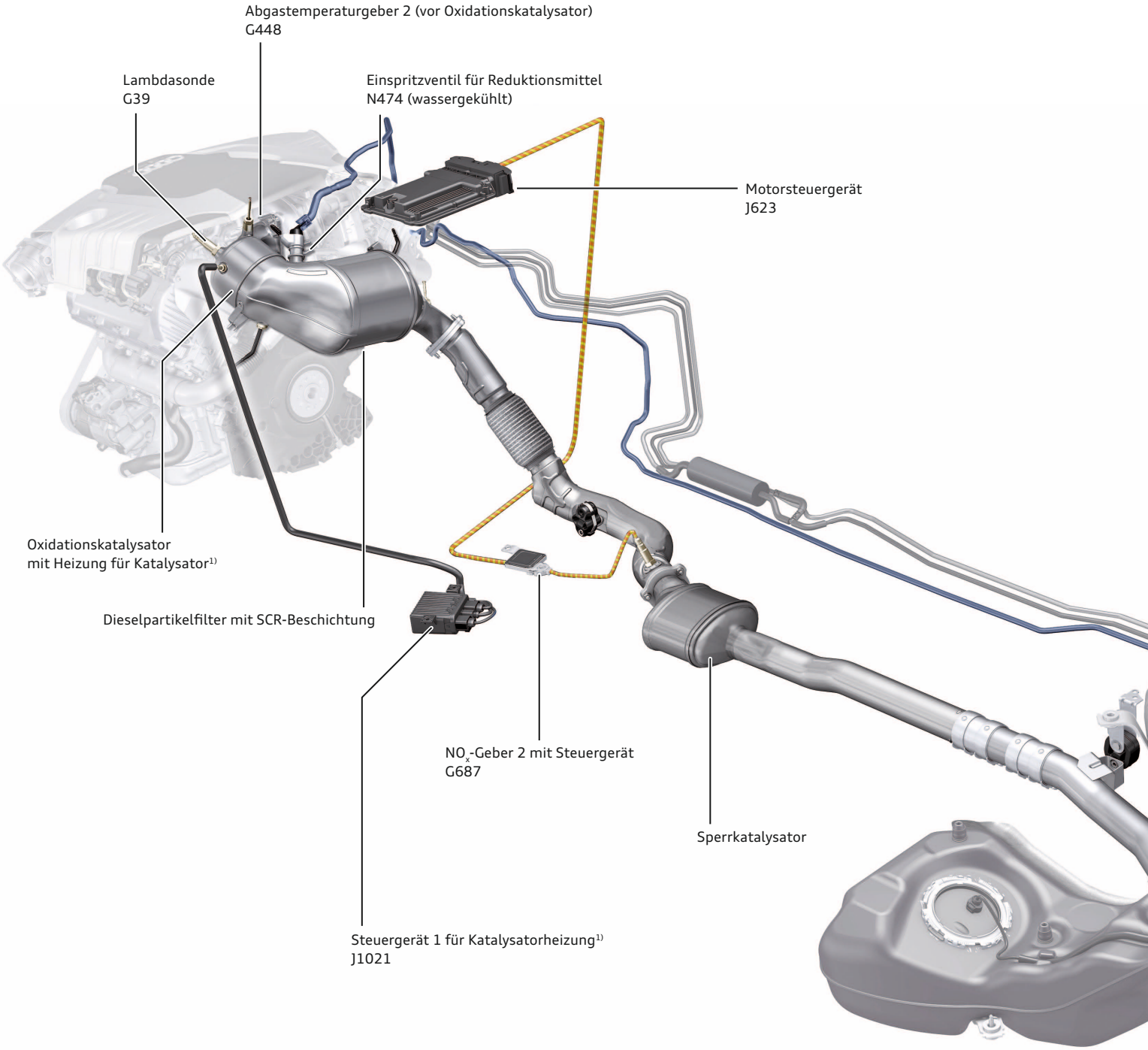
Dieser Überdruck bewirkt ein positives Strömungsgefälle (Spülrate) über dem Abgasrückführungskühler und das nachfolgend angeordnete Abgasrückführungsventil. Über das Abgasrückführungsventil wird die Menge der rückgeführten Abgase geregelt.

Systemübersicht



626_263

Aufbau
(beispielhaft am 3,0l-V6-TDI-Motor im Audi A8, Typ 4H)



Komponenten

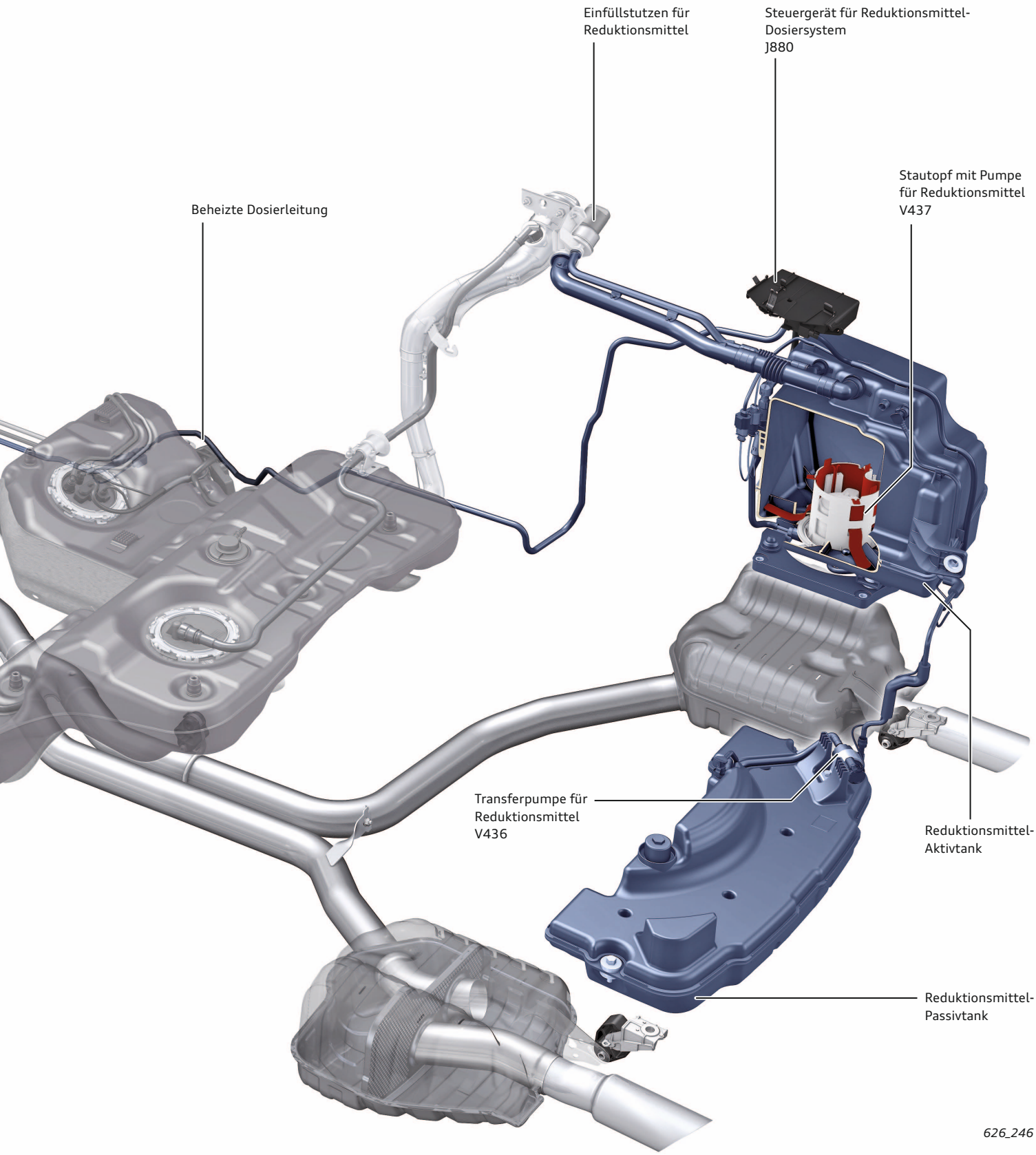
Das Abgasnachbehandlungssystem besteht aus dem Reduktionsmittel-Tanksystem mit wassergekühltem Einspritzventil für Reduktionsmittel, einem motornahen Heizkatalysator[1)], einem SCR-beschichteten Dieselpartikelfilter und einem Sperrkatalysator vor den Hauptschalldämpfern.

Mehrere Temperatursensoren, vor und nach Turbolader, Oxidationskatalysator, Dieselpartikelfilter sowie die Lambdasonde und der NO_x-Geber sind in der Abgasanlage verbaut. Mithilfe der Sensorik wird der Abgasnachbehandlungsprozess kontrolliert.

[1)] Wird nur in einigen Fahrzeugmodellen verbaut.

Nachdem im ersten Schritt, durch reibungsoptimierte Maßnahmen, Emissionen und Verbrauch reduziert wurden, werden im zweiten Schritt, durch die Abgasnachbehandlung, die Emissionen auf ein Minimum abgesenkt.

Zur Einhaltung der EU 6-Grenzwerte kommen, neben dem bekannten Reduktionsmittel AdBlue®, neue Komponenten, Sensoren und Aktoren zur Minimierung der Stickoxid-Emissionen zum Einsatz.

