

Der Ventiltrieb

Technik
Schadensdiagnose



Der Inhalt dieser Broschüre ist rechtlich unverbindlich und ausschließlich zu Informationszwecken bestimmt. Soweit rechtlich zulässig, ist die Haftung der Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG im Zusammenhang mit dieser Broschüre ausgeschlossen.

Alle Rechte vorbehalten. Jede Vervielfältigung, Verbreitung, Wiedergabe, öffentliche Zugänglichmachung oder sonstige Veröffentlichung dieser Broschüre ganz oder auch nur auszugsweise ohne die vorherige schriftliche Zustimmung der Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG ist nicht gestattet.

Copyright ©
Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG
November 2017

Schaeffler im Automotive Aftermarket – mehr Innovation, mehr Qualität, mehr Service.



Schaeffler REPERT – die Servicemarke für Werkstattprofis.

Mit REPERT bieten wir umfassende Serviceleistungen rund um unsere Produkte und Reparaturlösungen an. Sie suchen gezielte Informationen zur Schadensdiagnose? Oder benötigen Sie konkrete Arbeitshilfen, die Ihnen den Werkstattalltag erleichtern? Ob Onlineportal, Servicehotline, Einbauanleitungen oder -videos, ob Trainings oder Events – Sie bekommen alle technischen Serviceleistungen aus einer Hand.

Registrieren Sie sich jetzt – mit wenigen Klicks und kostenfrei unter www.repxpert.de.

Schaeffler im Automotive Aftermarket – immer erste Wahl bei der Fahrzeugreparatur.

Wann immer ein Fahrzeug in die Werkstatt muss, sind unsere Produkte und Reparaturlösungen erste Wahl bei der Fahrzeuginstandsetzung. Mit unserer Systemkompetenz in Antrieb, Motor und Fahrwerk sind wir weltweit ein verlässlicher Partner. Ob Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge oder Traktoren – die optimal aufeinander abgestimmten Komponenten ermöglichen einen schnellen und professionellen Teiletasch.

Unseren Produkten liegt ein umfassender Systemansatz zugrunde. Innovation, technisches Know-how sowie höchste Produkt- und Fertigungsqualität machen uns nicht nur zu einem der führenden Entwicklungspartner in der Serienfertigung, sondern auch zum richtungsweisenden Anbieter von werterhaltenden Ersatzteilen und ganzheitlichen Reparaturlösungen für Kupplungs- und Ausrücksysteme, Motor-, Getriebe- sowie Fahrwerksanwendungen in Erstausrüsterqualität – bis hin zum passenden Spezialwerkzeug.

Know-how in den vier Schlüsselsystemen des Motors – dafür steht die Marke INA. Dabei umfasst das Produktportfolio Motorkomponenten für den Steuertrieb (sowohl für riemen- als auch kettengetriebene Fahrzeuge), den Nebenaggregattrieb, den Ventiltrieb und das Kühlsystem. Das Ersatzteilprogramm besteht sowohl aus Einzelprodukten als auch aus Lösungen, die im Rahmen von ganzheitlichen KITS und SETs erhältlich sind.

SCHAEFFLER
REPERT





| Inhalt | Seite |
|--|--------------|
| 1 Einleitung | 6 |
| 2 Der Ventiltrieb | 7 |
| 2.1 Anforderungen | 7 |
| 2.2 Ausführungen | 7 |
| 2.3 Ventilspiel | 10 |
| 2.4 Ventilspielausgleich | 11 |
| 3 Aufbau und Wirkungsweise der Ventilspielausgleichselemente | 13 |
| 3.1 Tassenstößel | 13 |
| 3.2 Schleppebel mit Abstützelement | 15 |
| 3.3 Kipphebel mit Einsteckelement | 16 |
| 3.4 Rollenschwinghebel mit Einsteckelementen | 18 |
| 3.5 Besonderheiten beim OHV-Ventiltrieb | 19 |
| 3.6 Schaltbare Ventilspielausgleichselemente | 20 |
| 4 Hochdruckpumpenstößel | 23 |
| 5 Nockenwellenverstellungssysteme | 24 |
| 5.1 Allgemeine Informationen | 24 |
| 5.2 Verschiedene Konzepte zur Nockenwellenverstellung in der Übersicht | 24 |
| 5.3 Funktion des Nockenwellenverstellungssystems | 25 |
| 5.4 Nockenwellenversteller | 26 |
| 5.5 Steuerventil | 28 |
| 5.6 UniAir | 31 |
| 6 Allgemeine Werkstattthinweise | 32 |
| 7 Schadensdiagnose/Schadensbeurteilung | 34 |
| 7.1 Allgemeine Schadensbeurteilung | 34 |
| 7.2 Restschmutz | 35 |
| 7.3 Schadensbeurteilung von Ventiltriebkomponenten | 35 |

1 Einleitung

Erste Patente für einen Viertakt-Hubkolbenmotor erhielt ein gewisser Christian Reithmann am 26. Oktober 1860. Bei diesen Motoren betätigte eine Nocke über einen Stößel das Auslassventil. Das Einlassventil wurde „automatisch“ durch den Unterdruck des ansaugenden Kolbens geöffnet und am Ende des Ansaugtaktes durch eine Feder geschlossen. Konstruktionsbedingt konnten diese Motoren allerdings nur sehr geringe Drehzahlen erreichen. Der Einzylinder-Viertaktmotor im Daimler-Reitwagen erreichte zum Beispiel eine maximale Drehzahl von nur 700 U/min.

Der noch heute bekannte Ottomotor geht auf eine Erfindung von Nicolaus August Otto, dem Miterfinder des Viertaktverfahrens, aus dem Jahr 1876 zurück. Seine damalige Konstruktion hatte zwar noch nicht wirklich Ähnlichkeit mit heutigen Motoren, allerdings kam hier erstmals eine einlassseitige Ventilsteuerung zum Einsatz.

Durch die Weiterentwicklung der Motoren wurde im Laufe der Zeit ein exaktes Ventilspiel immer wichtiger. Mechanische Ausgleichselemente wie z. B. der Tassenstößel mit Einstellscheibe trugen dazu bei, einen besseren Füllungsgrad des Zylinders zu erreichen. Als Erfinder des Tassenstößels gilt hier der Schweizer Konstrukteur Ernest Henry, er baute diese erstmals 1919 bei Motoren des französischen Motoren- und Automobilherstellers Établissements Ballot ein.

Die Entwicklung hydraulischer Ausgleichselemente lässt sich bis in die frühen 30er Jahre des letzten Jahrhunderts zurückverfolgen. Bereits Ende der 50er Jahre waren in den USA 80 % aller PKW-Motoren serienmäßig mit hydraulischen Ventilspielausgleichselementen ausgerüstet.

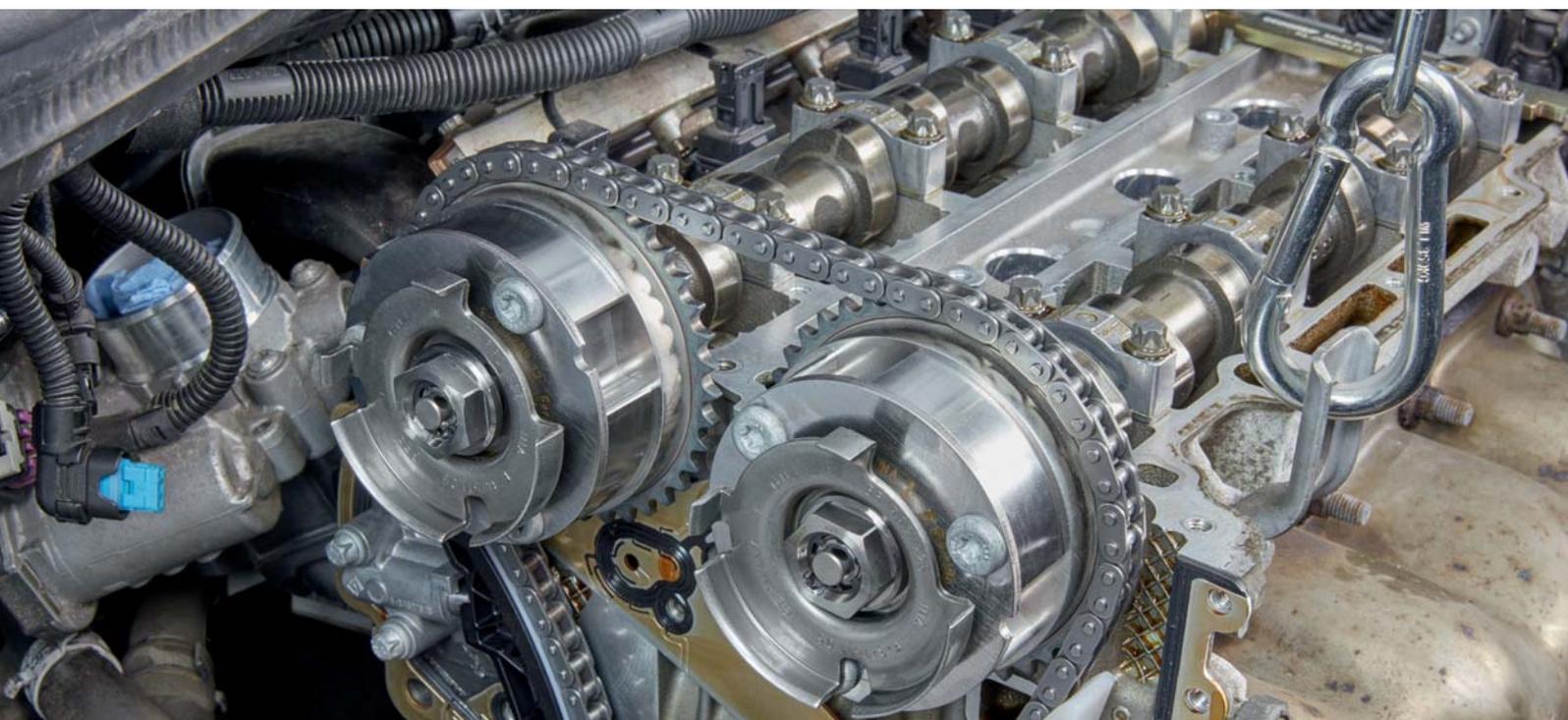
Seit den späten 80ern ist diese Art des Ventilspielausgleichs auch bei allen europäischen Fahrzeugherstellern Standard.

Um den Anforderungen des Marktes gerecht zu werden und die Effizienz der Motoren zu steigern, entwickelten die Ingenieure mit der variablen Ventilsteuerung eine Möglichkeit, die Steuerzeiten bzw. den Ventilhub zu regeln.

Als einer der ersten Fahrzeughersteller trat hier Honda 1989 auf dem japanischen Markt mit seinem VTEC-Motor in Erscheinung. 1990 folgte die Einführung auf dem amerikanischen und 1990/91 auf dem europäischen Markt.

Mittlerweile werden von den Fahrzeugherstellern unterschiedliche technische Lösungen mit jeweils eigenen Bezeichnungen (z. B. BMW-VANOS, MG Rover-VVC, Fiat-MultiAir) für die variable Ventilsteuerung angeboten.

All diese Systeme haben sich bis heute im Markt etabliert und werden kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert.



2 Der Ventiltrieb

Einem Verbrennungsmotor muss zyklisch Kraftstoff und Luft zugeführt werden, während das bei der Verbrennung entstehende Abgas ausgestoßen werden muss. Diesen Vorgang nennt man Ladungswechsel. Im Verlauf dieser Ladungswechsel werden die Ein- und Auslasskanäle der Zylinder periodisch durch die Ein- und Auslassventile geöffnet und geschlossen.

Die Ein- und Auslassventile erfüllen hierbei folgende Aufgaben:

- Einen möglichst großen Öffnungsquerschnitt freigeben.
- Die Öffnungs- und Schließvorgänge schnell ausführen.
- Eine strömungsgünstige Form besitzen, um den auftretenden Druckverlust gering zu halten.
- Im geschlossenen Zustand eine gute Abdichtwirkung erzielen.
- Über eine hohe Standfestigkeit verfügen.

2.1 Anforderungen

Der Ventiltrieb ist hohen Beschleunigungen und Verzögerungen ausgesetzt. Die damit verbundenen Massenkräfte nehmen mit steigender Drehzahl zu und beanspruchen die Konstruktion in hohem Maße. Darüber hinaus müssen die Auslassventile den hohen Temperaturen der Abgase standhalten.

Um unter diesen Bedingungen einwandfrei zu funktionieren, müssen die Bauteile des Ventiltriebs:

- Standfest über die gesamten Lebensdauer sein.
- Reibungsarm in deren Führungen laufen.
- Ausreichende Wärmeableitung von den Ventilen (insbesondere von den Auslassventilen) gewährleisten.

2.2 Ausführungen

Die Motorkonfiguration bestimmt die Ausführung des Ventiltriebes. Allen gemeinsam ist der Antrieb über die Nockenwelle. Man unterscheidet Ventiltriebe nach

- der Anzahl der Ventile, die sie betätigen, und
- der Anzahl und der Lage der Nockenwellen, durch die sie angetrieben werden.

Nockenwellen können an zwei Stellen in den Motor eingebaut werden; entsprechend bezeichnet man sie als untenliegende bzw. obenliegende Nockenwellen.

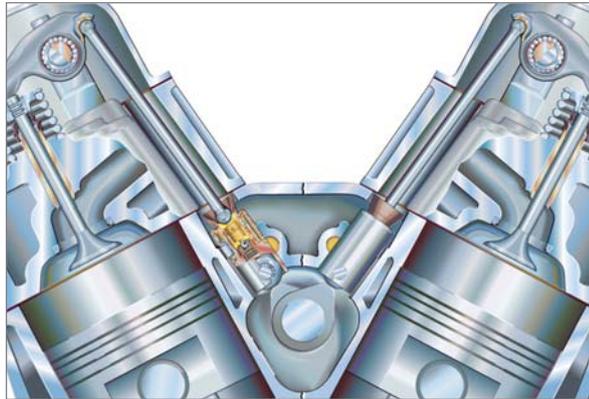


Abb. 1: Overhead Valves (OHV)

OHV bezeichnet einen Motor bei dem die Nockenwelle unterhalb der Trennlinie von Zylinderkopf und Zylinderblock eingebaut ist.

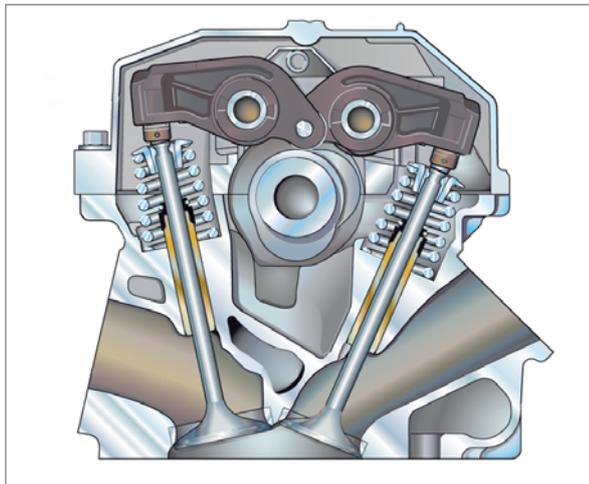


Abb. 2: Overhead Camshaft (OHC)

Motoren, bei denen die Nockenwelle oberhalb der Trennlinie von Zylinderkopf und Zylinderblock angeordnet ist, werden als OHC bezeichnet.