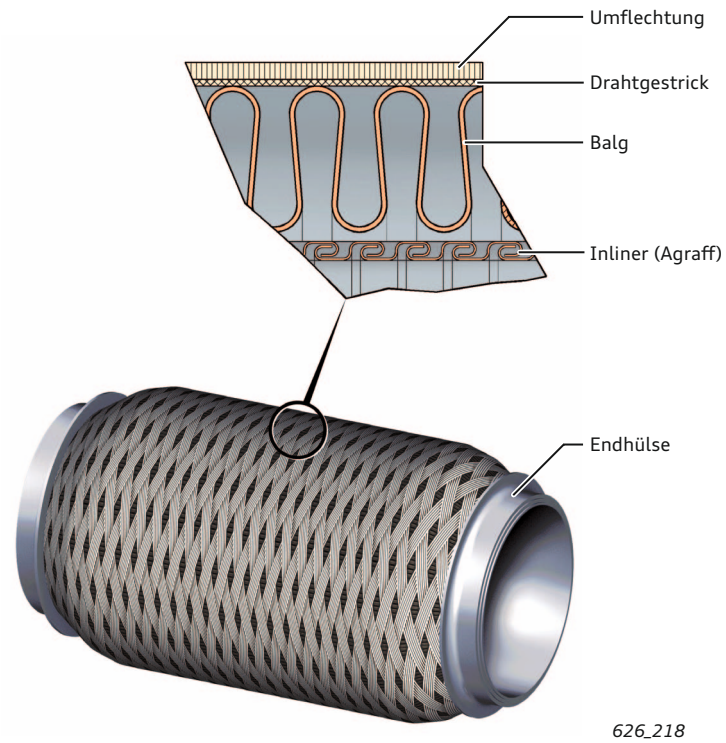


626_246

Entkopplungselement

Die Bewegungen und Schwingungen des Motors würden sich bei starren Abgasanlagen ohne Entkopplungselement bis an das Endrohr übertragen. Dies führt zu einer ungewollten Geräuschbildung und es können stark belastete Bauteilverbindungen am Abgasrohr innerhalb kürzester Zeit brechen. Das Entkopplungselement verhindert nicht nur die großen Ausschläge, sondern auch die kleinen Vibrationen, die vom Motor in die Abgasanlage eingeleitet werden. Ohne diese Entkopplung würden die Bewegungen als Schallimpuls in den Innenraum gelangen und – durch den großen Resonanzraum – sogar noch verstärkt werden.

Im Falle eines Ersatzes von Abgasanlagen ist entsprechend der Montage-Hinweise des Reparaturleitfadens zu verfahren. Eine nicht ordnungsgemäße Handhabung und Montage können Schäden am Entkopplungselement verursachen, die in kürzester Zeit wieder zum Funktionsverlust führen. Große Auslenkungen des Entkopplungselements (flexible Rohrverbindung) am Abgasrohr sind deshalb zu vermeiden.

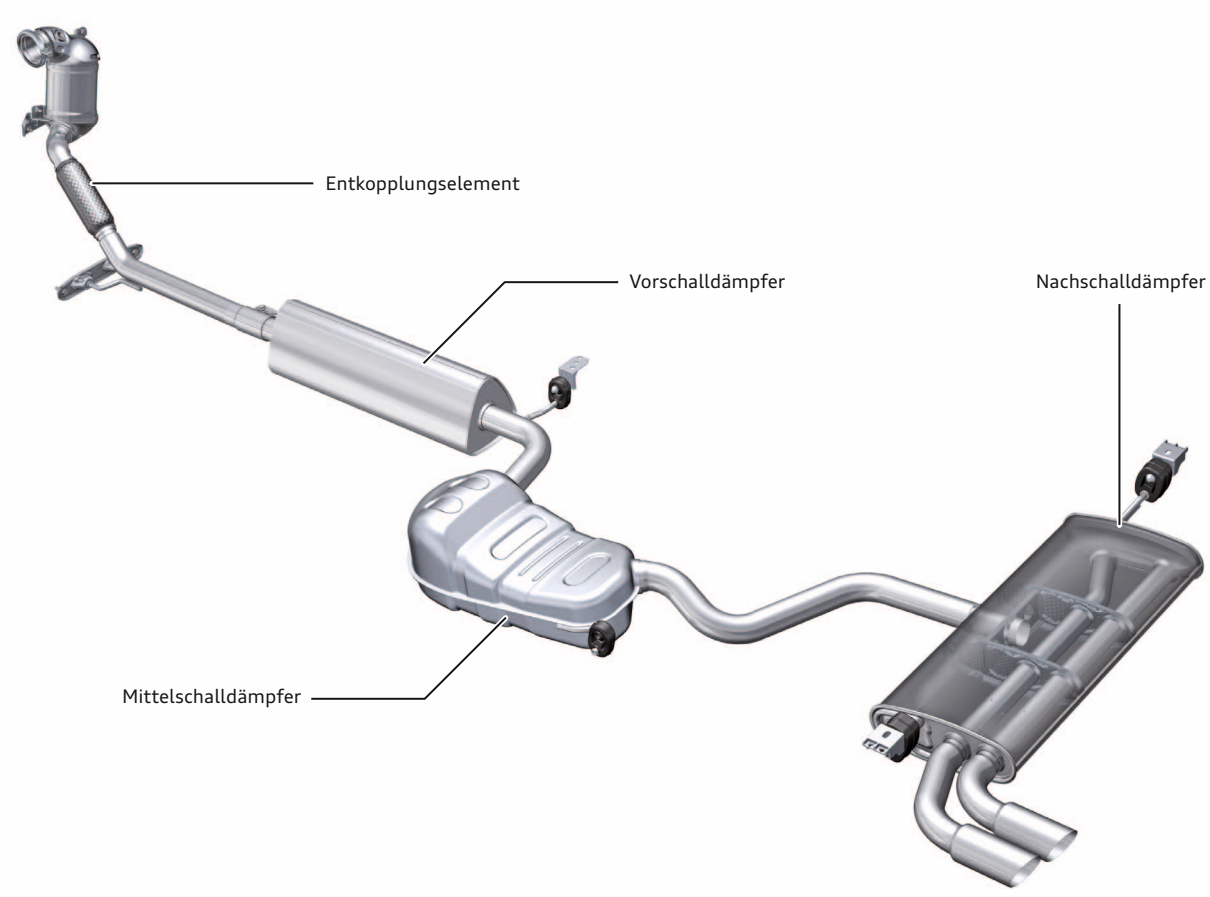


626_218

Schalldämpfer

Im hinteren und mittleren Abschnitt der Abgasanlage sind ein oder auch mehrere Schalldämpfer angeordnet. Die Schalldämpfer übernehmen die Schallreduzierung der Abgase. Je nach Fahrzeugtyp kommen Schalldämpfer unterschiedlicher Bauarten zum Einsatz. Mittels unterschiedlicher Form und Innenaufbauten werden sie an die motorspezifische Akustik angepasst.

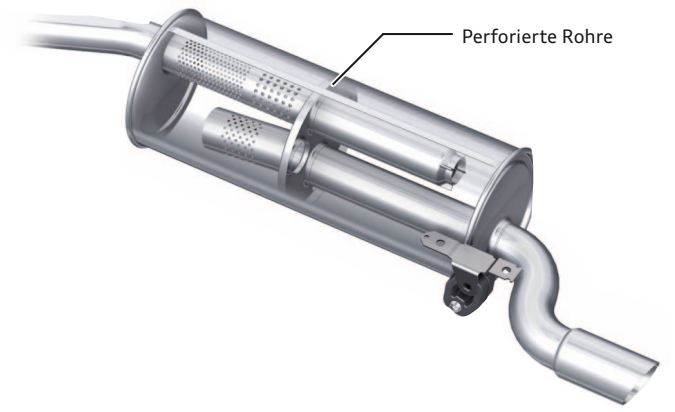
Bei größeren Motoren werden die Abgasanlagen 2-flutig ausgeführt, so dass auch die doppelte Anzahl von Schalldämpfern zum Einsatz kommt. Die Wandstärken der Schalldämpfer werden zum Teil hinsichtlich Leichtbau, durch hochwertigen Edelstahl optimiert, ohne Einbußen bezüglich des Korrosionsschutzes in Kauf nehmen zu müssen.



626_219

Reflexionsschalldämpfer

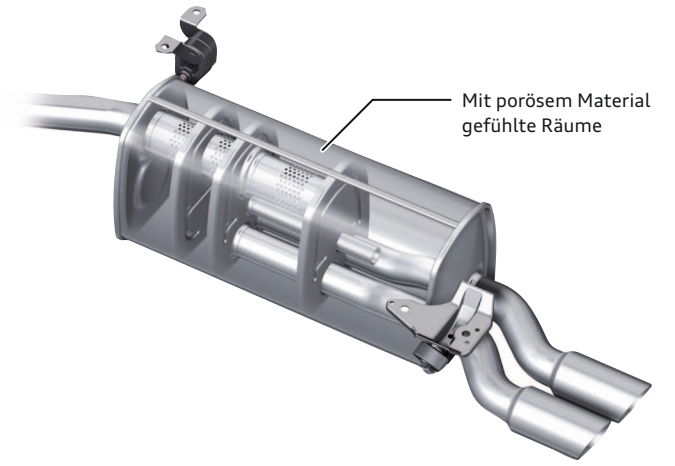
Der Schalldämpfer enthält mehrere (typischerweise 4) Kammern, um das Prinzip der Schallreflexion zu nutzen. Beim mehrfachen Durchlaufen der Innenräume kommt es zu einer Mittelung der Schalldruckamplitude, was eine Reduzierung der Schalldruckspitzen zur Folge hat.
Reflexionen werden in einem Schalldämpfer durch Prallwände, Querschnittserweiterungen und -verengungen erzeugt. Jedoch erhöht sich, abhängig von der Konstruktionsweise, der Abgasgegendruck. Durch Reflexion werden im Schalldämpfer hauptsächlich die tiefen Frequenzen gedämpft.



626_220

Absorptionsschalldämpfer

Ein Absorptionsschalldämpfer enthält poröses Material, im Regelfall Steinwolle, Glaswolle oder Glasfaser, das die Schallenergie teilweise absorbiert, das heißt, in Wärme umwandelt. Der Effekt der Schallabsorption wird durch die Mehrfachreflexion verstärkt. Es ist eine Reduzierung des Abgaslärms um 50 dB(A) möglich, was einer Verringerung des Schalldrucks um den Faktor 300 entspricht. Durch Absorption werden im Schalldämpfer hauptsächlich die oberen Frequenzen gedämpft.
Im Regelfall sind in einer Abgasanlage beide Verfahren kombiniert. Entweder als getrennte Schalldämpfer (Mittel- und Endschalldämpfer) oder in einem kombinierten einzigen Schalldämpfer. So kann man ein möglichst breites Frequenzspektrum abdecken.



626_221

Schaltbare Abgasklappe

Von einem Fahrzeug müssen alle Anforderungen hinsichtlich der Geräuschemissionen erfüllt werden. Das wird durch eine schaltbare Auslegung der Abgasanlage mittels Abgasklappen ermöglicht. In den Endrohren einiger Nachschalldämpfer sind Abgasklappen zur Beeinflussung der Geräuschemissionen verbaut.

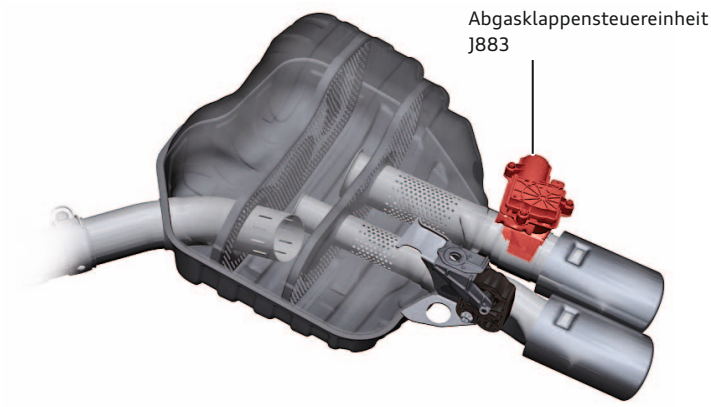
Bei Audi werden die Abgasklappen pneumatisch über einen Unterdrucksteller oder von einem elektrischen Stellmotor betätigt. Das Öffnen und Schließen wird von einem Kennfeld im Motorsteuergerät berechnet.

Pneumatische Betätigung



626_222

Elektrische Betätigung



626_223

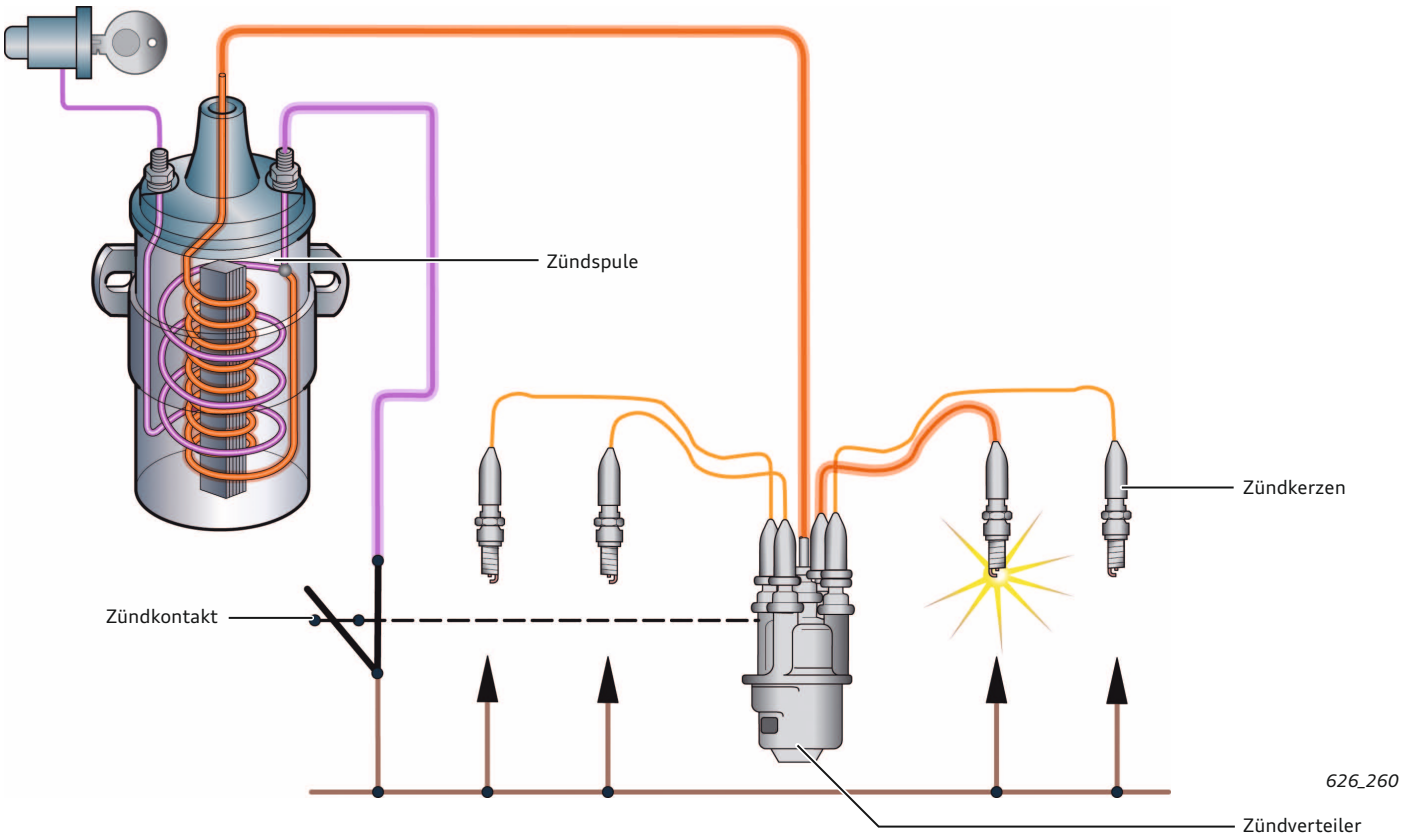
Zündsystem

Da bei Ottomotoren das Kraftstoff-Luft-Gemisch „fremd“-gezündet wird, ist eine Zündanlage erforderlich. Die Entwicklung der Zündsysteme ist schnell vorangeschritten. Insbesondere die Abgasvorschriften und die damit verbundene Verringerung der Schadstoffwemissionen machten genauere Systeme erforderlich.

Im Wesentlichen besteht eine Zündanlage aus folgenden Bauteilen:

Bauteil	Aufgabe und Funktion
Zündspule	Sie besteht aus einer dicken Primärwicklung und aus einer dünnen feinen Sekundärwicklung. Diese sind um einen laminierten Eisenkern gewickelt. Sie hat die Aufgabe, die geringe Batteriespannung von in der Regel 12 Volt, auf mehrere 1000 Volt zu transformieren, damit ein kräftiger Zündfunke zwischen den Elektroden an den Zündkerzen gewährleistet wird.
Zündverteiler	Der Verteiler übernimmt gleich mehrere Funktionen. Er verteilt die Zündfunken an die einzelnen Zylinder und er beherbergt die Unterbrecherkontakte, Kondensator sowie die Fliehkraft- und Unterdruckversteller des Zündzeitpunkts.
Zündkabel und -kerzen	Die Zündkabel sind Spezialkabel, die in der Lage sind, Spannungen von mehreren 1000 Volt zu den einzelnen Zündkerzen bzw. zwischen Verteiler und Zündspule (Kabelanschluss Nr. 4) zu leiten. Die Zündkerzen, zwischen deren Elektroden der Zündfunke im Brennraum das Kraftstoff-Luft- Gemisch entzündet, sind im Zylinderkopf eingeschraubt.
Zündkontakte	Die Zündkontakte haben die Aufgabe den Primärstromkreis der Zündspule aufzubauen, bzw. im richtigen Augenblick zu unterbrechen. Dies geschieht bei älteren Systemen mittels eines Nockens, der an der Verteilerwelle angebracht ist.
Kondensator	Der Kondensator hat die Aufgabe, den beim Unterbrechen des Primärstromkreises entstehenden Abreisfunken zu unterdrücken und somit die Lebensdauer der Unterbrecherkontakte zu erhöhen.