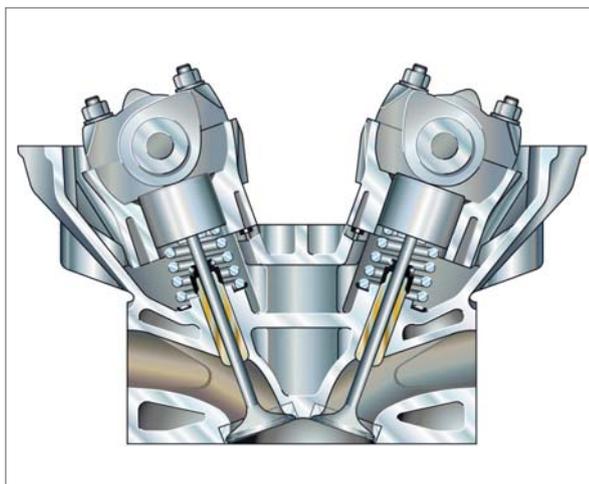


Abb. 3: Double Overhead Camshaft (DOHC)

Im Fall zweier Nockenwellen oberhalb der Trennlinie von Zylinderkopf und Zylinderblock spricht man vom DOHC.

Nockenwelle

Nockenwellen werden in drei unterschiedlichen Verfahrensweisen hergestellt. Eine aus Gusseisen hergestellte Nockenwelle ist die am häufigsten verwendete Bauart. Die Stahlnockenwelle ist eine weitere gängige Bauart. Sie findet bei speziellen Materialanforderungen Verwendung. Hier wird die Nockenwelle aus dem vollen Stahl gedreht und anschließend geschliffen. Die dritte Bauart ist die sogenannte gebaute Nockenwelle. Sie wird üblicherweise aus einem zylindrischen Rohr hergestellt, auf das die einzelnen Nocken aufgeschoben werden. Fixiert werden die Nocken z. B. durch Schweißen oder Aufschrumpfen.

Ihr modularer Aufbau und das wesentlich geringere Gewicht im Vergleich zur Nockenwelle aus Gusseisen stellen einen großen Vorteil dar.

Die auf der Nockenwelle angeordneten Nocken betätigen die Ein- und Auslassventile. Dadurch wird die Drehbewegung der Nockenwelle in eine geradlinige Bewegung der Ventile umgewandelt.

Zwischen den Nocken und den Ventilen kommen unterschiedliche Bauformen von Nockenfolgern (Tassenstößel, Schleppebel, Kipphebel, etc.) zum Einsatz.



2.3 Ventilspiel

Ein Ventiltriebssystem muss bei geschlossenem Ventil über ein definiertes Spiel – das Ventilspiel – verfügen. Es dient dazu, Größenänderungen der Bauteile während des Fahrbetriebs auszugleichen.

Mögliche Ursachen hierfür sind:

- Temperaturschwankungen in den verschiedenen Bauteilen im Motor (z. B. im Zylinderkopf),
- der Einsatz verschiedener Werkstoffe mit verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten,
- Verschleiß an den Kontaktstellen zwischen Nockenwelle und Ventil.

Mögliche Auswirkungen eines falschen Ventilspiels sind:

Ventilspiel zu klein

Ventil öffnet früher und schließt später

- Durch die verkürzte Schließzeit kann nicht genügend Wärme vom Ventilteller an den Ventilsitz abgegeben werden.
- Der Ventilteller des Auslassventils überhitzt, dadurch sinkt die mechanische Belastbarkeit des Ventils und es kann abreißen.
- Es besteht die Gefahr, dass das Auslassventil oder Einlassventil bei warmem Motor nicht vollständig schließt.
- Am Auslassventil wird Abgas angesaugt, gleichzeitig schlagen Flammen am Einlassventil zurück in den Ansaugtrakt.
- Gas- und Leistungsverluste treten auf, Motorleistung nimmt ab. Die Folge hieraus sind schlechtere Emissionswerte!
- Die Ventile werden durch die ständig vorbeiströmenden heißen Abgase überhitzt, wodurch Ventilteller und Ventilsitze verbrennen.

Ventilspiel zu groß

Ventil öffnet später und schließt früher

- Dadurch ergeben sich kürzere Öffnungszeiten und kleinere Öffnungsquerschnitte.
- Der Füllungsgrad des Zylinders mit zündfähigem Kraftstoffgemisch sinkt. Die Folge hieraus sind schlechtere Emissionswerte!
- Das Motormoment und die Motorleistung nehmen ab.
- Hohe mechanische Beanspruchung des Ventils.
- Geräuschentwicklung im Ventiltrieb!
- Der Ventilschaft wird an der Kontaktfläche zum Ausgleichselement verformt.

2.4 Ventilspielausgleich

Beim mechanischen Ventilspielausgleich muss das Ventilspiel nach festgelegten Wartungsintervallen manuell, z. B. über Einstellschrauben oder Einstellscheiben im mechanischen Tassenstößel, eingestellt werden.

Der hydraulische Ventilspielausgleich erfolgt z. B. über hydraulische Tassenstößel, Schleppebel, Kipphebel oder Schwinghebel und hält das Ventilspiel bei laufendem Motor automatisch auf Null.

Hydraulischer Ventilspielausgleich Absinkvorgang
(Der Nocken befindet sich in der Hubphase, das Ventil ist geöffnet – für Bauteilbezeichnungen siehe Abb. 9 und 10).

Das hydraulische Ventilspiel-Ausgleichselement wird durch die Kraft der Motorventilfeder und die Massenkräfte belastet. Entsprechend verkürzt sich der Abstand zwischen Kolben und Innengehäuse.

Dadurch wird eine geringe Ölmenge aus dem Hochdruckraum durch einen Leckspalt ausgepresst und in den Vorratsraum zurückgeführt. Am Ende des Absinkvorgangs entsteht ein geringes Ventilspiel. Befindet sich Luft im Ausgleichselement, wird diese geringe Öl-Luftmenge über die Entlüftungsbohrung und den Führungsspalt ausgepresst.

Absinkvorgang

Der hydraulische Vorgang im Inneren der Ausgleichselemente ist vom Grundprinzip bei allen identisch und daher hier beispielhaft an einer Variante dargestellt.

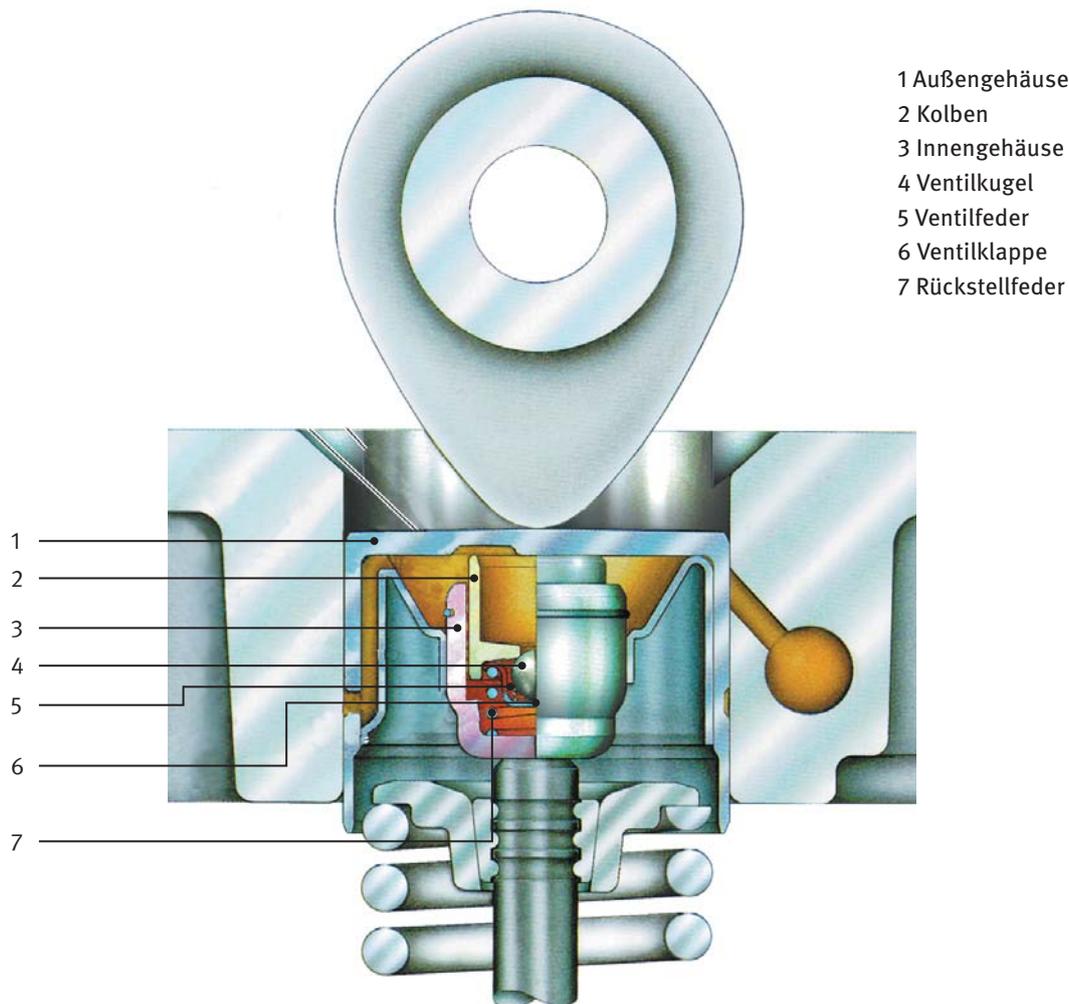


Abb. 9: Absinkvorgang

Ausgleichsvorgang

(Der Nocken befindet sich in der Grundkreisphase, das Ventil ist geschlossen – für Bauteilbezeichnungen siehe Abb. 9 und 10).

Die Rückstellfeder drückt Kolben und Innengehäuse auseinander, bis das Ventilspiel ausgeglichen ist. Das Rückschlagventil öffnet sich durch den Differenzdruck zwischen Hochdruckraum und Vorratsraum.

Öl strömt aus dem Vorratsraum über das Rückschlagventil in den Hochdruckraum. Das Rückschlagventil schließt sich und der Kraftschluss im Ventiltrieb ist wieder hergestellt.

Ausgleichsvorgang

Der hydraulische Vorgang im inneren der Ausgleichselemente ist vom Grundprinzip bei allen identisch und daher hier beispielhaft an einer Variante dargestellt.

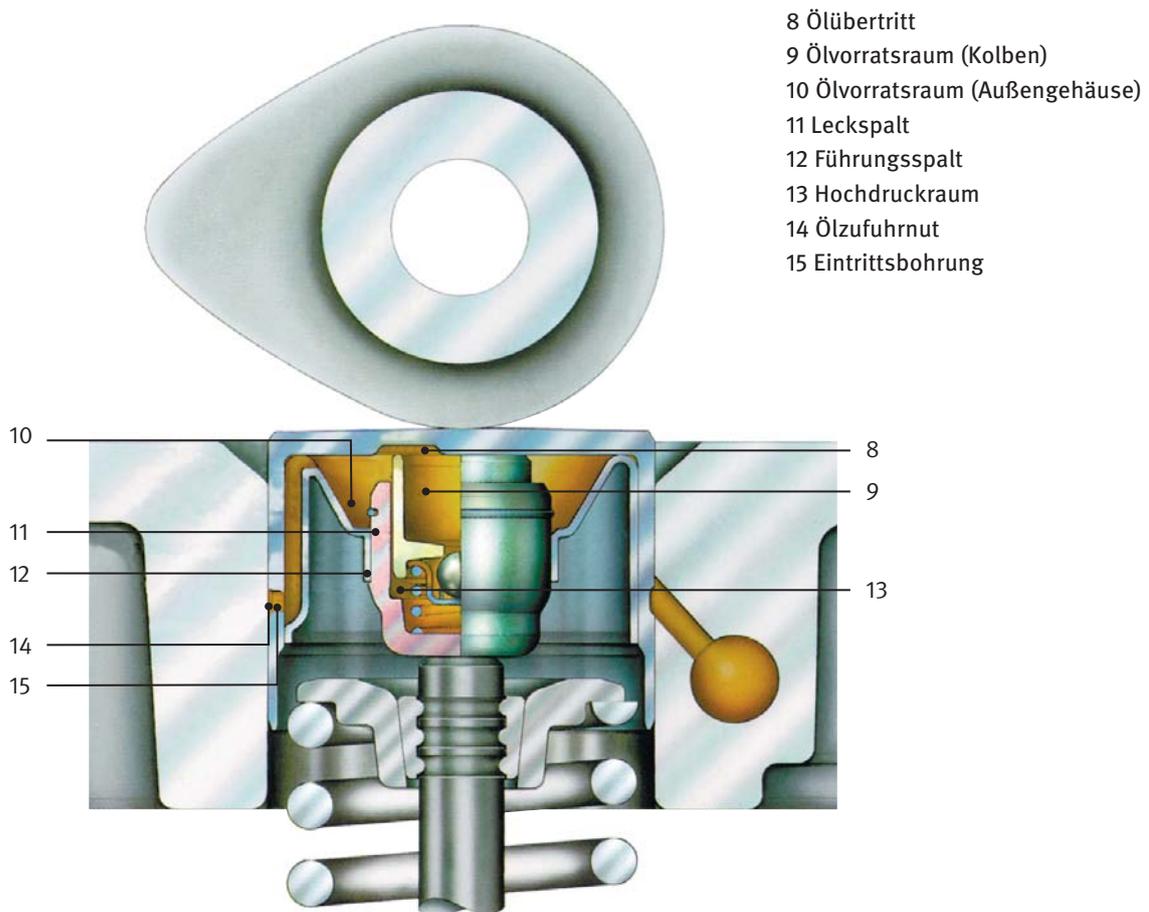


Abb. 10: Ausgleichsvorgang

3 Aufbau und Wirkungsweise der Ventilspielausgleichselemente

3.1 Tassenstößel

Beim Ventiltrieb mit Tassenstößel ist zwischen Ein- bzw. Auslassventil und Nockenwelle kein Übersetzungsglied notwendig. Der Nockenhub wird direkt über den Boden des Tassenstößels auf das Ventil übertragen.

An der Kontaktfläche zwischen Nocken und Tassenboden, dem sogenannten Gleitabgriff, treten Reibungsverluste auf. Durch eine geeignete Werkstoffpaarung oder reibmindernde Beschichtungen können diese Verluste jedoch gering gehalten werden.

Um den auftretenden Verschleiß weiter zu reduzieren, wird der Nocken schräg angeschliffen und dem Tassenstößel gegenüber seitlich versetzt angebracht, sodass der Tassenstößel bei jeder Betätigung um einen bestimmten Winkel gedreht wird.

Diese direkten Antriebe zeichnen sich durch sehr hohe Steifigkeit und gleichzeitig kleine bewegte Massen aus. Dadurch sind sie besonders gut geeignet für Motoren mit hohen Drehzahlen.