Aufbau



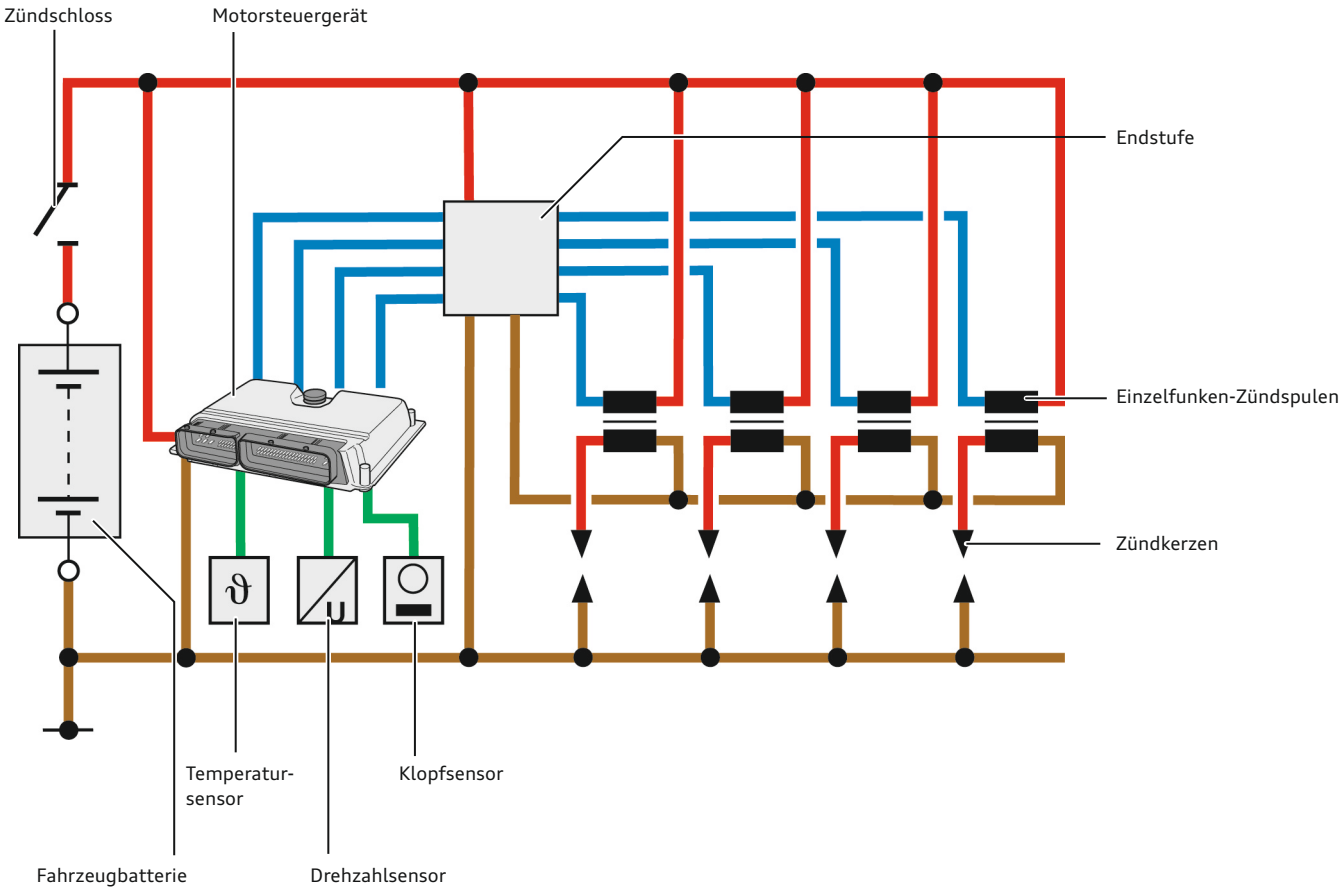
Vollelektronische Zündanlage

Bei modernen Fahrzeugen kommt eine vollelektronische Zündanlage zum Einsatz. Diese hat keinerlei bewegliche Bauteile mehr, also keinen Verteilerrotor mehr, der die Zündfunken verteilt und wird deshalb auch „ruhende Zündanlage“ genannt.

Ein Motorsteuergerät, dass meist auch die Einspritzregelung übernimmt, berechnet den optimalen Zündzeitpunkt, anhand eines gespeicherten 3D-Kennfeld aus den Signalen der Sensoren für:

- Motordrehzahl
- Motorlast
- Motortemperatur
- Event. Klopfsensor

Dieses Kennfeld ist optimiert für hohe Leistung, geringer Verbrauch und geringerem Schadstoffausstoß. Sollte einer der Sensoren ausfallen, ist ein Notlaufprogramm integriert. Oft hat jeder Zylinder eine eigene Zündspule, die sich direkt über der Zündkerze befindet und vom Steuergerät angesteuert wird.



626_261

Vorteile:

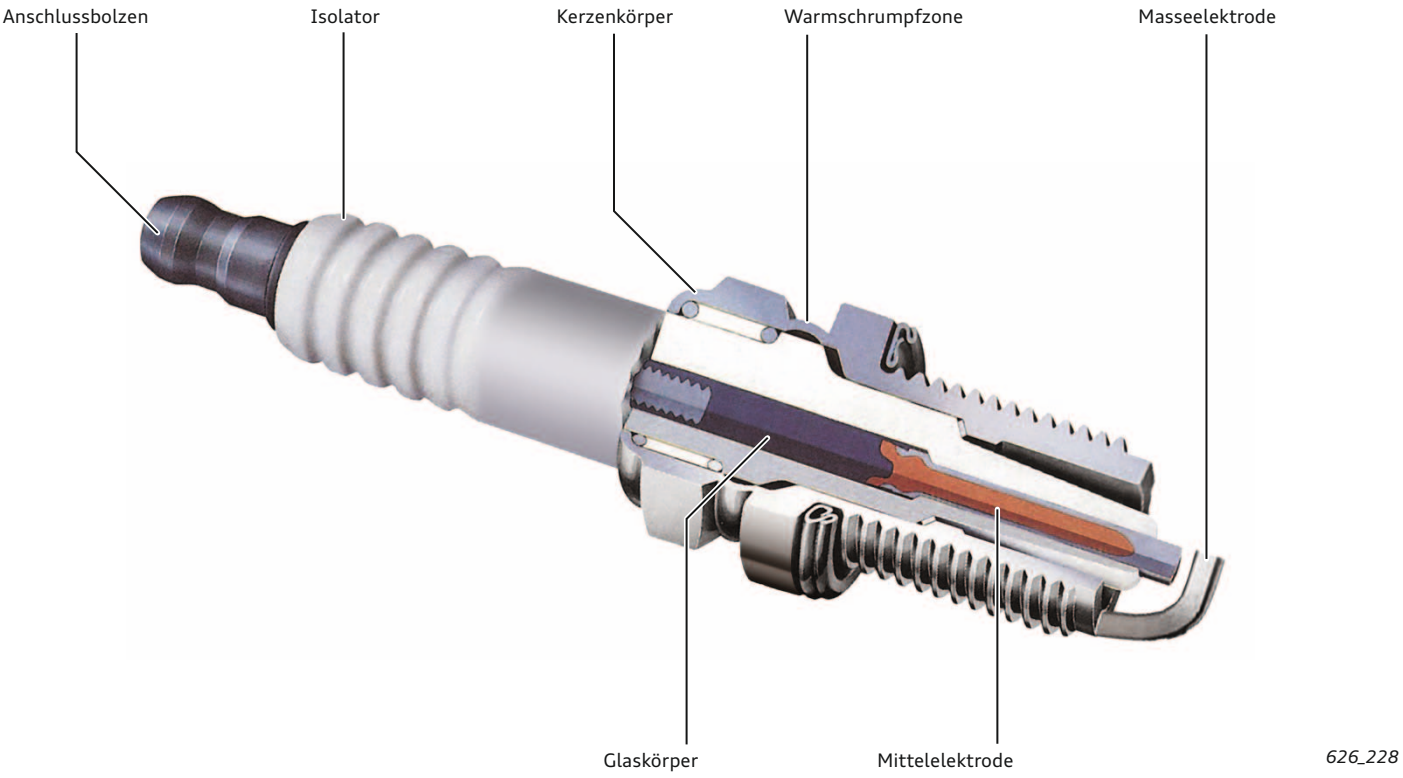
- Keine beweglichen Bauteile, kein Verschleiß
- Hohe Zündgenauigkeit bei allen Motorzuständen
- Hohe Laufkultur des Motors
- Erhöhung der Motorleistung
- Weniger Abgasemissionen
- Geringerer Kraftstoffverbrauch
- Gute Entstörung da keinerlei Funken mehr in der Verteilerkappe und Rotor entstehen.
- Hohe Zündleistung
- Leerlaufdrehzahlregelung

Zündkerzen

Die Zündkerze leitet im Benzinmotor den Arbeitstakt ein, indem sie das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Zylinder entzündet.
Dazu wird am Anschlussbolzen eine Spannung von etwa 30 bis 40 Kilovolt angelegt und durch die Zündkerze geleitet. Zwischen Mittelelektrode und Masseelektrode entsteht so ein Lichtbogen – der Zündfunke. Damit der Zündfunke auch stark genug ist, kommt dem Elektrodenabstand eine entscheidende Bedeutung zu.