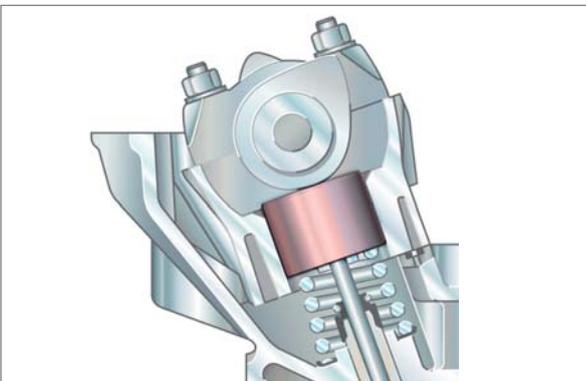


Abb. 11: Tassenstößel Ventiltrieb

Mechanischer Tassenstößel

Zwischen Nockenrundkreis und Tassenboden muss immer ein definiertes Ventilspiel vorhanden sein. Dieses dient zum Ausgleich von Längenänderungen des Ventiltriebs durch Wärmedehnung. Daher muss bei mechanischen Tassenstößeln immer eine Grundeinstellung vorgenommen werden. Verändert sich durch den normalen Verschleiß im Laufe des Fahrbetriebs das Ventilspiel, muss es neu eingestellt werden.

Mechanischer Tassenstößel mit obenliegender Einstellscheibe

Das definierte Ventilspiel wird über die lose im Grundkörper eingelegte Einstellscheibe bestimmt. Entspricht das Ventilspiel nicht den Vorgaben des Fahrzeugherstellers, muss eine Einstellscheibe mit entsprechender Stärke eingesetzt werden. Für den Austausch muss die Nockenwelle nicht ausgebaut werden.



Abb. 12: Mechanischer Tassenstößel mit obenliegender Einstellscheibe

Mechanischer Tassenstößel mit untenliegender Einstellscheibe

Auch hier bestimmt die Stärke der Einstellscheibe das definierte Ventilspiel. Allerdings liegt diese unterhalb des Tassenbodens. Für den Austausch der Einstellscheibe muss daher die Nockenwelle ausgebaut werden. Die geringe Masse dieser Bauform reduziert die Ventilfederkräfte und die Reibleistung. Außerdem kann hier die gesamte Fläche des Tassenaußenbodens als Kontaktbereich für den Nocken genutzt werden.



Abb. 13: Mechanischer Tassenstößel mit untenliegender Einstellscheibe

Mechanischer Tassenstößel mit gestufter Bodenstärke

Bei dieser Bauart gibt es keine separate Einstellscheibe mehr. Das Einstellen des Ventilspiels erfolgt durch Tassenstößel mit unterschiedlichen Bodenstärken. Dazu muss die Nockenwelle ausgebaut werden und ein Tassenstößel mit entsprechender Bodenstärke eingebaut werden. Seine geringe Masse reduziert die Ventilfederkräfte und die Reibleistung. Außerdem kann auch hier die gesamte Fläche des Tassenaußenbodens als Kontaktbereich für den Nocken genutzt werden.



Abb. 14: Mechanischer Tassenstößel mit gestufter Bodenstärke

Hydraulischer Tassenstößel

Hydraulische Tassenstößel gleichen das Ventilspiel während des Motorbetriebs automatisch aus. Sie sind wartungsfrei und zeichnen sich durch eine sehr hohe Ventiltriebsteifigkeit aus. Durch das gleichbleibende Ventilspiel ist der gesamte Ventiltrieb sehr geräuscharm und die Abgasemissionen sind über die gesamte Lebensdauer gleichmäßig niedrig.

Die verschiedenen Varianten mögen zwar äußerlich die gleichen Abmessungen besitzen, sind aber im „Innenleben“ völlig verschieden. Demzufolge sind hydraulische Tassenstößel nicht ohne Weiteres austauschbar.

Gründe hierfür sind:

- Unterschiedliche Absinkzeiten der hydraulischen Ausgleichselemente
- Auslegung auf eine bestimmte Ölspezifikation
- Andere Oberflächenbeschaffenheit des Tassenbodens (z. B. gehärtet oder nitriert)
- Unterschiedlicher Öldruck
- Art des Tassenstößels (mit Auslaufsicherung, Untenansaugung oder Labyrinth)
- Unterschiedliche Federkräfte des Rückschlagventils
- Verschiedene Hübe

Hydraulischer Tassenstößel mit Auslaufsicherung

Durch die Auslaufsicherung kann während der Stillstandphase des Motors kein Öl aus dem äußeren Vorratsraum des Tassenstößels auslaufen. Dadurch steht immer ein gewisses Ölvolumen zur Verfügung, wodurch das Startverhalten nach längerer Standzeit verbessert wird.

Hydraulischer Tassenstößel mit Untenansaugung

Hier wird das Öl über einen Steigkanal von unten angesaugt. Dadurch kommt keine Luft ins Ausgleichselement und das Ölvorratsvolumen kann besser genutzt werden. Auch hier verbessert sich das Startverhalten nach längerer Standzeit.

Hydraulischer Tassenstößel mit Labyrinth

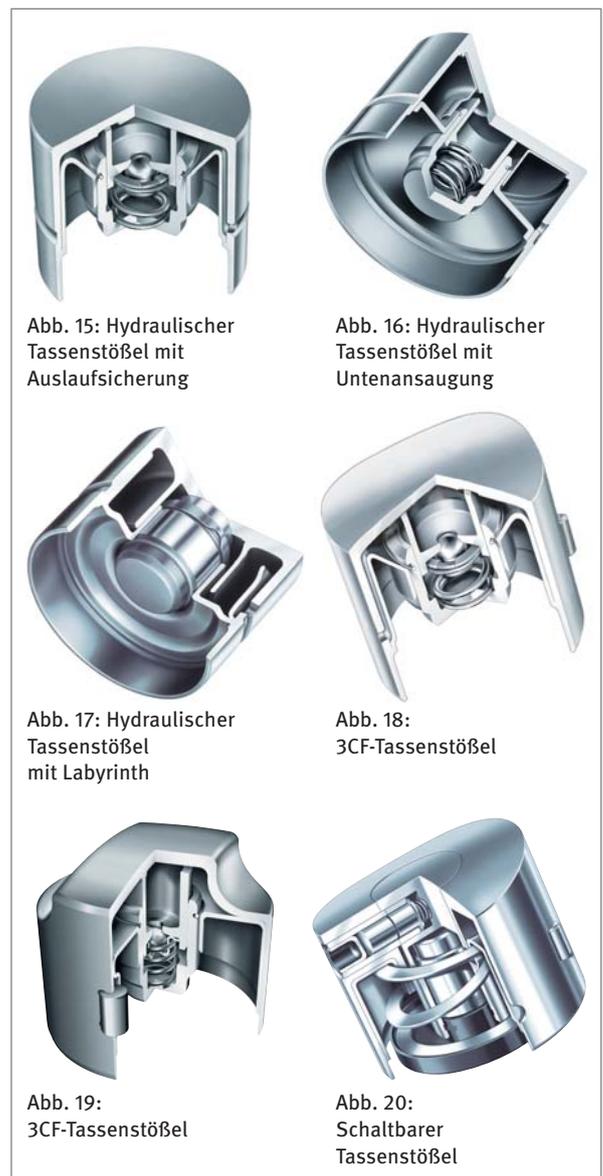
Der hydraulische Tassenstößel mit Labyrinth ist eine Kombination der beiden Ausführungen mit Auslaufsicherung und Untenansaugung.

3CF-Tassenstößel (3CF = cylindrical cam contact face)

Die Form seiner Nockenkontaktfläche ermöglicht eine effektivere Öffnungs- und Schließbeschleunigung der Ein- bzw. Auslassventile. Eine Rotationssicherung hält die Nockenkontaktfläche des Tassenstößels immer in der optimalen Position zum Nocken der Nockenwelle. Außerdem befindet sich die Öleintrittsbohrung immer an der gleichen Stelle. Dies vereinfacht die Ölversorgung und verringert den Öldurchsatz.

Schaltbarer Tassenstößel

Schaltbare Tassenstößel werden bei Motoren mit Hubumschaltung eingesetzt. Je nach Lastzustand des Motors kann zwischen zwei fest definierten Ventilhubkurven umgeschaltet werden. Dadurch wird der Kraftstoffverbrauch signifikant gesenkt.



3.2 Schleppebel mit Abstützelement

Schleppebel werden aus Blech oder Stahlguss hergestellt. Den Kontakt zum Nocken stellt in der Regel eine wälzgelagerte Rolle her. Daher spricht man hier auch vom Rollenschleppebel. Im Vergleich zu Tassenstößeln erzeugen kurze Hebel kleinere Trägheitsmomente. Es lassen sich Konstruktionen mit geringeren, auf die Ventilseite reduzierten Massen realisieren. Hinsichtlich der Steifigkeit sind die Schleppebel den Tassenstößeln jedoch deutlich unterlegen.

Die verschiedenen Ventiltriebkonstruktionen erfordern unterschiedlich geformte Nocken. Vergleicht man die Nocken für einen Tassenstößel-Ventiltrieb mit denen, die für Rollenschleppebel-Ventiltriebe eingesetzt werden, besitzen Letztere einen größeren Spitzenradius sowie konkave Flanken und erzeugen, abhängig vom Übersetzungsverhältnis, einen kleineren Nockenhub. Die Nockenwelle befindet sich oberhalb der Rolle, die bevorzugt mittig zwischen dem Ventil und dem Abstützelement angeordnet ist. Diese Anordnung macht den Schleppebel für 4-Ventil-Dieselmotoren interessant.

Bei diesen Motoren sind die Ventile entweder parallel oder unter einem kleinen Winkel zueinander angeordnet, so dass erst durch den Einsatz von Schleppebeln ein ausreichend großer Abstand zwischen den Nockenwellen entsteht.

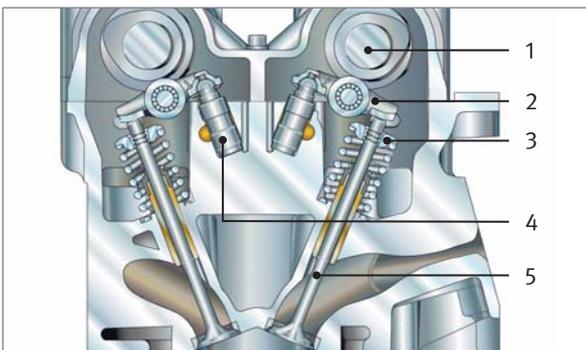


Abb. 21: Ventiltrieb mit Rollenschleppebel

- 1 Nockenwellen
- 2 Rollenschleppebel
- 3 Ventilsfeder
- 4 Hydraulisches Abstützelement
- 5 Ventil

Schleppebel

Bei allen Ausführungen erfolgt der Kontakt vom Schleppebel zum Nocken vorzugsweise über eine wälzgelagerte Nockenrolle. Durch seine kompakte Bauweise wird nur ein geringer Bauraum benötigt und die Montage im Zylinderkopf ist sehr einfach. Einem Schleppebel kann sehr leicht das benötigte Öl zugeführt werden und die Reibung im Ventiltrieb ist sehr gering.



Abb. 22: Schleppebel

Blechsleppebel

Die Höhe der Führungslaschen, in der das Ventil geführt wird, ist frei wählbar. Wahlweise kann er mit oder ohne Ölspritzdüse bzw. mit oder ohne Sicherungsklammer ausgeführt sein. Letzteres vereinfacht die Montage im Zylinderkopf.



Abb. 23: Blechsleppebel

Gusschleppebel

Der Gusschleppebel ermöglicht eine sehr komplexe Bauteilgeometrie, wodurch eine besonders hohe Belastbarkeit erzielt wird. Je nach Ausführung verfügt er über ein sehr niedriges Massenträgheitsmoment und eine hohe Steifigkeit.



Abb. 24: Gusschleppebel



Abb. 25: Hydraulisches Abstützelement

Hydraulisches Abstützelement

Der Unterschied zwischen den verschiedenen hydraulischen Abstützelementen besteht, genau wie bei den hydraulischen Tassenstößeln, hauptsächlich in der Absinkzeit.

Wird ein hydraulisches Abstützelement mit einer falschen Absinkzeit montiert, kann dies zu erheblichen Funktionsstörungen im Ventiltrieb führen oder gar einen kapitalen Motorschaden verursachen.

Grundsätzlich sollten Schleppebel und hydraulisches Abstützelement immer paarweise ausgetauscht werden, ansonsten entsteht ein ungünstiges Kontaktverhältnis zwischen der Kalotte des Schleppebels und dem Kopf des Abstützelements, was einen hohen Verschleiß zur Folge hat.

3.3 Kipphebel mit Einsteckelement

Bei Kipphebel-Ventiltrieben ist die Nockenwelle unterhalb des Kipphebels an einem seiner Enden positioniert. Der Nockenhub wird über einen Gleitabgriff oder eine Rolle (Rollenkipphebel) auf den Hebel übertragen. Um die Reibungsverluste gering zu halten, werden bei modernen Kipphebeln nadelgelagerte Nockenrollen verwendet. Am anderen Ende des Kipphebels befindet sich ein hydraulisches Einsteckelement zum automatischen Ventilspielausgleich oder eine Justierschraube zur mechanischen Einstellung des Ventilspiels. Über dieses Kipphebelende wird das Ein- bzw. Auslassventil betätigt.

Der Kontaktpunkt zwischen dem Ausgleichselement (Einsteckelement) und dem Ventil muss stets auf dem Ventilschaftende liegen. Da der Kipphebel eine Schwenkbewegung ausführt, ist die Kontaktfläche des Einsteckelements zum Ventilbetätigungselement leicht gewölbt (ballig). Daraus resultiert eine sehr kleine Auflagefläche, die wiederum zu einer vergleichsweise großen Flächenpressung am Ventilschaftende führt. Ist diese sehr hoch, werden Einsteckelemente eingesetzt, die einen Schwenkfuß bzw. Gleitschuh besitzen. Der Schwenkfuß (oder Gleitschuh) ist über ein Kugelgelenk mit dem Einsteckelement verbunden und liegt daher immer eben auf dem Ventilschaftende auf. Dadurch entsteht eine größere Kontaktfläche und die Flächenpressung nimmt ab.

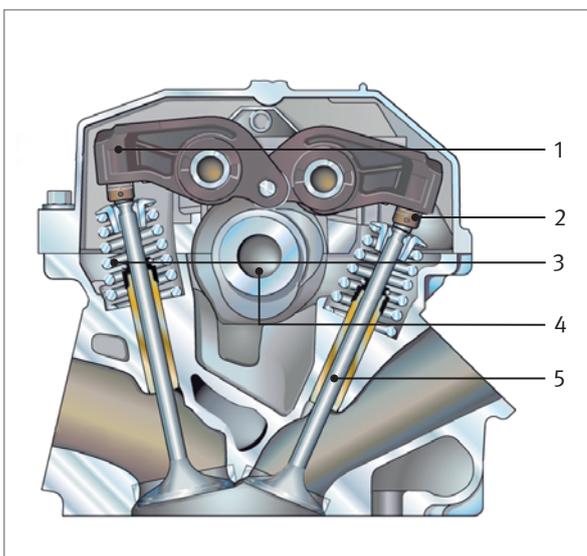


Abb. 26: Ventiltrieb mit Kipphebel

- 1 Kipphebel
- 2 Hydraulisches Einsteckelement
- 3 Ventulfeder
- 4 Nockenwelle
- 5 Ventil

Der Grundkörper des **Kipphebels** ist in aller Regel aus Aluminium gefertigt. Darin befindet sich am einen Ende eine nadelgelagerte Nockenrolle und am Anderen das hydraulische Einsteckelement.

Ein großer Vorteil eines Ventiltriebs mit Kipphebeln ist seine sehr geringe Reibung. Zudem benötigt man nur einen geringen Bauraum, da alle Ventile durch eine Nockenwelle betätigt werden können.



Abb. 27: Kipphebel mit hydraulischem Einsteckelement

Das **hydraulische Einsteckelement** gleicht das Ventilspiel automatisch aus und ermöglicht dadurch eine gleichmäßig niedrige Abgasemission über die gesamte Lebensdauer. Es arbeitet sehr geräuscharm und ist zudem wartungsfrei. Die Ölversorgung des Einsteckelements erfolgt über Bohrungen in der Kipphebelachse.

Ein **hydraulisches Einsteckelement ohne Gleitschuh** zeichnet sich besonders durch sein geringes Gewicht, und dadurch eine geringe bewegte Masse, aus.



Abb. 28: Hydraulisches Einsteckelement ohne Gleitschuh

Beim **hydraulischen Einsteckelement mit Gleitschuh** ist dieser über eine Kugel-/Kalottenverbindung am Einsteckelement schwenkbar gelagert. Daraus resultiert im Kontakt zum Ventil eine sehr geringe Flächenpressung. Der Gleitschuh ist aus gehärtetem Stahl gefertigt.



Abb. 29: Hydraulisches Einsteckelement mit Gleitschuh

3.4 Rollenschwinghebel mit Einsteckelementen

Bei Schwinghebel-Ventiltrieben ist die Nockenwelle oberhalb des Schwinghebels positioniert und kann mehrere Ventile gleichzeitig betätigen. Die Betätigung erfolgt durch zwei Nocken, die über zwei Rollen im Hebel auf zwei oder drei Einsteckelemente einwirken. Bei der Ausführung mit zwei Einsteckelementen spricht man von einem Doppel-Schwinghebel, bei drei von einem Drillings-Schwinghebel. Anwendung findet dieses Prinzip in Mehrventil-Dieselmotoren. Selbst wenn diese eine gedrehte Ventilanordnung aufweisen, ist es möglich, alle Ventile über nur eine Nockenwelle zu betätigen. Gleichzeitig lässt diese Anordnung genügend Raum für die Einspritzdüsen.

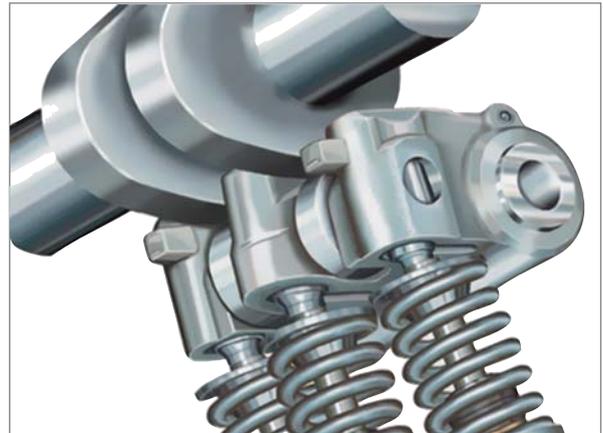


Abb. 30: Rollenschwinghebel mit Einsteckelementen

Der Grundkörper des **Rollenschwinghebels** ist in aller Regel aus Aluminium gefertigt. Darin befinden sich nadelgelagerte Nockenrollen und für jedes Ventil separat jeweils ein hydraulisches Einsteckelement. Der Rollenschwinghebel zeichnet sich ebenfalls durch eine geringe Reibleistung aus und ist extrem drehzahlfest.

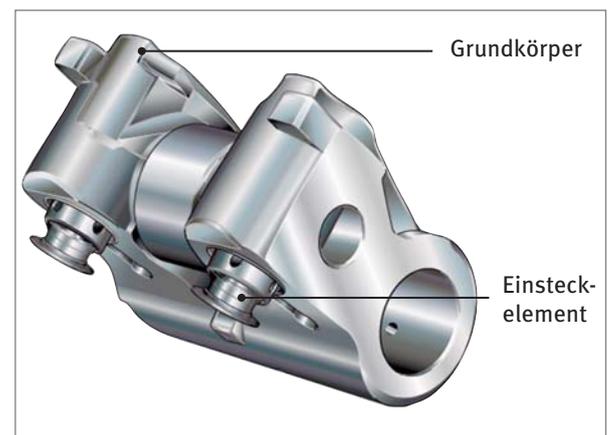


Abb. 31: Doppel-Schwinghebel

Auch hier gleichen die **hydraulischen Einsteckelemente** das Ventilspiel automatisch aus und ermöglichen dadurch eine gleichmäßig niedrige Abgasemission über die gesamte Lebensdauer. Sie arbeiten ebenfalls sehr geräuscharm und sind wartungsfrei. Die Ölversorgung der Einsteckelemente erfolgt über Bohrungen im Rollenschwinghebel.

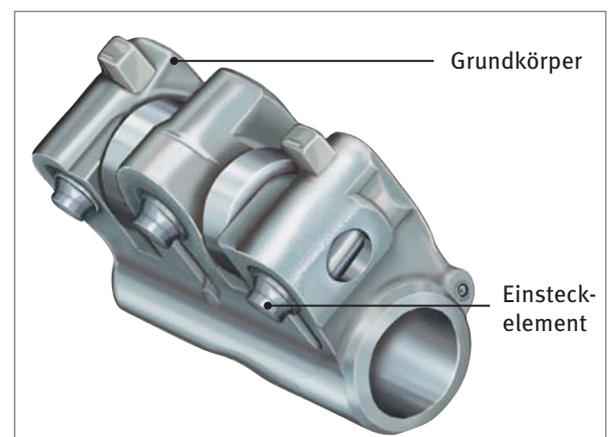


Abb. 32: Drillings-Schwinghebel

3.5 Besonderheiten beim OHV-Ventiltrieb

In Motoren mit untenliegender Nockenwelle ist der Abstand zwischen Nocken und Hebel relativ groß. In diesem Fall leitet eine Stoßstange die Hubbewegung auf den Hebel weiter. Stoßstangen werden in Kombination mit speziellen Nockenfolgern bzw. Stößeln eingesetzt. Diese stellen entweder über eine Gleitfläche (Flach- oder Pilzstößel) oder über eine Rolle (Rollenstößel) den Kontakt zum Nocken her und haben außerdem die Aufgabe, die Stoßstange zu führen.

- 1 Hydraulischer Rollenstößel
- 2 Kipphebel
- 3 Nockenrolle
- 4 Gehäuse
- 5 Kolben
- 6 Sicherung gegen verdrehen
- 7 Stoßstange
- 8 Kipphebellagergestell
- 9 Nadellager

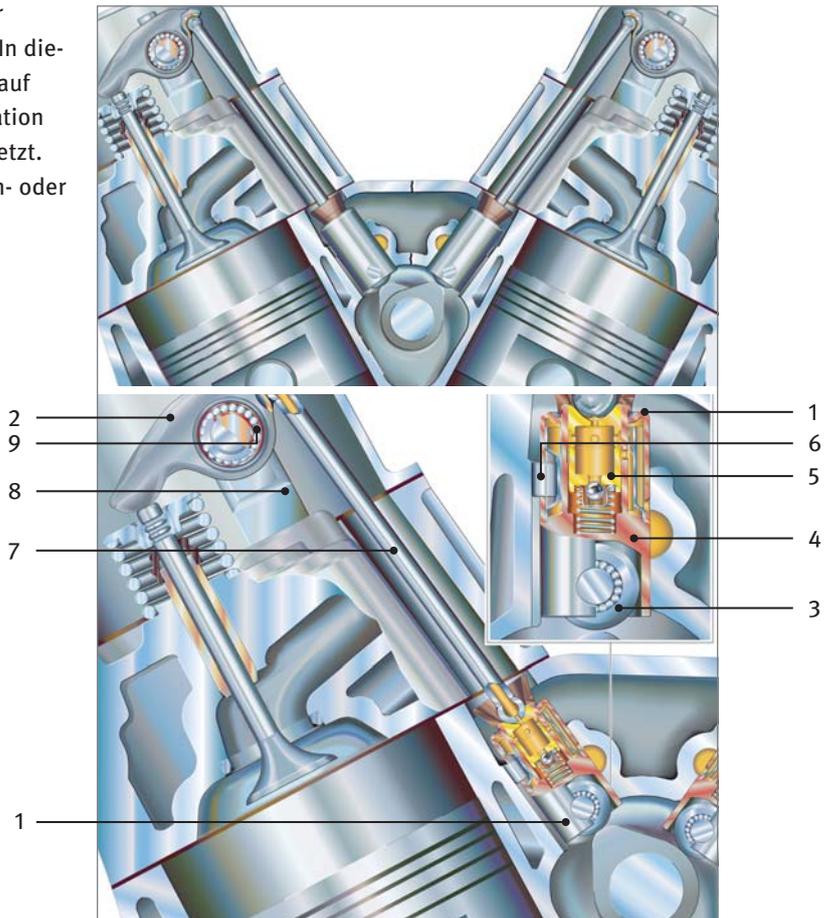


Abb. 33: OHV-Ventiltrieb

Hydraulische Rollenstößel mit Labyrinth verfügen über ein spezielles innenliegendes Ölführungssystem. Es verbessert die Notlaufeigenschaften, auch wenn die Druckölversorgung nicht optimal ist. Der automatische Ventilspielausgleich ermöglicht auch hier eine gleichmäßig niedrige Abgasemission über die gesamte Lebensdauer. Auch sie arbeiten sehr geräuscharm und sind wartungsfrei.

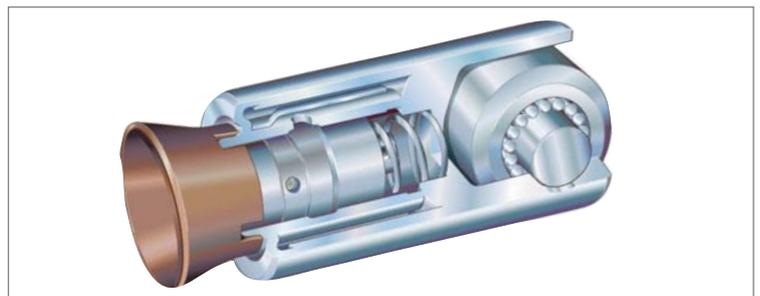


Abb. 34: Hydraulische Rollenstößel

Kipphebel mit Kipphebellagergestell werden als komplette Montageeinheit Hebel/Hebellagerung geliefert. Der Kipphebel ist durch ein Nadellager schwenkbar auf dem Kipphebellagergestell gelagert. Darum ist seine Bewegung sehr reibungsarm.

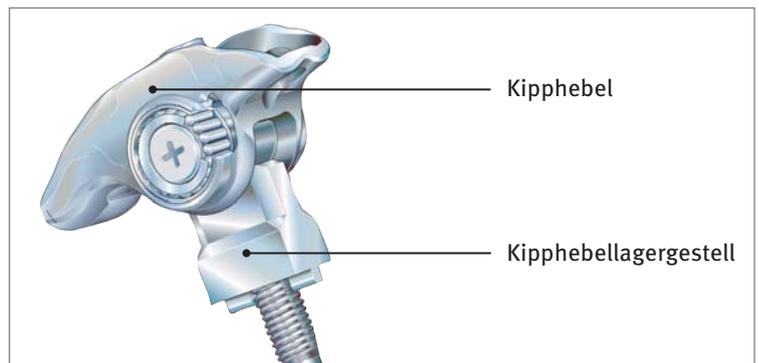


Abb. 35: Kipphebel mit Kipphebellagergestell

3.6 Schaltbare Ventilspielausgleichselemente

Die verschärften Vorgaben für Abgasemissionen und die Forderung nach geringerem Kraftstoffverbrauch bei gleichzeitig größerem Fahrspaß, der sich in Größen wie Leistung, Drehmoment und Ansprechverhalten des Motors ausdrückt, erfordern eine besondere Variabilität des Ventiltriebs.

Heute sind Hubumschaltssysteme mit entsprechenden Nockenfolgern wie schaltbaren Kipphebeln, Schlepphebeln oder Tassenstößeln bereits realisiert. Die Hubumschaltung wird eingesetzt, um abhängig vom Betriebspunkt verschiedene Ventilerhebungskurven realisieren zu können, d. h., den jeweils optimalen Ventilhub einzustellen. Voraussetzung ist, dass für jeden Alternativ-Ventilhub auch ein entsprechender Nocken als hubgebendes Element vorhanden ist – es sei denn, die Alternative ist der Nullhub, also die Stilllegung des Ventils. Dabei stützt sich das mit dem Ventil in Eingriff stehende Element am Grundkreisnocken ab.

Die Zylinderabschaltung oder Ventilstilllegung kommt vorwiegend bei großvolumigen Mehrzylindermotoren (mit z. B. acht, zehn oder zwölf Zylindern) zum Einsatz. Ziel dieses Verfahrens ist es, die Ladungswechselverluste (Pump- bzw. Drosselverluste) zu minimieren oder den Betriebspunkt zu verlagern. Aufgrund der gleichmäßigen Zündfolgen lassen sich gängige V8- und V12-Triebwerke auf R4- bzw. R6-Maschinen „umschalten“. Versuche an einem V8-Motor im stationären Betrieb zeigen, dass der Einsatz einer Zylinderabschaltung in üblichen Fahrzyklen zu Kraftstoffeinsparungen zwischen 8% und 15% führt. Um ein Ventil stillzulegen, verzichtet man auf einen zweiten Hubnocken pro Nockenfolger.

In diesem Fall wird das Element, welches den Hub vom Nocken abgreift, vom Ventil abgekoppelt. Die Bewegung des Abgriffelements läuft ins Leere, man spricht daher auch vom „Lost-motion“-Hub. Da zur Ventilfeeder keine Verbindung mehr besteht, müssen die auftretenden Massenträgheitskräfte von einer weiteren Feder (der sogenannten „Lost-motion“-Feder) aufgenommen werden. Der Teil des Ventiltriebs, für den keine Stilllegung bzw. Zylinderabschaltung geplant ist, führt die Hubbewegung unverändert aus. An den deaktivierten Zylindern arbeitet die Nockenwelle nur noch gegen die „Lost-motion“-Federkräfte, die um den Faktor vier bis fünf kleiner sind als entsprechende Ventilfeederkräfte. Auf diese Weise werden Reibungsverluste reduziert.