Deshalb existieren dazu genaue Vorgaben vom Fahrzeughersteller. Ist der Abstand zu groß, kommt kein Zündfunke zu Stande und das Gemisch im Zylinder wird nicht gezündet. Wenn der Abstand hingegen zu gering ist, ist oft auch der Zündfunke zu klein. In dieser Situation ist die Flammfront zu gering, das Kraftstoff-Luft-Gemisch vollständig zu entzünden.

Aufbau

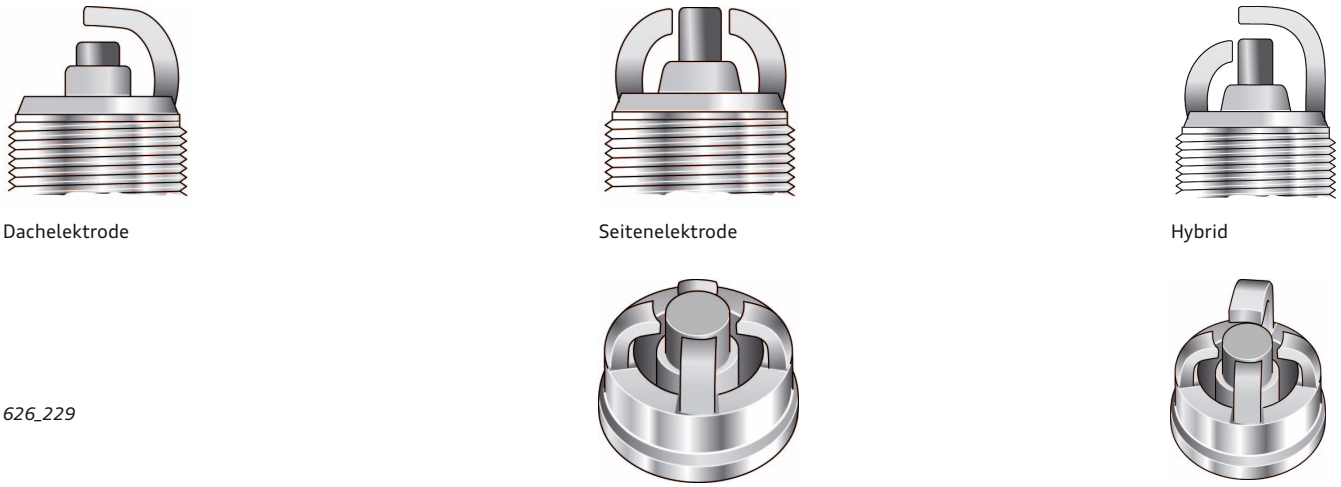


626_228

Bauarten

Nicht alle Zündkerzen entsprechen der Bauform mit einer Dachelektrode. So sind zunehmend Zündkerzen mit mehreren Seitenelektroden im Einsatz. Aber auch eine Kombination von Dach- und Seitenelektroden ist möglich, als Hybrid bezeichnet.

Zündkerzen mit 4 oder 3 Elektroden sind inzwischen weit verbreitet. Vorteilhaft ist, dass damit die thermische Belastung auf mehrere Masseelektroden verteilt wird, woraus sich wiederum eine deutlich höhere Standfestigkeit ergibt.



Dachelektrode | Seitenelektrode | Hybrid

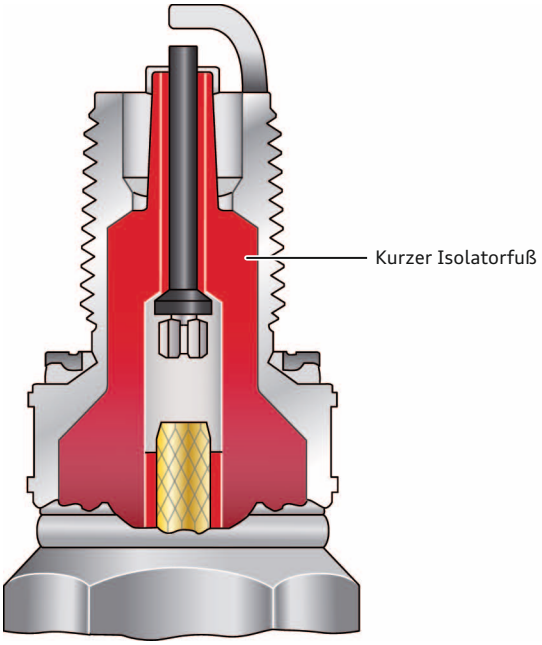
626_229

Wärmewert

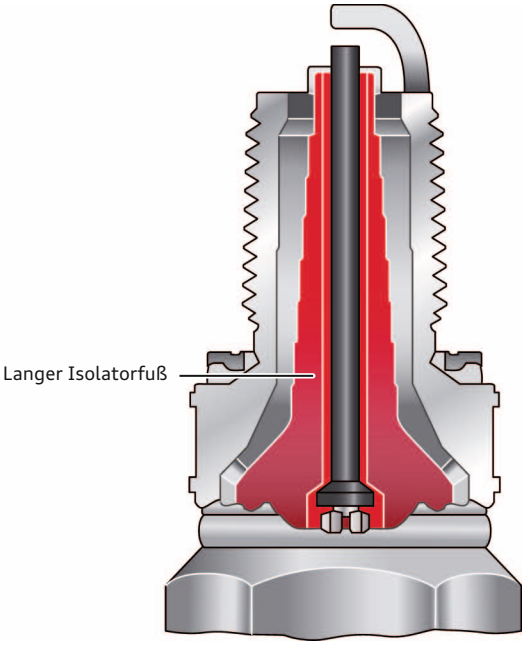
Eine Zündkerze hat den richtigen Wärmewert, wenn im Betrieb sehr schnell eine Temperatur von 450 °C erreicht wird und bei Volllast Temperaturen von 850 °C nicht überstiegen werden. Im Wesentlichen spiegelt der Wärmewert den Arbeitsbereich wieder. Niedrigere Temperaturen an der Zündkerze würden zu einer Verschmutzung führen, zu hohe dagegen verursachen gefährliche Glühzündungen. Glühzündungen entstehen zum Beispiel, wenn die Temperatur des Isolatorfußes auf über 850 °C ansteigt. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch kann sich dann selbst entzünden und den Motor zerstören.
Unterschieden werden Zündkerzen mit niedrigem Wärmewert, oft auch „kalte“ Kerzen genannt. Sie verfügen meist über einen kürzeren Isolatorfuß. Dadurch sind sie in der Lage, die aufgenommene Wärme schnell abzuführen. Durch die kleine Isolatorfuß-Oberfläche kann die Zündkerze aber auch nur wenig Wärme aufnehmen. Sie bleibt also kalt und hat deshalb einen niedrigen Wärmewert. Diese Zündkerzen werden vor allem bei Hochleistungsmotoren eingesetzt, so zum Beispiel in Sportwagen.

Zündkerzen mit hohem Wärmewert, auch „heiße“ Kerzen genannt, haben meist einen längeren Isolatorfuß. Die Wärme wird hier deutlich langsamer abgeführt. Die größere Isolatorfuß-Oberfläche führt jedoch zu einer wesentlich größeren Wärmeaufnahme. Die Zündkerze wird also heißer und hat deshalb einen hohen Wärmewert.

Diese Zündkerzen werden vor allem in Motoren eingesetzt, die mit niedrigeren Drehzahlen arbeiten. Moderne Zündkerzen verfügen über einen breit angelegten Wärmewert. Das heißt, sie erreichen schnell ihre Arbeitstemperatur, was gerade bei Kurzstreckenbetrieb wichtig ist. Aber auch bei hohen Belastungen bleiben unerwünschte Glühzündungen aus. Dies konnte durch den Einsatz moderner Werkstoffe und durch eine verbesserte konstruktive Auslegung erreicht werden.