Abb. 36: Schaltbarer mechanischer Tassenstößel

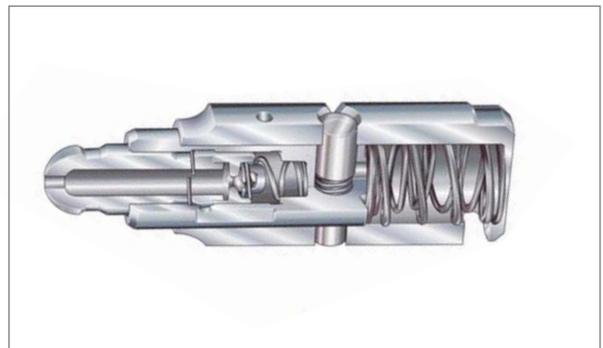


Abb. 37: Schaltbares Abstützelement

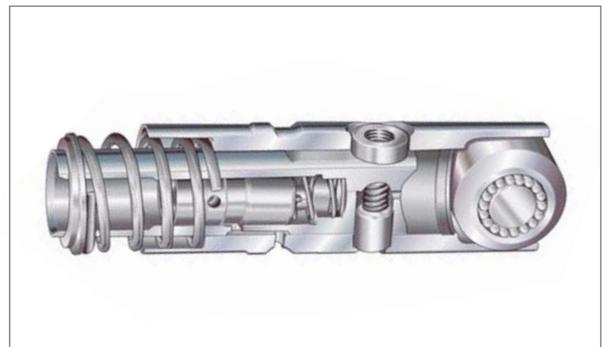


Abb. 38: Schaltbarer Rollenstößel

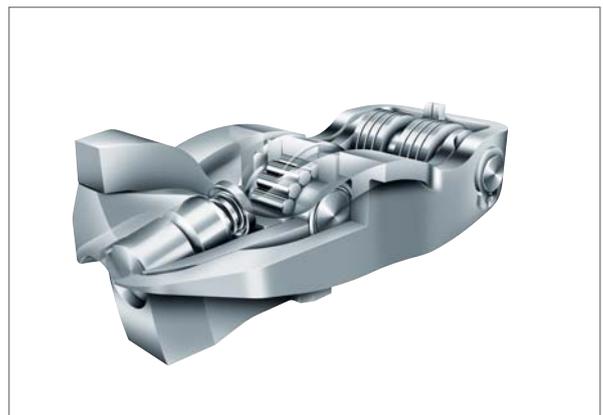


Abb. 39: Schaltbarer Rollenschlepphebel

Funktion des schaltbaren Tassenstößels

Grundkreisphase (Umschaltvorgang)

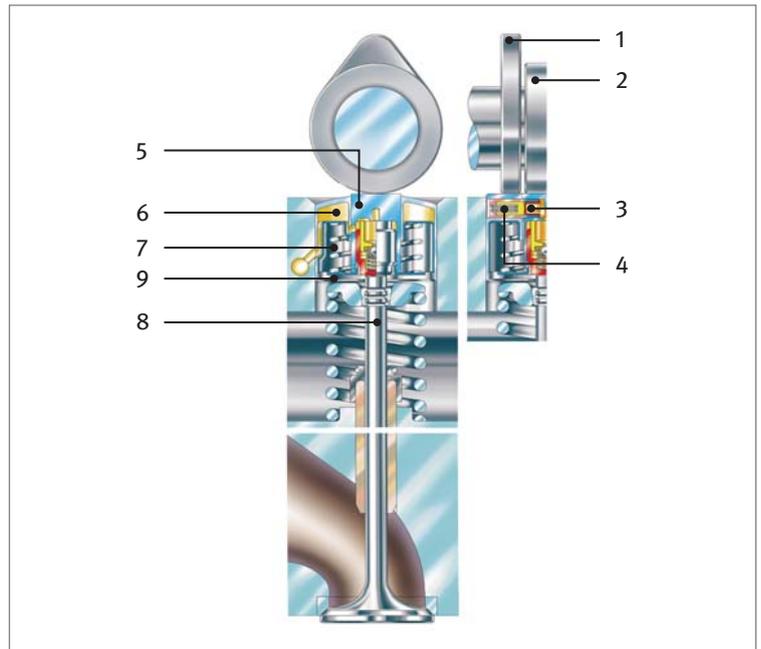
- Die Abstützfeder drückt den Außenstößel gegen den Anschlag des Innenstößels.
- Der Innenstößel ist in Kontakt zum Innennocken; zwischen dem Außennocken und dem Außenstößel besteht geringes Spiel.
- Bei verringertem Motoröldruck verbindet der federgestützte Verriegelungskolben den Außenstößel mit dem Innenstößel.
- Wird der Motoröldruck größer als der Schaltöldruck, drückt der Betätigungskolben den Verriegelungskolben zurück in den Außenstößel. Dadurch wird der Außenstößel vom Innenstößel entkoppelt.
- Das hydraulische Ausgleichselement im Innenstößel gleicht das Ventilspiel aus.

Nockenhubphase, entriegelt (Null- oder Teilhub)

- Das Außennockenpaar bewegt den Außenstößel gegen die Abstützfeder nach unten.
- Das Motorventil folgt der Kontur des Innennockens.
- Werden alle Motorventile eines Zylinders deaktiviert (Außenstößel entriegelt), kann der Zylinder abgeschaltet werden. Dadurch wird der Kraftstoffverbrauch deutlich verringert.

Nockenhubphase, verriegelt (Vollhub)

- Das Außennockenpaar bewegt die miteinander verriegelten Außenstößel und Innenstößel nach unten und öffnet das Motorventil.
- Das hydraulische Ausgleichselement wird belastet.
- Eine geringe Ölmenge aus dem Hochdruckraum wird durch den Leckspalt ausgespresst.
- Nach Erreichen der Grundkreisphase wird das Ventilspiel auf null gestellt.



1 Außennocken

2 Innennocken

3 Betätigungskolben

4 Verriegelungskolben

5 Innenstößel

6 Außenstößel

7 Abstützfeder

8 Ausgleichselement

9 Abstützblech

10 Führungsnut

11 Verdrehsicherung

Motoröldruck gedrosselt

Öl unter Motoröldruck

Öl unter Hochdruck

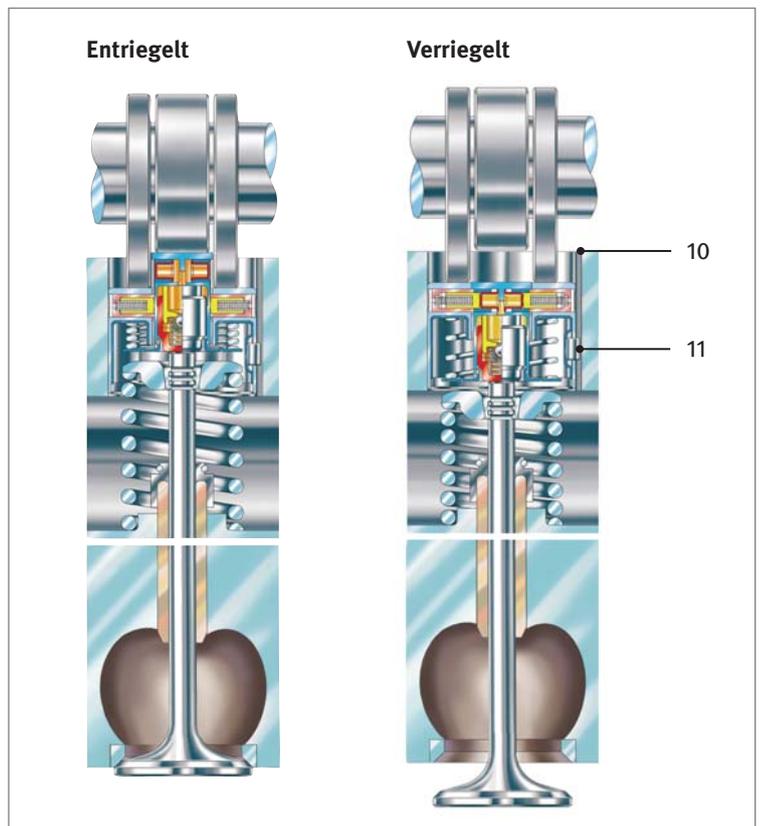


Abb. 40 und 41: Schaltbarer Tassenstößel

Schaltzustände schaltbarer Ventiltriebelemente

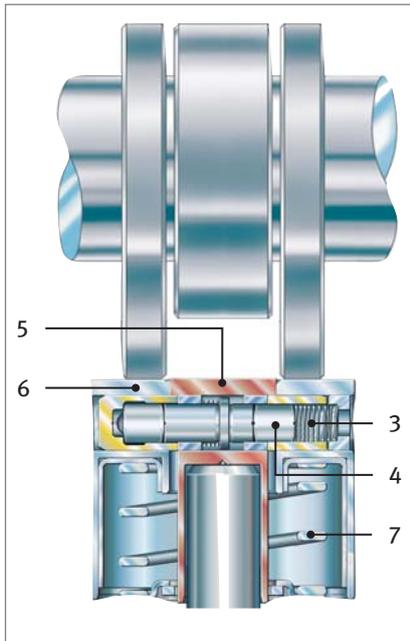


Abb. 42: Grundkreisphase

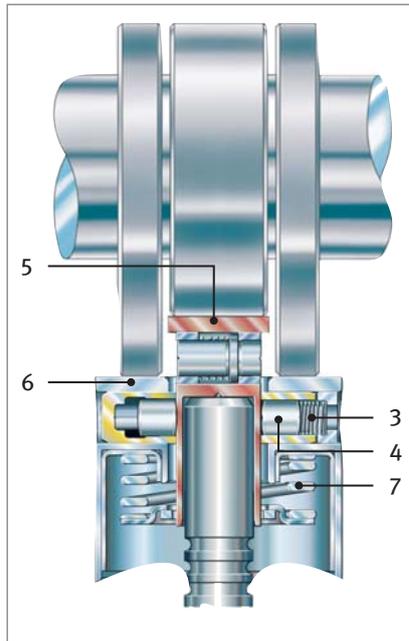


Abb. 43: Nockenhubphase, entriegelt (Teilhub)

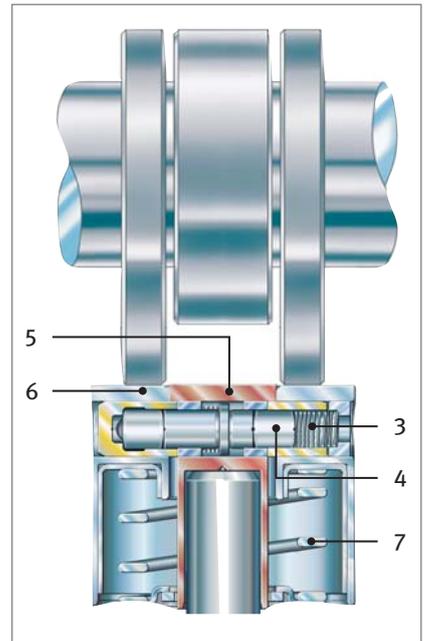


Abb. 44: Nockenhubphase, verriegelt (Vollhub)

1 Kolben
2 Nockenrolle

3 Rückstellfeder
4 Verriegelungskolben

5 Innenstößel
6 Außenstößel

7 Abstützfeder
(„Lost-motion“-Feder)

Verriegelt (Vollhub)

Entriegelt (Nullhub)

Verriegelt (Vollhub)

Entriegelt (Nullhub)

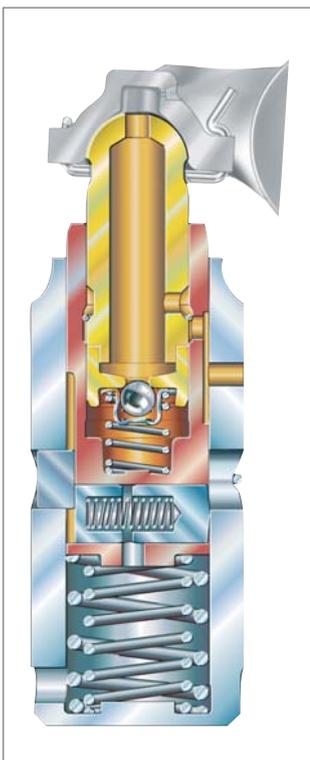
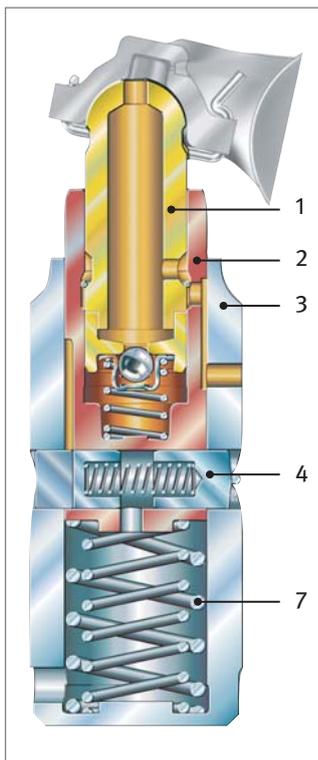


Abb. 45 und 46: Schaltbare Abstützelemente

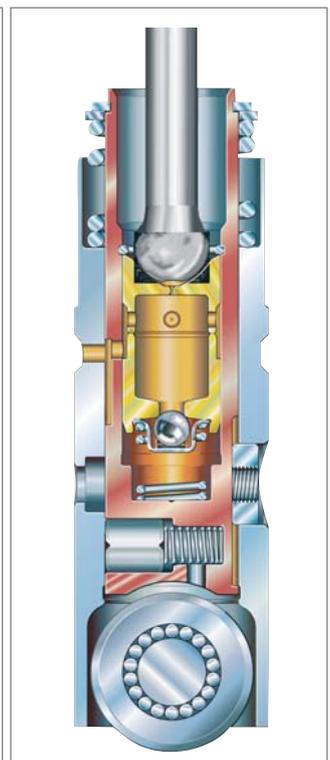
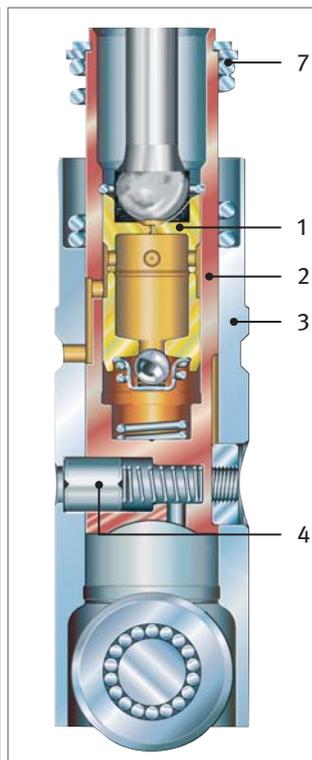


Abb. 47 und 48: Schaltbarer Rollenstößel

4 Hochdruckpumpenstößel

Hochdruckpumpenstößel werden in nahezu allen Ottomotoren mit Benzindirekteinspritzung eingesetzt. Der Pumpenstößel wandelt die Drehbewegung der Nockenwelle in eine geradlinige des Pumpenkolbens um und treibt die Kraftstoffhochdruckpumpe an. Der Antrieb erfolgt über einen separaten Nocken auf der Nockenwelle.

Der Hochdruckpumpenstößel mit Gleitfläche
ist für Einspritzdrücke bis ca. 150 bar einsetzbar

In der Regel wird für 3 und 4 Zylinder Reihenmotoren eine Hochdruckpumpe mit einem Pumpenstößel verwendet. 8- und 10-Zylinder-V-Motoren mit zwei Hochdruckpumpen benötigen entsprechend 2 Pumpenstößel. 6-Zylinder-Motoren können sowohl 1 als auch 2 Kraftstoffhochdruckpumpen haben.



Abb. 49: Hochdruckpumpenstößel mit Gleitfläche

Ein Hochdruckpumpenstößel mit Nockenrolle
ist für Einspritzdrücke bis ca. 200 bar einsetzbar



Abb. 50: Hochdruckpumpenstößel mit Nockenrolle

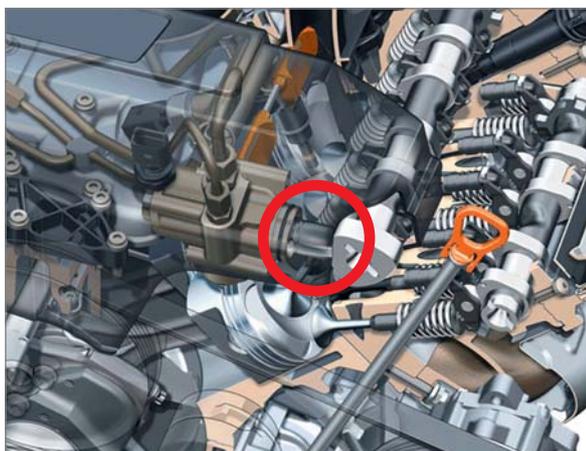


Abb. 51: Beispielhafte Einbauposition im Fahrzeug

5 Nockenwellenverstellungssysteme

5.1 Allgemeine Informationen

Das Ziel der Nockenwellenverstellung ist es, durch die Änderung der Ventilsteuerzeiten, eine möglichst optimale Verbrennung zu erreichen. Dabei ist eine Verstellung der Nockenwelle auf der Einlass- als auch auf der Auslassseite sowie eine Kombination aus Beiden möglich. Typische Verstellwinkel bei der Nockenwelle liegen zwischen 20° und 30° . Die Nockenwellenverstellungssysteme finden in Riemen- und Kettentriebmotoren Verwendung. Dabei erfüllen verschiedene kompakte Designs unterschiedliche Bauraumanforderungen. Durch die Verstellung der Nockenwelle werden nicht nur die Abgasemissionen reduziert und der Kraftstoffverbrauch gesenkt, sondern auch das Drehmoment und die Leistung gesteigert.

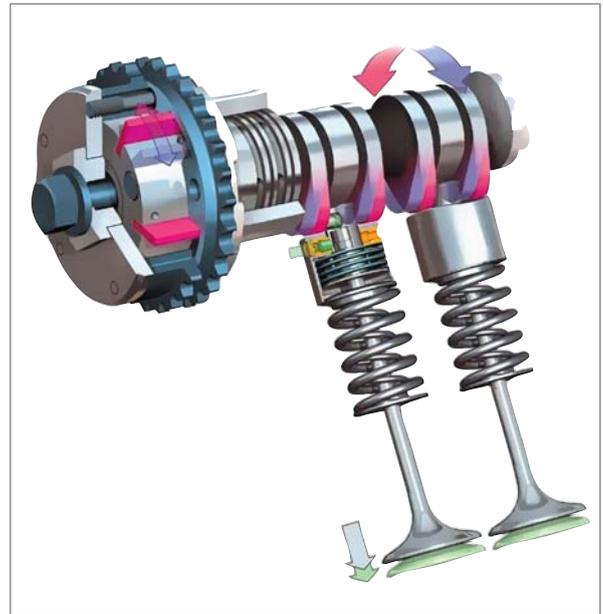


Abb. 52: Nockenwellenverstellungssystem

5.2 Verschiedene Konzepte zur Nockenwellenverstellung in der Übersicht

Verschiedene Verstellkonzepte ermöglichen unterschiedliche Vorteile:

| Konzept | Vorteile | Hubkurven der Gaswechselventile |
|--|--|---------------------------------|
| Einlassnockenwellenverstellung | <ul style="list-style-type: none"> Emissionsreduzierung Kraftstoffverbrauchsreduzierung Komfortverbesserung (Senkung der Leerlaufdrehzahl) Drehmoment- und Leistungssteigerung | |
| Auslassnockenwellenverstellung | <ul style="list-style-type: none"> Emissionsreduzierung Kraftstoffverbrauchsreduzierung Komfortverbesserung (Senkung der Leerlaufdrehzahl) | |
| Unabhängige Nockenwellenverstellung von Ein- und Auslassnockenwelle (DOHC) | <ul style="list-style-type: none"> Emissionsreduzierung Kraftstoffverbrauchsreduzierung Komfortverbesserung (Senkung der Leerlaufdrehzahl) Drehmoment- und Leistungssteigerung | |
| Synchrone Nockenwellenverstellung von Ein- und Auslassnockenwelle (DOHC/SOHC) | <ul style="list-style-type: none"> Emissionsreduzierung Kraftstoffverbrauchsreduzierung | |

..... Versteller in Spätposition
 - - - - - Versteller in Frühposition
 ————— Geregelter Position (Versteller wird auf einer Winkelposition gehalten)

EO → Auslass geöffnet
 EC → Auslass geschlossen
 IO → Einlass geöffnet
 IC → Einlass geschlossen

5.3 Funktion des Nockenwellenverstellsystems

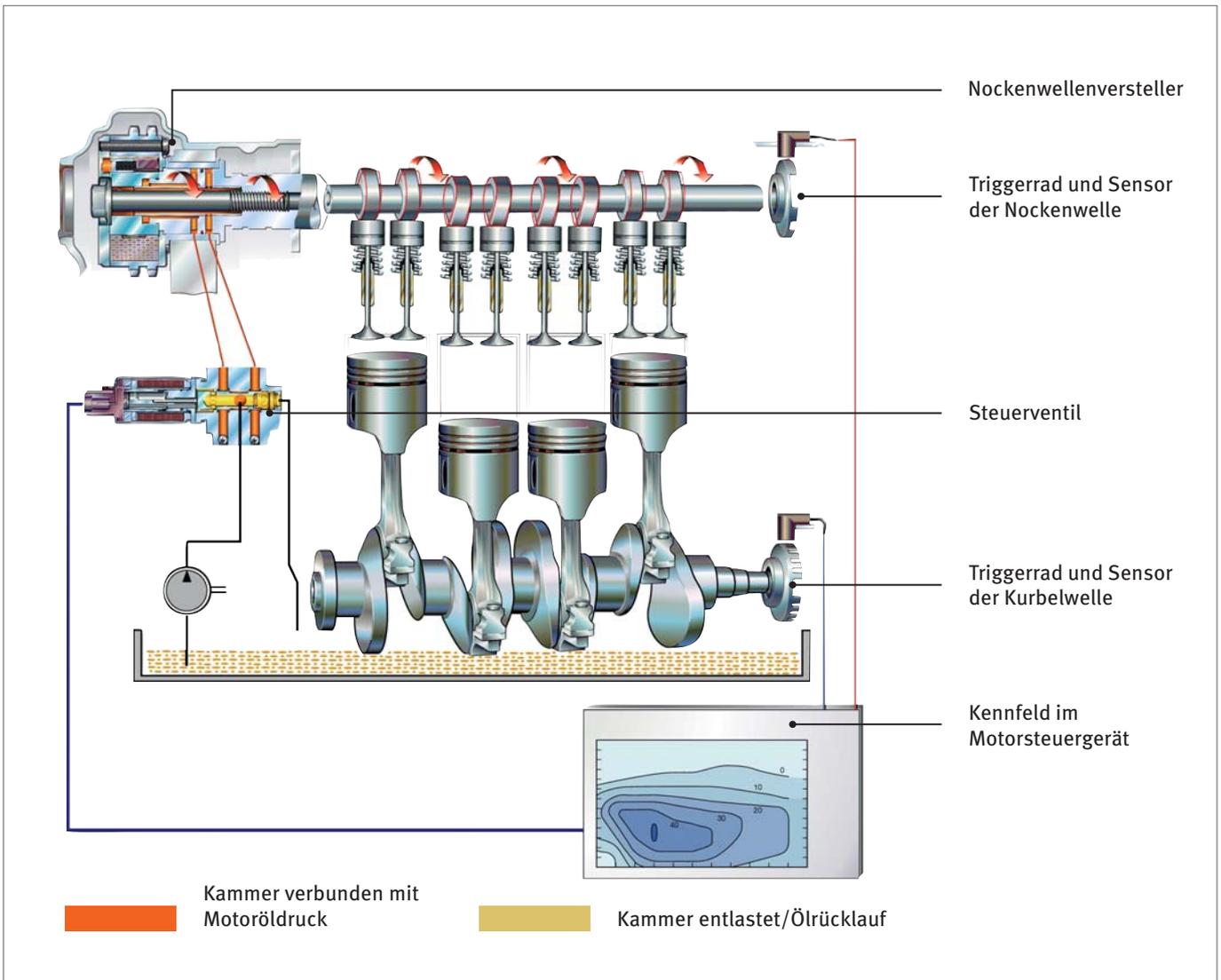


Abb. 53: Nockenwellenverstellersystem

Nockenwellenverstellung – Regelkreis

Die Nockenwelle wird mit Hilfe des Motoröldruckes in einem geschlossenen Regelkreis kontinuierlich verstellt.

- In Abhängigkeit vom Lastzustand, der Temperatur und der Drehzahl des Motors ist im Kennfeld des Motorsteuergerätes jeweils ein Soll-Winkel der Ventilsteuerzeit abgelegt.
- Aus den Signalen der Nockenwellen- und Kurbelwellensensoren wird im Motorsteuergerät der Ist-Winkel berechnet und permanent in hoher Frequenz mit dem Soll-Winkel verglichen.
- Weichen Soll- und Ist-Winkel voneinander ab, wird der Strom am Steuerventil so verändert, dass Motoröl in die zu vergrößernde Ölkammer im Nockenwellenversteller rein und aus der zu verkleinernden Ölkammer raus fließt.
- In Abhängigkeit vom fließenden Ölvolumenstrom erfolgt eine relative Verdrehung der Nockenwelle zur Kurbelwelle bzw. eine Verschiebung der Steuerzeiten zu einem früheren oder späteren Öffnungs- und Schließzeitpunkt.

5.4 Nockenwellenversteller

Flügelzellenversteller

Flügelzellenversteller gibt es sowohl für Ketten- als auch für Riemensteuertriebe.

Durch die Steuerkette bzw. den Zahnriemen wird der Stator mit der Kurbelwelle verbunden. Eine Zentralschraube oder ein Zentralventil verbindet den Rotor mit der Nockenwelle. Zwischen zwei Endanschlägen im Stator ist der Rotor verdrehbar gelagert.

Die Übertragung des Drehmoments von Stator auf den Rotor erfolgt über die hydraulisch eingespannten „Flügel“. Diese bilden in Verbindung mit Segmenten im Stator Ölkammerpaarungen, welche im Betrieb vollständig mit Öl gefüllt sind. Die übliche Anzahl der Flügel liegt zwischen drei und fünf und ist abhängig von der Anforderung an die Verstellgeschwindigkeit und den Belastungen auf das gesamte System.

Ein Verriegelungselement verbindet den Antrieb und den Abtrieb während des Startvorgangs des Motors mechanisch fest miteinander. Es wird hydraulisch entriegelt, sobald der Versteller aus der Grundposition heraus verstellt werden soll.

Der Flügelzellenversteller muss im Riementrieb zu 100 % dicht sein. Beim Kettentrieb sind geringe Leckagen hingegen kein Problem, da der gesamte Kettentrieb selbst in Öl läuft.

Drehflügelversteller

Der Drehflügelversteller ist die aktuelle Bauform eines Nockenwellenverstellers. Im Unterschied zum Flügelzellenversteller sind hier Rotor und Flügel aus einem Stück gefertigt. Federbelastete Dichtlippen dichten die Kammern voneinander ab.

Die Funktionsweise ist identisch mit dem Flügelzellenversteller.

Smartphaser

Bei zukünftigen Motoren reichen die bisherigen Nockenwellenversteller nicht mehr aus. Durch niedrigere Motoröldrücke können die Ölkammern nicht mehr schnell genug gefüllt werden. Hier wird der neu entwickelte Smartphaser zum Einsatz kommen. Er entspricht bautechnisch dem Drehflügelversteller, zusätzlich verfügt er aber über ein Ölreservoir mit Rückschlagventil. Dieses Reservoir sorgt dafür, dass die Ölkammern immer in der benötigten Geschwindigkeit gefüllt werden.



Abb. 54: Kettensteuertriebe

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1 Stator (Antriebsrad) | 3 „Flügel“ |
| 2 Rotor (Abtriebsnabe) | 4 Verriegelungselement |



Abb. 55: Riemensteuertriebe



Abb. 56: Drehflügelversteller

Einlassverstellung

Versteller in Grundstellung

- Die Ventilsteuerzeit befindet sich, wie im Bild unten dargestellt, in Stellung „spät“.
- Das Verriegelungselement ist eingerastet.
- Gleichzeitig belastet Öldruck in der Ölkammer die „Flügel“ einseitig und hält diese am Endanschlag.
- Das Steuerventil ist stromlos geschaltet.

Versteller in geregelterm Betrieb

- Das Steuerventil wird mit Strom beaufschlagt.
- Öl wird in die zweite Kammer (5) geleitet.
- Das Öl entriegelt dort das Verriegelungselement und verdreht den Rotor.
- Damit wird die Nockenwelle in Richtung „früh“ gedreht.

Auslassverstellung

Versteller in Grundstellung

- Die Ventilsteuerzeit befindet sich in der Regel in Stellung „früh“. Also genau in der entgegengesetzten Position zur Darstellung unten.
- Das Verriegelungselement ist eingerastet.
- Das Steuerventil ist stromlos geschaltet.

Versteller in geregelterm Betrieb

- Das Steuerventil wird mit Strom beaufschlagt.
- Öl wird in die zweite Kammer geleitet.
- Das Öl entriegelt dort das Verriegelungselement und verdreht den Rotor.
- Damit wird die Nockenwelle in Richtung „spät“ gedreht.
- Die Schleppreibung der Nockenwelle wirkt bremsend in Richtung „spät“.
- Die Spiralfeder besitzt ein größeres Moment als das Reibmoment der Nockenwelle.
- Die Spiralfeder ist im Deckel eingehängt und in der Mitte über ein Aufnahmeblech mit dem Rotor verbunden.

Zum Halten in einer Zwischenposition wird einlass- wie auslassseitig das Steuerventil in die sogenannte Regelposition gebracht. Damit sind alle Ölkammern weitgehend verschlossen. Lediglich die Ölleckage, die eventuell auftreten kann, wird ausgeglichen.