Niedriger Wärmewert
(kalte Zündkerze)



Hoher Wärmewert
(heiße Zündkerze)

626_230

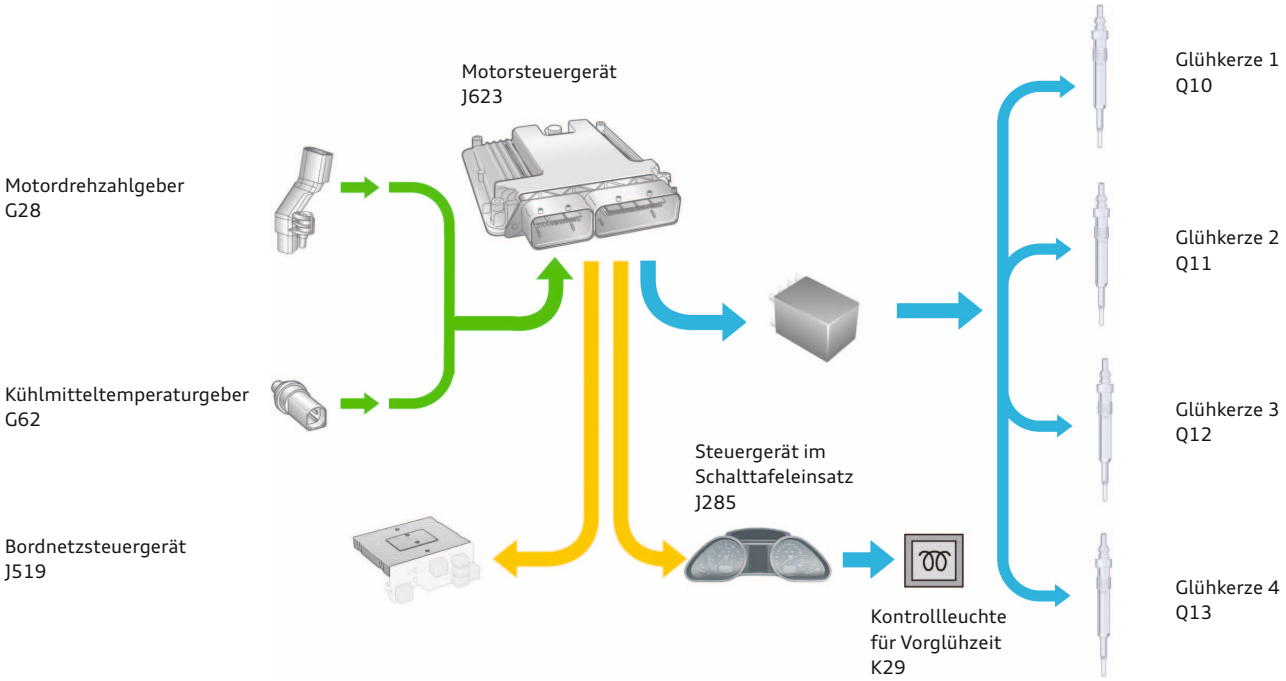
Hinweis
Beachten Sie bei einem Zündkerzenwechsel die Angaben in der aktuellen Service-Literatur, insbesondere die Informationen zu den Wechsel-Intervallen und zu den richtigen Teilenummern.

Vorglühanlage

Das System einer Diesel-Schnellstart-Vorglühanlage ermöglicht einen Sofortstart des Dieselmotors unter allen klimatischen Bedingungen.

Lange Vorglühzeiten entfallen und der Startvorgang ist mit dem eines Benzinmotors vergleichbar.

Systemübersicht (beispielhaft für einen 4-Zylinder-TDI-Motor)



626_214

Vorglühen

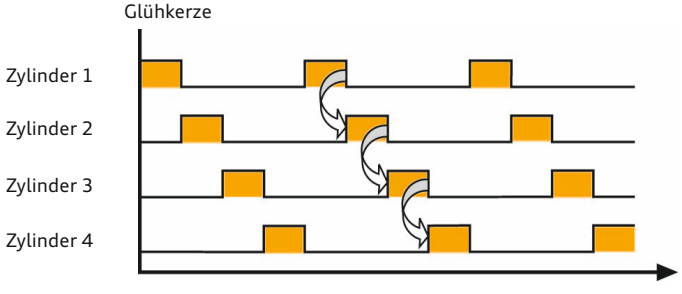
Die Stahl-Glühkerzen werden vom Motorsteuergerät über das Steuergerät für Glühzeitautomatik J179, mithilfe eines pulsweitenmodulierten Signals (PWM), phasenversetzt angesteuert. Dabei wird die Spannung an der einzelnen Glühkerze über das Tastverhältnis der PWM-Impulse eingestellt. Für einen Schnellstart, bei einer Außentemperatur von unter 24 °C, liegt eine Maximalspannung von 11,5 V an. Dies gewährleistet, dass sich die Glühkerze innerhalb kürzester Zeit (max. 2 Sekunden) auf über 1000 °C aufheizt. Damit verringert sich die Vorglühzeit für den Startvorgang des Motors.

Nachglühen

Zum Nachglühen wird die Einschaltzeit der Bordnetzspannung im PWM-Tastverhältnis so eingestellt, dass sich eine effektive Spannung von 4,4 V ergibt. Das Nachglühen wird bis zu einer Kühlmitteltemperatur von 24 °C nach dem Motorstart und für max. 5 Minuten durchgeführt. Das Nachglühen trägt dazu bei, die Kohlenwasserstoff-Emission und die Verbrennungsgeräusche in der Warmlaufphase zu verringern.

Phasenversetzte Ansteuerung der Glühkerzen

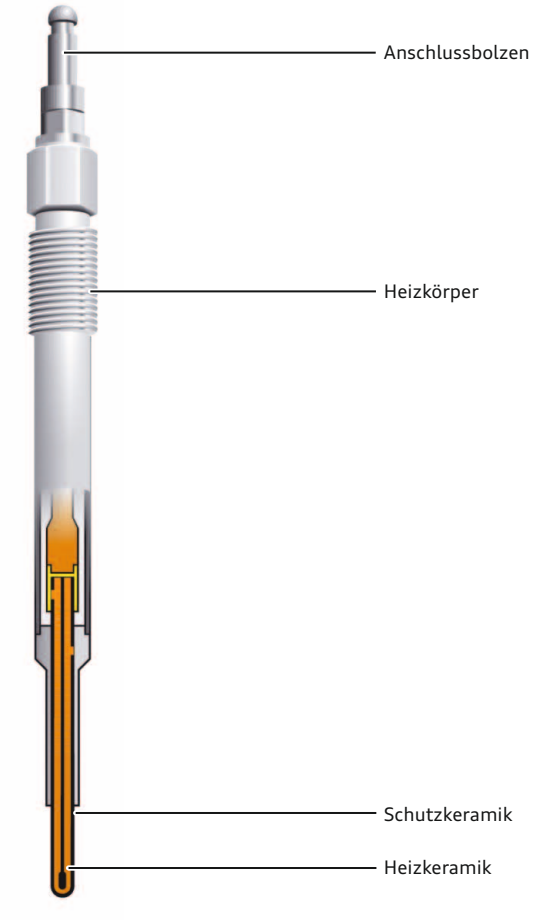
Um die Bordspannung während der Glühphasen zu entlasten, werden die Glühkerzen phasenversetzt angesteuert. Die fallende Signalflanke steuert dabei immer die nächste Glühkerze an.



626_217

Aufbau einer Keramik-Glühkerze

Keramik-Glühkerzen unterliegen einer minimalen Alterung und haben dadurch eine hohe Lebensdauer. Weitere Vorteile liegen im besseren Kaltstartverhalten und eine Verbesserung der Abgas-Emissionswerte.
Die Keramik-Glühkerze besteht aus dem Kerzenkörper, dem Anschlussbolzen und dem Heizstab aus Keramikwerkstoffen. Der Heizstab besteht aus einer isolierenden Schutzkeramik und einer inneren leitenden Heizkeramik. Die Heizkeramik ersetzt die Regel- und Heizwendel der Metall-Glühkerze.



626_216

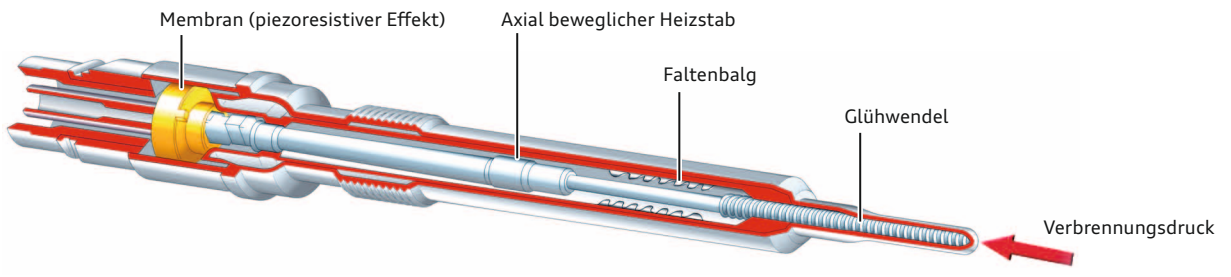
Auswirkung bei Ausfall

Stellt das Steuergerät für Glühzeitautomatik J179 bei den angeschlossenen Glühkerzen eine zu hohe Stromaufnahme oder einen zu hohen Widerstand fest, werden die entsprechenden Glühkerzen nicht mehr angesteuert.

Zylinderdruckgeführte Verbrennungsregelung

Für eine präzise Regelung der Kraftstoffeinspritzung und des Luftregelsystems, berücksichtigt das Motormanagement während der Verbrennung den Druckverlauf im Zylinder. Die Informationen über den tatsächlichen Druckverlauf im Zylinder erhält das Motorsteuergerät vom Brennraumdruckgeber für Zylinder 3 G679. Dieser Sensor ist in das Gehäuse der Glühkerze am Zylinder 3 integriert. Die zylinderdruckgeführte Verbrennungsregelung ist in der Lage, den Einspritzzeitpunkt und damit den Druckverlauf bei der Verbrennung den unterschiedlichen Abgasrückführungsraten, Kraftstoffqualitäten und Bauteiltoleranzen über die Laufzeit des Motors anzupassen.

Aus dem Signal des Brennraumdruckgebers für Zylinder 3 und dem Signal des Motordrehzahlgebers G28 errechnet ein Softwaremodell im Motorsteuergerät den Druckverlauf für jeden Zylinder. Entsprechend der Abweichungen aus dem Soll-Ist-Vergleich werden Korrekturwerte für den Einspritzzeitpunkt und die Dauer der Ansteuerung ermittelt.



626_215

Kraftstoffsystem

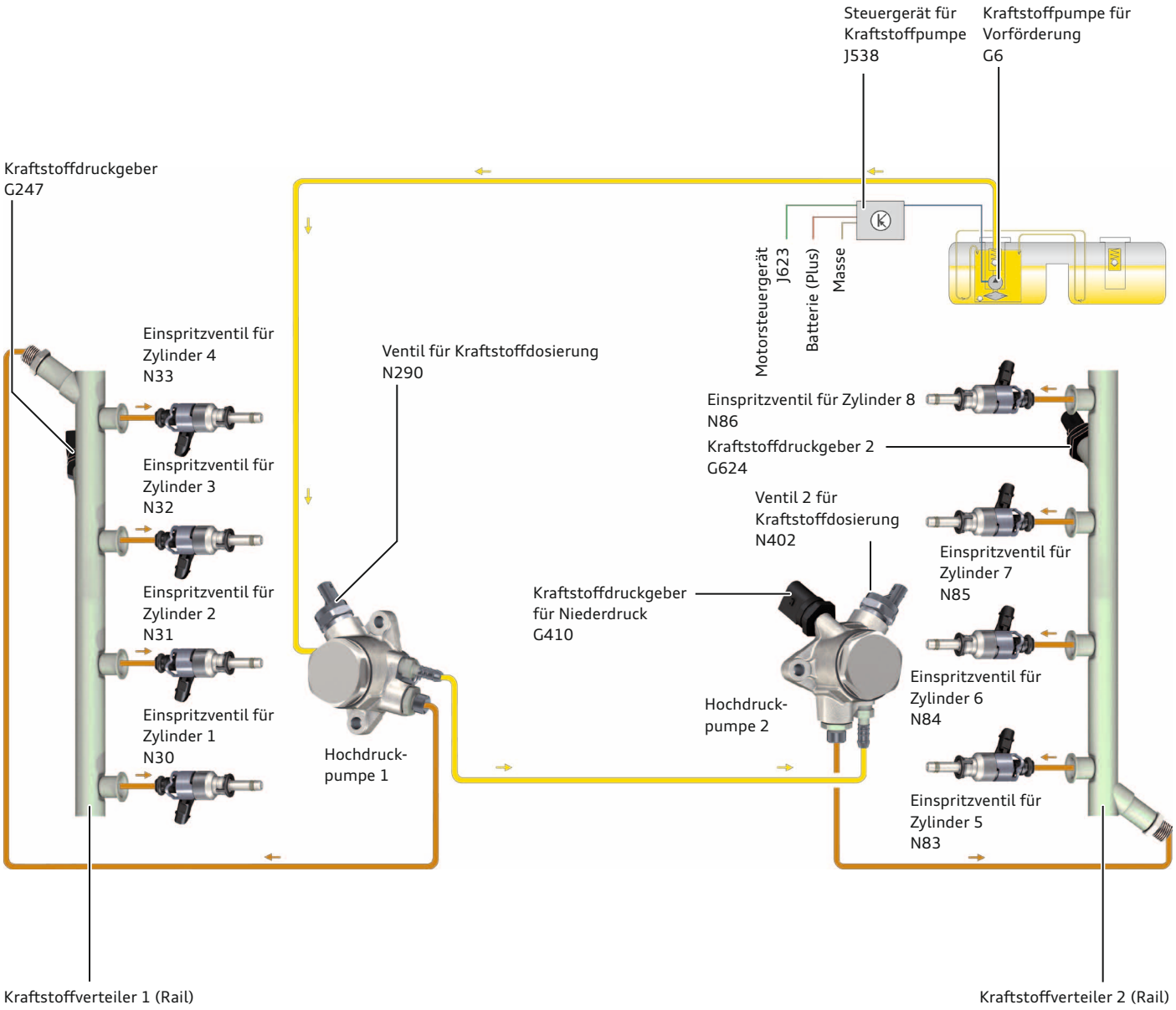
Benzinmotor

Der überwiegende Teil moderner Benzinmotoren arbeitet mit einem direkteinspritzenden Kraftstoffsystem. An einigen Motoren wird es mit einem zusätzlichen Saugrohr-Einspritzsystem kombiniert.

Das Kraftstoffsystem teilt sich in Niederdruck- und Hochdruckbereich auf. Beide Bereiche arbeiten bedarfsgeregelt und ohne Rücklauf.
Die Kraftstoffpumpe für Vorförderung G6 im Kraftstoffbehälter wird vom Steuergerät für Kraftstoffpumpe J538 angesteuert. Der wartungsfreie Filter ist in der Kraftstoff-Fördereinheit im Behälter installiert.

Die Kraftstoffversorgung für die Hochdruckpumpe der Zylinderbank 2 erfolgt von der Hochdruckpumpe der Zylinderbank 1 aus. Der Niederdruckbereich arbeitet variabel zwischen 5 bar und 6,5 bar relativ. Tendenziell wird immer versucht, den Druck so gering wie möglich zu halten. Der Hochdruckbereich arbeitet zwischen 20 bar und 120 bar. Das mechanische Druckbegrenzungsventil öffnet bei einem Druck von 145 bar.

Beide Zylinderbänke haben ihren eigenen Hochdruckkreislauf.



Kraftstoff-Hochdruck (20 bar bis zu 120 bar)

Kraftstoff-Niederdruck (5 bar bis 6,5 bar, relativ)

626_244

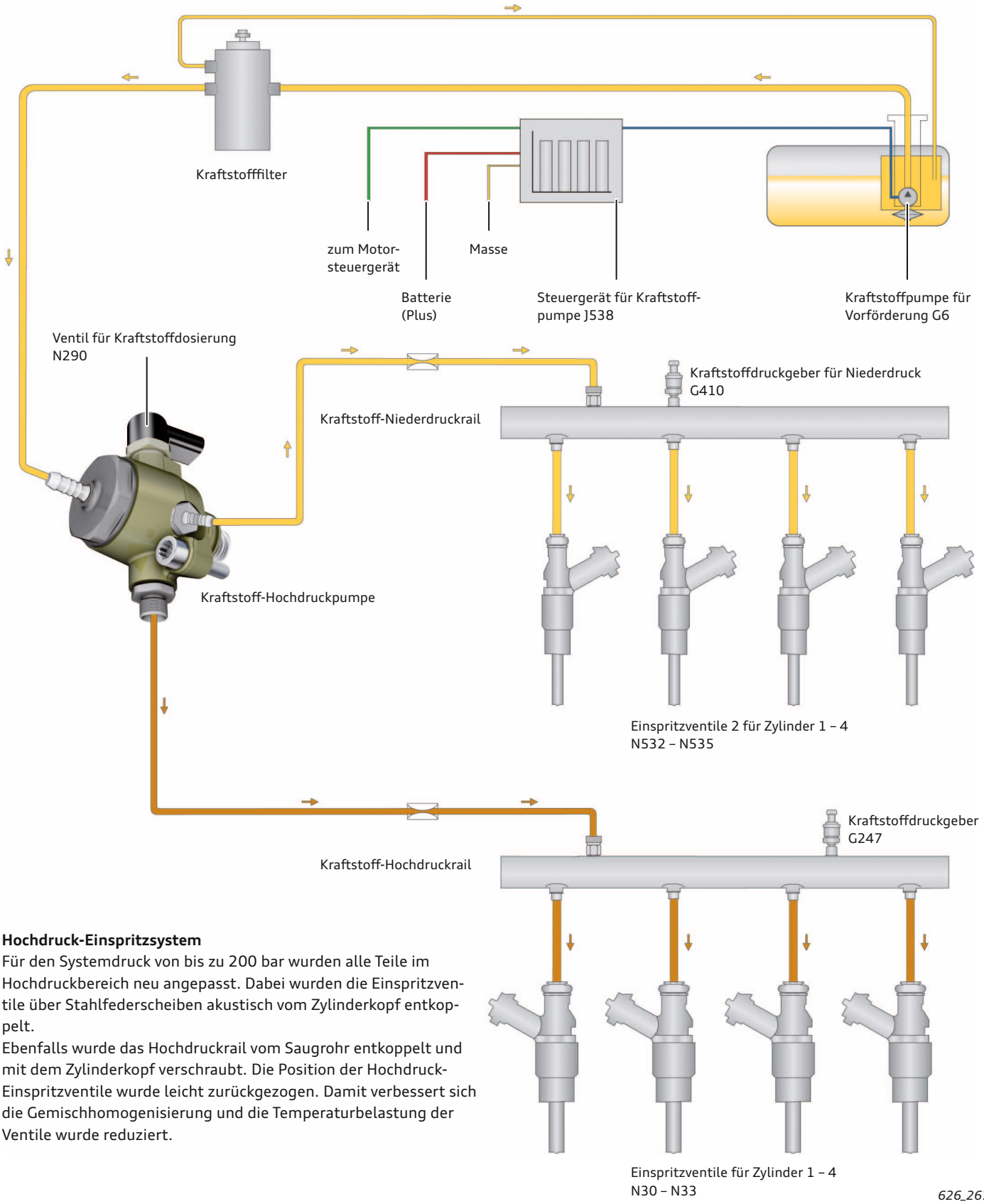
Duales Einspritzsystem

Mit Bezug auf die immer stärker werdenden Diskussionen, dass die direkteinspritzenden Benzinmotoren einen bis zu 10 Mal höheren Ausstoß sehr feiner Rußpartikel haben als es derzeit bei den aktuellen Dieselmotoren der Fall ist, wurde das duale Einspritzsystem entwickelt.