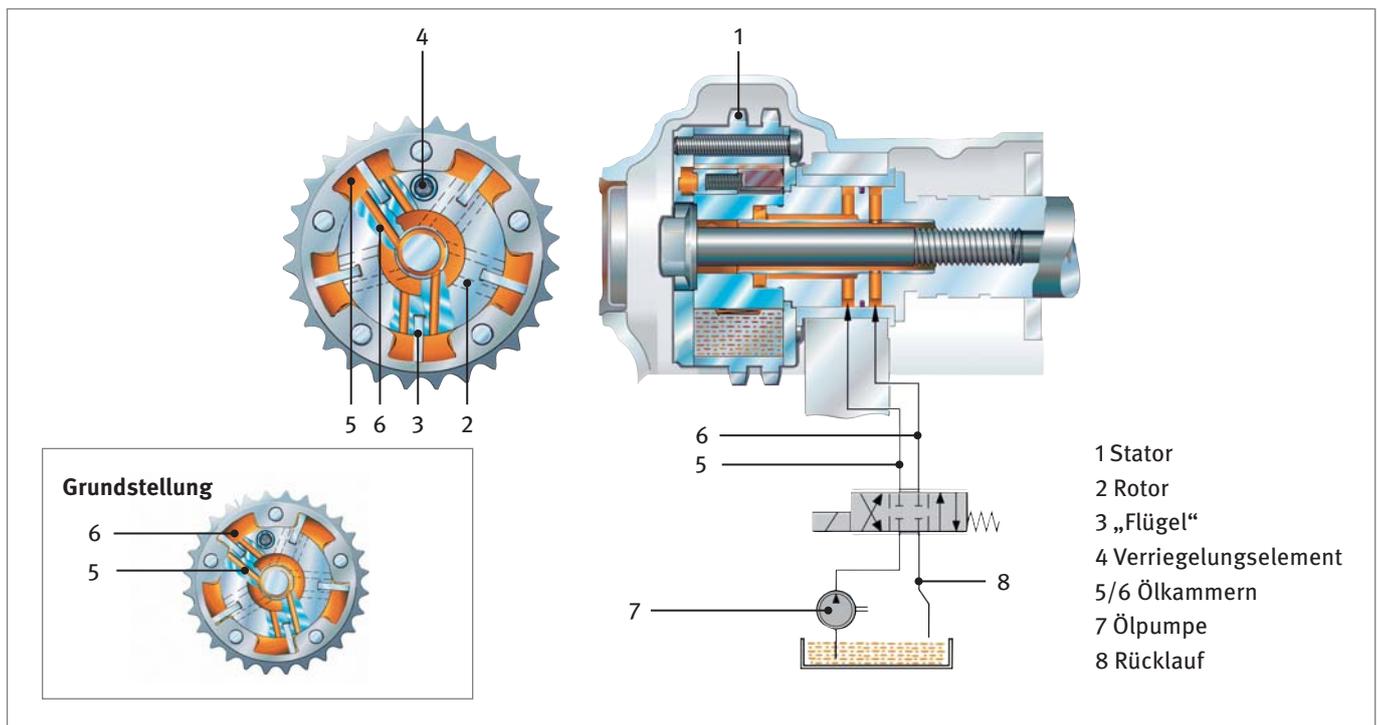


Abb. 57: Nockenwellenstellung in Regelposition

5.5 Steuerventil

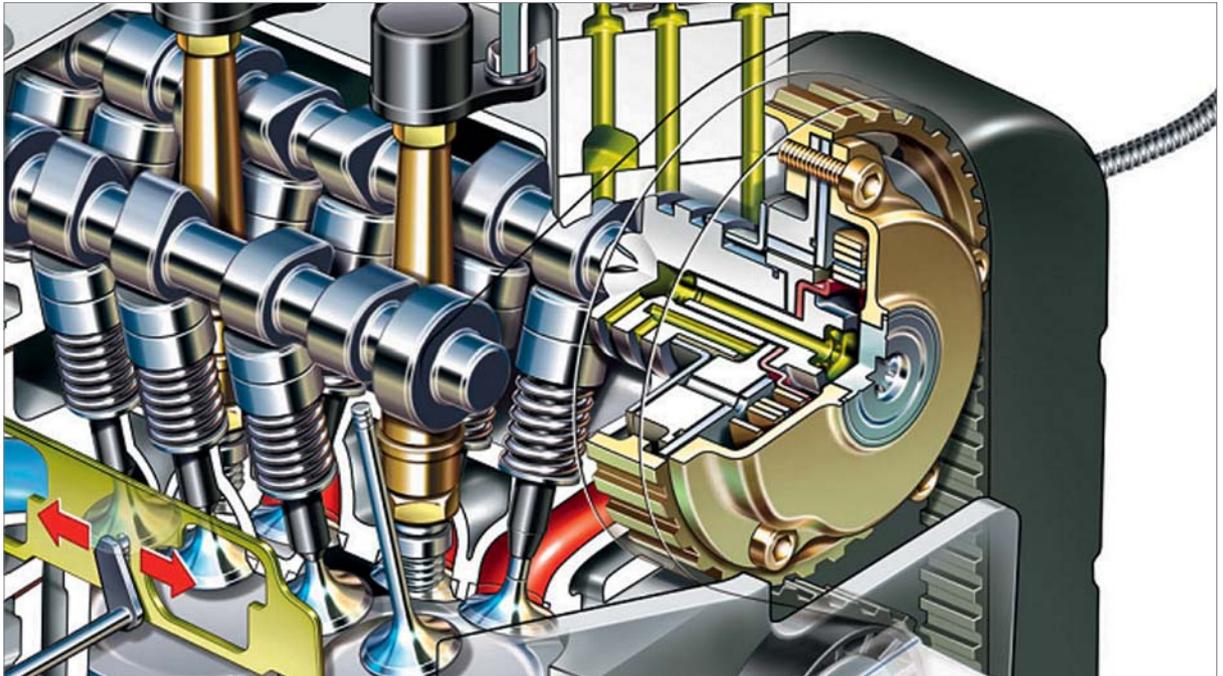


Abb. 58: Ventiltrieb Schnittdarstellung

Ausführung als Einsteckventil

Das Einsteckventil kann direkt in den Zylinderkopf integriert oder über ein Zwischengehäuse angebaut sein. Es ist trotz seiner kompakten Bauweise modular aufgebaut und erlaubt Modifikationen zur Anpassung an den jeweiligen Einsatzfall. Elektrisch ist es mit dem Motorsteuergerät verbunden.

Das Einsteckventil ist als Proportionalventil mit vier Anschlüssen ausgeführt.

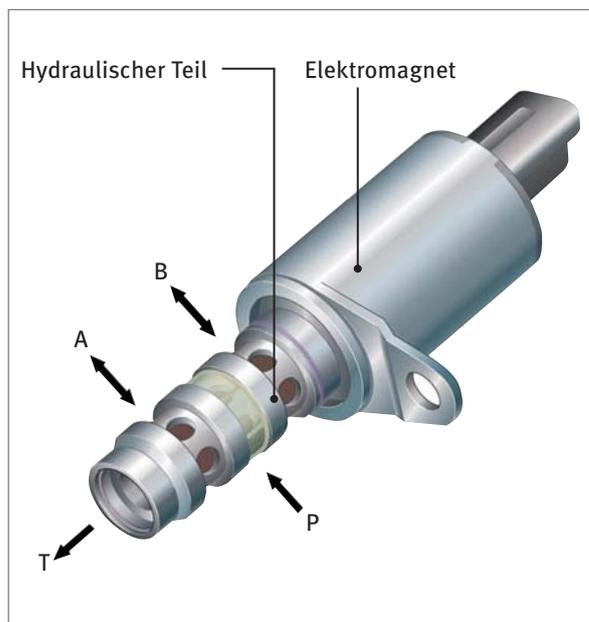


Abb. 59: Einsteckventil

Ausführung als Zentralventil

Das Zentralventil wird in die Nockenwelle eingeschraubt. Der separate Zentralmagnet ist koaxial vor dem Zentralventil positioniert. Kurze Ölwege zwischen Zentralventil und Nockenwellenversteller sorgen für geringe Ölverluste und hohe Verstellgeschwindigkeiten.

Das Zentralventil ist als Proportionalventil mit fünf Anschlüssen ausgeführt.

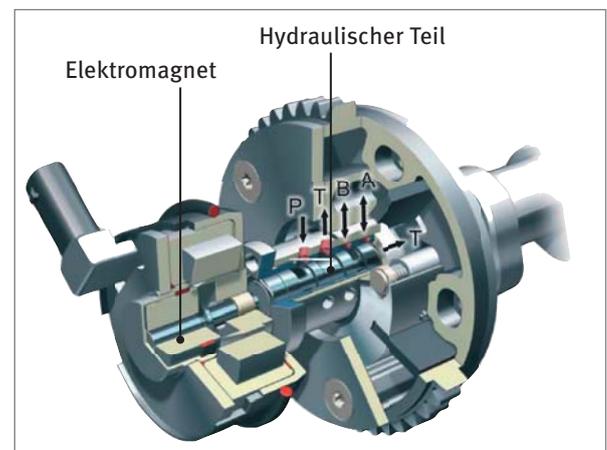


Abb. 60: Zentralventil

Anschlüsse der Steuerventile:

- Ölpumpe „P“
- 2x Rücklauf „T“
- Arbeitskammer „A“ des Nockenwellenverstellers
- Arbeitskammer „B“ des Nockenwellenverstellers

Funktion des Steuerventils

Liegt Strom am Elektromagneten an, verschiebt dieser den inneren Steuerschieber gegen eine Federkraft im Hydraulikteil des Ventils und schaltet so den Öldruck zwischen den Arbeitskammern A und B.

Die jeweils nicht mit Öldruck beaufschlagte Arbeitskammer ist mit dem Rücklauf verbunden. Zum Fixieren einer Steuerzeitenlage wird das Ventil in der sogenannten Mittellage gehalten; hier sind die Verbindungen aller Anschlüsse voneinander nahezu getrennt.

- 1 Elektromagnet
- 2 Steuerschieber
- 3 Zufuhr Ölkammer
- 4 Rücklauf
- 5 Motorsteuergerät
- 6 Verbindung zum Sensor der Kurbelwelle
- 7 Verbindung zum Sensor der Nockenwelle
- 8 Ölpumpe

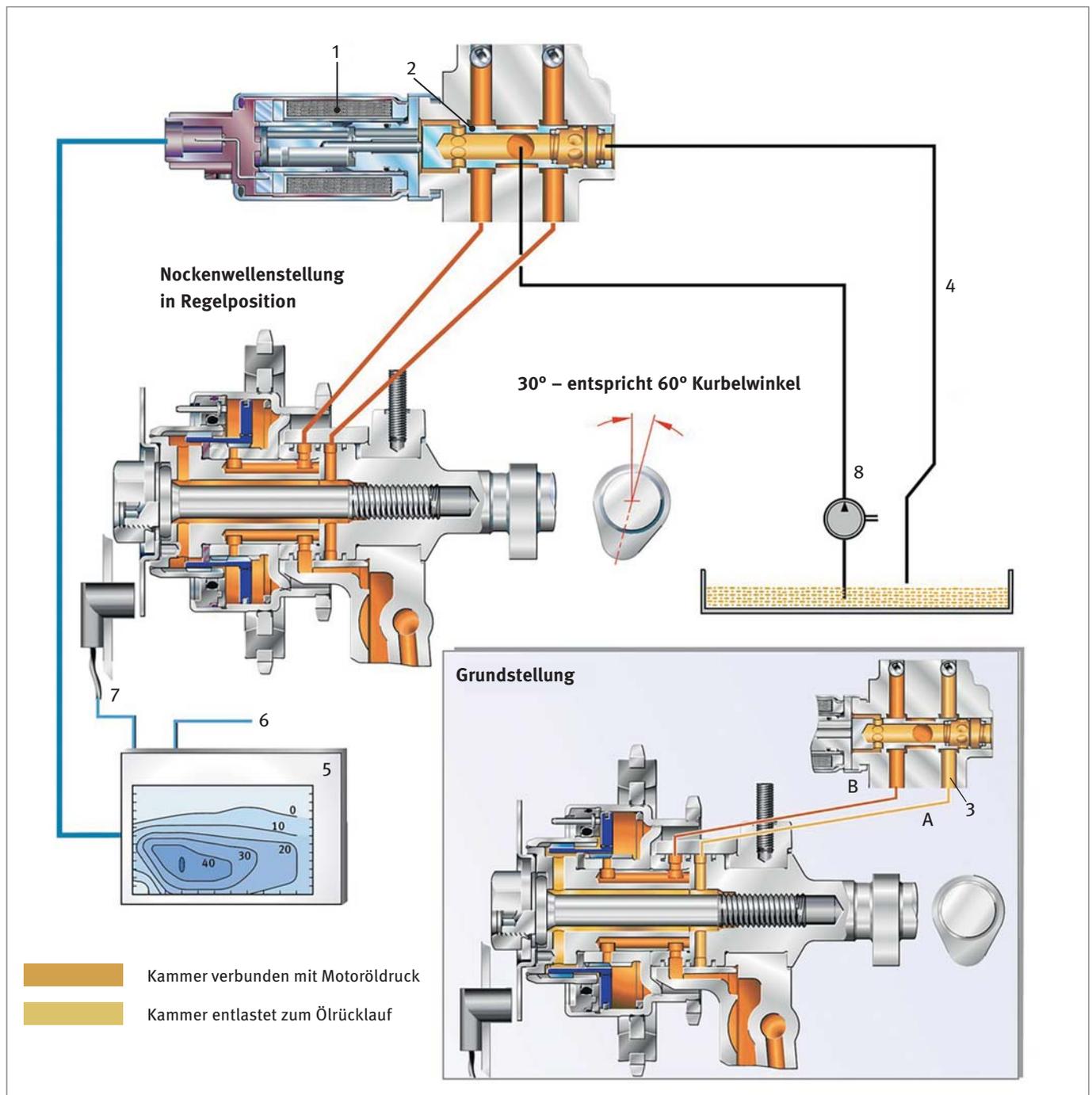


Abb. 61: Systemdarstellung Steuerventil

Empfehlungen zum Tausch von Nockenwellenverstellern

Timing-Pin

Einige Nockenwellenversteller besitzen einen Timing-Pin. Bei der fachgerechten Montage muss hier unbedingt darauf geachtet werden, dass der Pin mit der entsprechenden Bohrung in der Nockenwelle fluchtet. Andernfalls ist die Funktion nicht gegeben und der Riemen bzw. die Kette wird nicht richtig geführt.

Wellendichtring

Beim Austausch des Nockenwellenverstellers im Riementrieb empfiehlt es sich unbedingt, auch den Wellendichtring, der die Verbindungsstelle zwischen Nockenwelle und Zylinderkopf abdichtet, auszutauschen.