MPI-Einspritzsystem

Das MPI-System verfügt über einen eigenen Drucksensor, den Kraftstoffdruckgeber für Niederdruck G410.

Die bedarfsgerechte Druckversorgung erfolgt von der Kraftstoffpumpe für Vorförderung G6 im Kraftstofftank. Die Kraftstoffpumpe für Vorförderung G6 wird vom Steuergerät für Kraftstoffpumpe J538 über das Motorsteuergerät angesteuert. Das MPI-Rail ist aus Kunststoff gefertigt. Die MPI-Ventile (N532 – N535) sind in das Kunststoffsaugrohr eingebaut und hinsichtlich Strahlausrichtung optimal angeordnet.



Hochdruck-Einspritzsystem

Für den Systemdruck von bis zu 200 bar wurden alle Teile im Hochdruckbereich neu angepasst. Dabei wurden die Einspritzventile über Stahlfederscheiben akustisch vom Zylinderkopf entkoppelt.

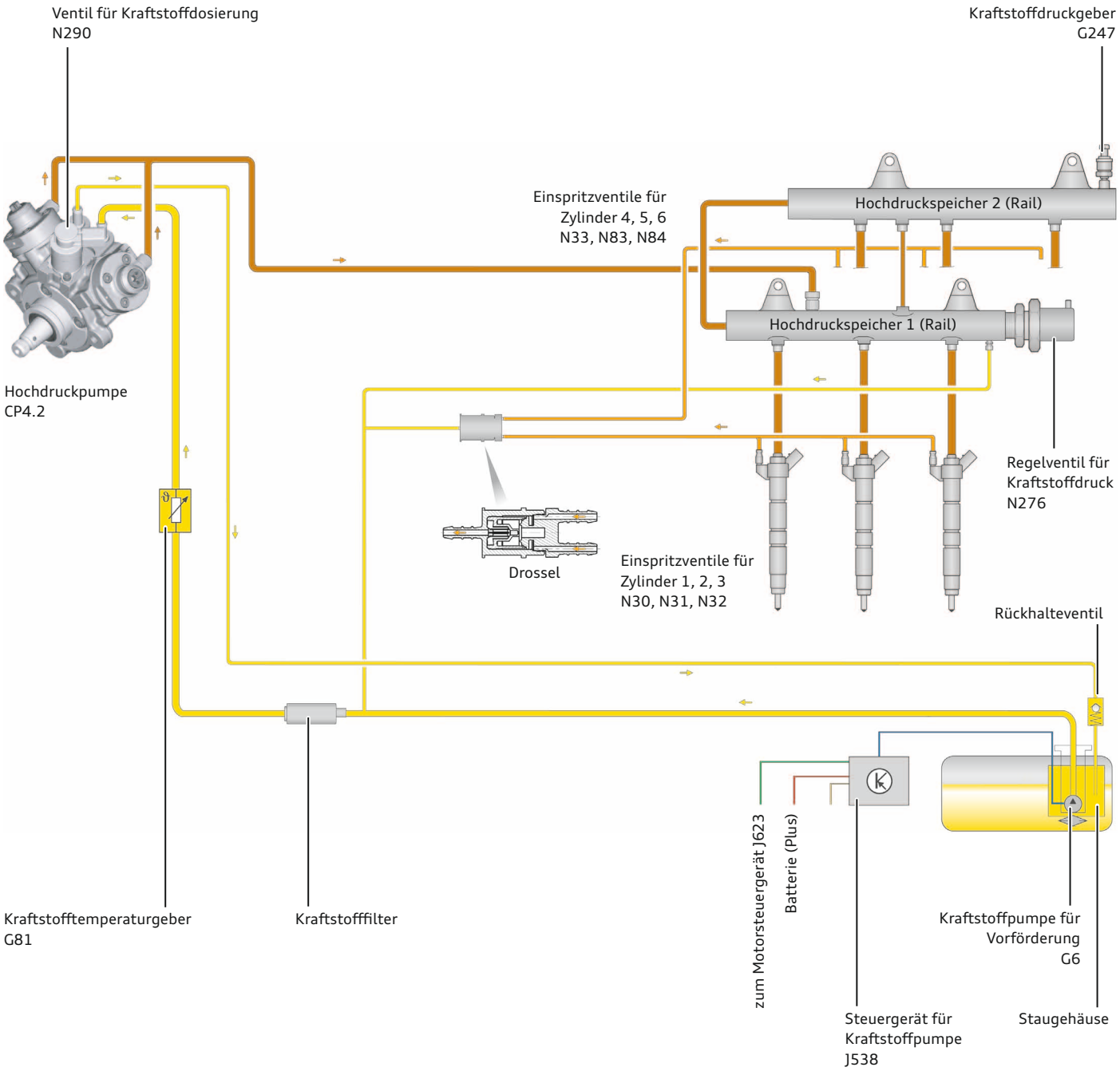
Ebenfalls wurde das Hochdruckrail vom Saugrohr entkoppelt und mit dem Zylinderkopf verschraubt. Die Position der Hochdruck-Einspritzventile wurde leicht zurückgezogen. Damit verbessert sich die Gemischhomogenisierung und die Temperaturbelastung der Ventile wurde reduziert.

626_267

Dieselmotor

Das Common-Rail-Einspritzsystem ist ein Hochdruck-Speicher-Einspritzsystem für Dieselmotoren. Der Begriff „Common-Rail“ bedeutet „gemeinsame Schiene“ und steht für einen gemeinsamen Kraftstoff-Hochdruckspeicher für alle Injektoren. Die Druckerzeugung und die Kraftstoffeinspritzung sind bei diesem Einspritzsystem voneinander getrennt. Eine separate Hochdruckpumpe erzeugt den zur Einspritzung erforderlichen Kraftstoffdruck. Dieser Kraftstoffdruck wird in einem Hochdruckspeicher (Rail) gespeichert und über kurze Einspritzleitungen den Injektoren zur Verfügung gestellt.

Die Injektoren sind als Piezo- oder Magnetventil-Injektoren ausgelegt. Das Common-Rail-Einspritzsystem wird durch das Motormanagementsystem Bosch EDC 17 geregelt. Je nach Motorleistung und -bauart beträgt der maximale Raildruck 1800 bar bzw. 2000 bar und wird jeweils mit der passenden Düsenlochkonfiguration kombiniert. Dieser Druck wird von einer Hochdruckpumpe mit Aluminumgehäuse erzeugt, welche über 1 bzw. 2 Stempel verfügt. Es handelt sich dabei um die Pumpen CP4.1 bzw. CP4.2.



Kraftstoff-Hochdruck (bis 2000 bar)

Kraftstoff-Niederdruck (bedarfsgeregelt mit bis 5 bar)

626_245

Anhang

Informationen zu QR-Codes

Dieses SSP wurde für Sie zur besseren Veranschaulichung der Inhalte mit elektronischen Medien (Animationen, Videos und Mini-WBTs) aufgewertet. Die Verweise zu den eMedien verbergen sich auf den Seiten hinter QR-Codes, also 2-dimensionalen Pixel-Mustern. Diese Codes können Sie mit einem Tablet oder Smartphone scannen und in eine Webadresse übersetzen lassen. Dafür wird eine Internetverbindung benötigt.

Bitte installieren Sie sich dazu aus den öffentlichen App Stores von Apple® bzw. Google® einen geeigneten QR-Scanner auf Ihrem Mobilgerät. Für einige Medien können u. U. weitere Player benötigt werden.

Auf PCs und Notebooks können die eMedien im SSP-PDF angeklickt und somit ebenfalls — nach dem GTO-Login — online abgerufen werden.

Alle eMedien werden in der Lernplattform Group Training Online (GTO) verwaltet. Sie benötigen für GTO ein Nutzerkonto und müssen sich nach dem Einscannen des QR-Codes und vor dem ersten Medienaufruf in GTO anmelden. Auf iPhone, iPad und vielen Android-Geräten können Sie im Mobilbrowser Ihre Zugangsdaten abspeichern. Das erleichtert das nächste Anmelden. Schützen Sie Ihr Mobilgerät mit einer PIN vor unerlaubter Nutzung.

Bitte beachten Sie, dass eine Nutzung der eMedien über Mobilfunknetze zu erheblichen Kosten führen kann, besonders beim Daten-Roaming im Ausland. Die Verantwortung dafür liegt bei Ihnen. Ideal ist die Nutzung im WLAN.

Apple® ist eine eingetragene Marke der Apple® Inc.
Google® ist eine eingetragene Marke der Google® Inc.

Alle Rechte sowie technische
Änderungen vorbehalten.

Copyright
AUDI AG
I/VK-35
service.training@audi.de

AUDI AG
D-85045 Ingolstadt
Technischer Stand 08/14

Printed in Germany
A14.5S01.11.00