Abb. 62: Timing-Pin

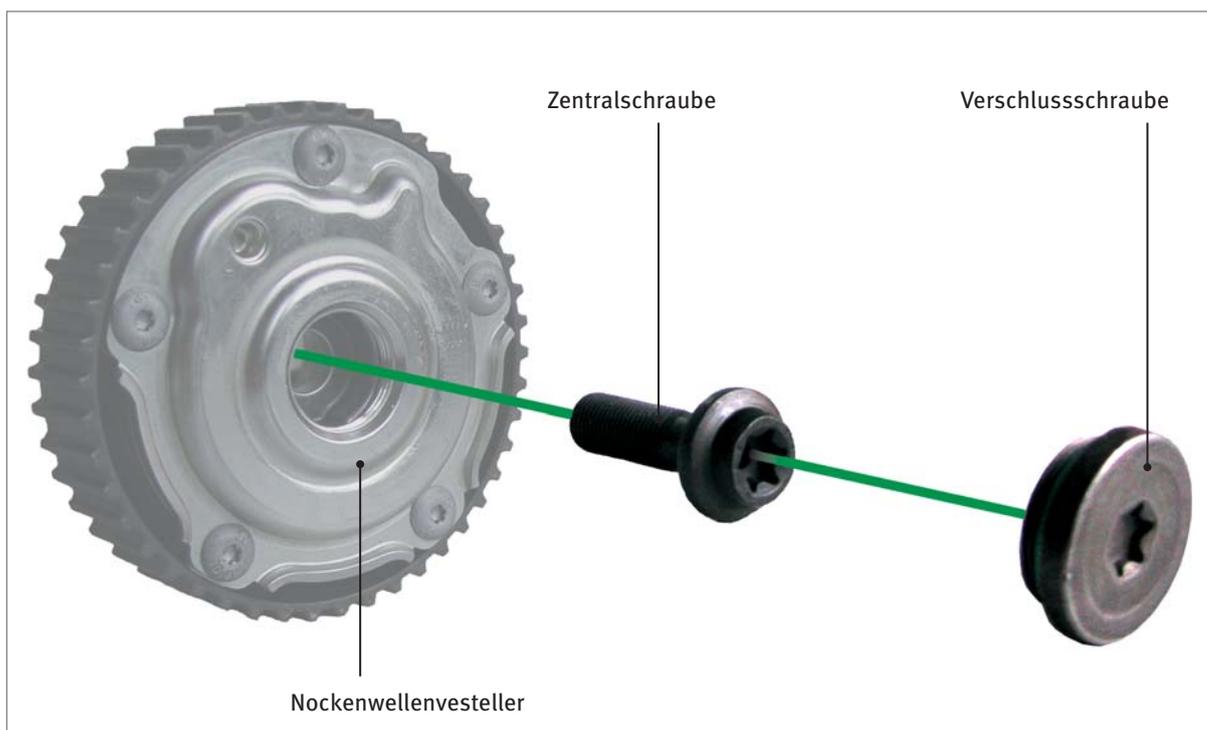


Abb. 63: Nockenwellenversteller, Zentralschraube, Verschlusschraube

Zentralschraube

Wird die Zentralschraube des Nockenwellenverstellers gelöst, sollte diese immer erneuert werden. Durch das vom Fahrzeughersteller vorgegebene und zwingend einzuhaltende Anzugsdrehmoment wird die Schraube plastisch verformt. Eine Wiederverwendung ist daher nicht zu empfehlen.

Verschlusschraube

Es empfiehlt sich auch die Verschlusschraube immer zu erneuern, da beim Lösen der Dichtring beschädigt werden kann.

5.6 UniAir

Mit dem UniAir-System kann nicht nur der Hub, sowie Öffnungs- und Schließzeitpunkt der Ventile verändert werden, sondern auch die Öffnungsdauer und die Anzahl der Öffnungen. Das UniAir-System ermöglicht also für jeden einzelnen Zylinder unabhängig, dass die Einlassventile während eines Ansaugtaktes, je nach Lastzustand und Fahreranforderung, mehrfach geöffnet und wieder geschlossen werden. So wird eine exaktere Abstimmung zwischen Energieanforderung, eingesetzter Energie und daher eine erhöhte Energieeffizienz möglich; das macht UniAir zur ersten vollvariablen und stufenlosen Ventilsteuerung.

Bei konventionellen, drosselklappengesteuerten Benzinmotoren wird bei der Bemessung der richtigen Luftmenge bis zu 10 % der aufgewendeten Kraftstoffmenge in Form von Energie vernichtet, um die Luft gegen den Widerstand der Drosselklappe in den Zylinder zu saugen. Wird jedoch ein vollvariabler Ventiltrieb genutzt, kann die Drosselklappe komplett offen stehen

oder sogar ganz entfallen, und die Luftmenge kann während des Ansaugtaktes ungehindert in den Brennraum eingesaugt werden. Die für jeden Betriebszustand richtige Luftmenge wird dank UniAir direkt in den Einlasskanälen der jeweiligen Zylinder durch die zeitliche oder geometrische Kontrolle der Ventilöffnung geregelt. Dies ist ein entscheidender Faktor bei der Umsetzung der CO₂-Emissionsreduzierung.

Weitere Vorteile der UniAir-Ventilsteuerung sind ein geringerer Kraftstoffverbrauch, eine Steigerung der Leistung und des Drehmoments sowie ein schnelleres Ansprechverhalten des Motors.

Hinweis:

Weiterführende Informationen zu UniAir werden in der INA Broschüre „UniAir-System“ beschrieben.

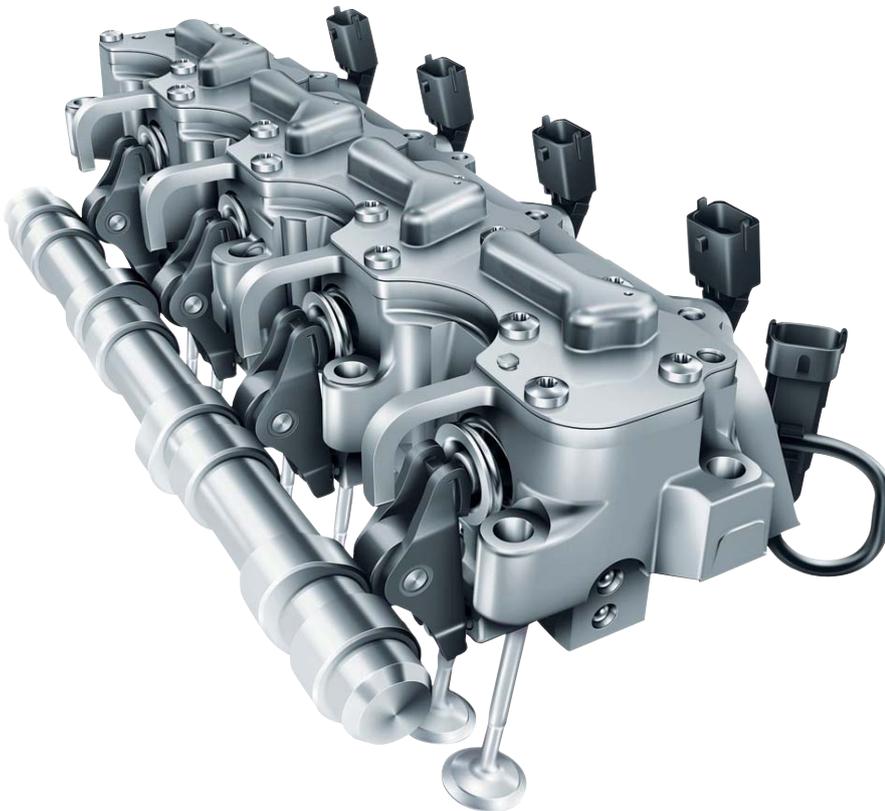


Abb. 64: UniAir

6 Allgemeine Werkstattinweise

Austausch immer satzweise

Bei Defekten an einem oder mehreren hydraulischen Ventilspielausgleichselementen sollte immer ein Austausch des kompletten Satzes erfolgen. Werden nur einzelne Elemente erneuert, so ist ein einheitlicher Ventilhub aufgrund unterschiedlicher Leckölauspressung nicht gewährleistet. Dies kann Ventilschließfehler verursachen, die dann häufig zum Durchbrennen des Ventilsitzes führen. Dadurch werden Mehrfachreparaturen und somit höhere Kosten für den Kunden vermieden.

Neue Tassenstößel – neue Nockenwelle

Eine Erneuerung von Tassenstößeln sollte immer den Tausch der Nockenwelle nach sich ziehen und umgekehrt. Aufgrund des Tragbildes an Tassenstößelboden und Nockenlaufbahn würde eine Kombination von neuen mit bereits gelaufenen Bauteilen keine lange Lebensdauer gewährleisten.

Neue Kipphebel mit Einsteckelement

Kipphebel mit Einsteckelement dürfen nicht zerlegt werden (Passmaß)!

Durch Ablagerungen können die Ölzulaufbohrungen oder die Ölzulaufkanäle des hydraulischen Einsteckelements verstopfen. Dadurch ist die Ölversorgung nicht mehr gewährleistet und der Kipphebel muss zusammen mit dem Einsteckelement ausgetaucht werden.

Wichtig:

Der Unterschied zwischen den verschiedenen hydraulischen Einsteckelementen besteht hauptsächlich in der Absinkzeit. Wird ein falsches Einsteckelement mit einem Kipphebel eingebaut, kann ein kapitaler Motorschaden entstehen!

Füllen von Hydraulikelementen

Hydraulische Ausgleichselemente von INA sind ab Werk immer mit der vorgeschriebenen Ölmenge befüllt. Damit sie nicht auslaufen, sollten sie daher immer in Transportlage (siehe Pfeil auf der Verpackung) transportiert und gelagert werden. Nach dem Einbau der hydraulischen Ausgleichselemente muss die Absinkzeit abgewartet werden. Diese liegt bei Raumtemperatur zwischen zwei und zehn Minuten. Erst danach kann die Nockenwelle gedreht bzw. der Motor gestartet werden.

Motoröl

Grundsätzlich muss immer das vom Fahrzeughersteller freigegebene Motoröl verwendet werden.

Eine wichtige Voraussetzung für einen exakt funktionierenden Ventiltrieb ist außerdem, dass die vom Fahrzeughersteller vorgeschriebenen Wechselintervalle für das Motoröl eingehalten werden. Während dieser Fahrzyklen nimmt die Leistungsfähigkeit/Ölqualität des Motoröls ab.

Grundsätzlich ist es bei Arbeiten am Ventiltrieb äußerst wichtig auf Sauberkeit zu achten! Schmutzpartikel können die Funktion der einzelnen Bauteile beeinträchtigen oder diese zerstören.

Empfehlungen zur Entlüftung von hydraulischen Ventilspielausgleichselementen im Motor

Nach der Montage von hydraulischen Ausgleichselementen kann es unter Umständen zu Ventiltriebsgeräuschen kommen. Ein schnelles Entlüften der Hydraulikelemente ist bei Einhalten der folgenden Empfehlungen gewährleistet:

- Den Motor für ca. vier Minuten bei einer Drehzahl zwischen 2.000 U/min und 3.000 U/min laufen lassen.
- Anschließend den Motor für ca. 30 Sekunden im Leerlauf laufen lassen.
- Sind danach keine Ventiltriebsgeräusche hörbar, ist das Hydraulikelement entlüftet. Sollten immer noch Ventiltriebsgeräusche wahrnehmbar sein, sind die ersten beiden Schritte zu wiederholen.

Es ist davon auszugehen, dass in 90 % aller auftretenden Fälle mit dem ersten Laufzyklus Abhilfe geschaffen wird. In wenigen Einzelfällen kann es erforderlich sein, den o. g. Laufzyklus bis zu fünf- oder sechsmal zu wiederholen. Sind die Ventiltriebsgeräusche nach dem fünften Mal noch deutlich hörbar, empfiehlt es sich, die betroffenen Elemente auszutauschen und weitere Untersuchungen durchzuführen.

7 Schadensdiagnose/Schadensbeurteilung

7.1 Allgemeine Schadensbeurteilung

Bei metallischen Reibpartnern treten unter Mischreibungsbedingungen abrasive und adhäsive Verschleißvorgänge auf. Beide Verschleißmechanismen sowie der Ermüdungverschleiß, welcher zur Pittingbildung an der Oberfläche führt, bewirken oft einen Totalausfall der Gleitkontaktpartner. Verschleiß kann auch durch die unterschiedlichsten Formen von Korrosion hervorgerufen werden.

- Abrasion bedeutet im Allgemeinen Abtragen oder Abschaben.
- Adhäsion kann wirksam werden, wenn sich Grund- und Gegenkörper unmittelbar berühren.
- Pitting bedeutet im Allgemeinen Materialausbruch.

Viele Parameter beeinflussen den Verschleiß:

- Werkstoffe (Werkstoffpaarung, Wärmebehandlung, Beschichtung)
- Kontaktgeometrie (Makro-/Mikrogeometrie, Formgenauigkeit, Rauheit, Traganteil)
- Belastung (Kräfte, Momente, Hertzsche Pressung)
- Kinematische Auslegung (Relativgeschwindigkeit, hydrodynamische Geschwindigkeit, Flächenpressung)
- Schmierung (Viskosität, Menge, Additivierung, Verschmutzung, Alterung)

Geräusche während der Warmlaufphase

Geräusche während der Warmlaufphase des Motors sind in den meisten Fällen kein Grund zur Beanstandung. Bei abgestelltem Motor können sich einige Ventile in geöffneter Position befinden und das hydraulische Spielausgleichselement durch die Ventildfeder beaufschlagen. Dadurch wird Öl aus dem Hochdruckraum ausgepresst, das während der Warmlaufphase allmählich ergänzt wird.

Das in diesem Zustand im Hydraulikelement vorhandene Luftpolster ist komprimierbar und verursacht diese vorübergehenden Klappergeräusche.

Geräuschentwicklung bei warmem Motor

Gräuschentwicklung bei warmem Motor ist häufig auf mangelnde Ölversorgung zurückzuführen. Gründe hierfür können sein:

- Klemmen des Hydraulikkolbens aufgrund verschmutzten Öls
- Verschäumen des Öls aufgrund eines zu hohen oder zu niedrigen Motorölstands
- Undichtigkeiten auf der Ansaugseite der Ölpumpe
- Zu geringer Öldruck infolge von Undichtigkeiten in den Ölleitungen oder Lagerverschleiß

Geräuschentwicklung durch „Aufpumpen“

Fehlerquellen hierfür können sein:

- Defekte, ermüdete oder falsche Ventildfedern (Falschzuordnung von Teilen)
- Defekte Ventileführungen oder Ventilschäfte
- Überdrehen des Motors
- Falsche Ölqualität

Ursache:

Die miteinander laufenden Kontaktflächen des Ventiltriebs heben ab, was zu einem überproportionalen Kolbenhub führt. Folglich kann beim Beaufschlagen des Hydraulikelements nicht genügend Öl innerhalb der kurzen Zeitspanne verdrängt werden.

Folge:

Das Ventil schließt nicht vollständig, was zu Leistungsverlust und auch zum Durchbrennen des Ventils führen kann. Ein auf den Kolbenboden aufsetzendes Ventil verursacht als weitere Folge einen schwerwiegenden Motorschaden.

Aufgrund der extrem engen Toleranzen reagieren die Ausgleichselemente sehr empfindlich auf Verunreinigungen im Motoröl. Abgesehen vom erhöhten Verschleiß der sich bewegenden Teile machen sich Schmutzpartikel im hydraulischen Ventilspielausgleichssystem durch Klappergeräusche bemerkbar.

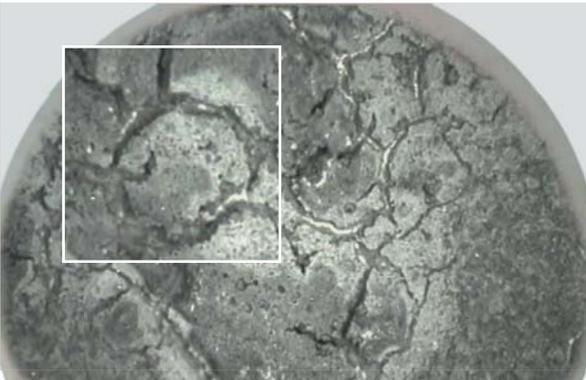
7.2 Restschmutz

ALUMINIUMRÜCKSTÄNDE NACH DER ZYLINDERKOPFBEARBEITUNG (Z. B. PLANSCHLEIFEN)



Bei der Überprüfung von reklamierten Teilen werden häufig Restschmutzpartikel in großer Menge gefunden. Diese Restschmutzpartikel, z. B. Aluminium, stammen von einer Zylinderkopfbearbeitung.

VERBRENNUNGSRÜCKSTÄNDE EINES DIESELMOTORS



Aber auch Flusen von Reinigungstüchern oder Reinigungsplatten und Verbrennungsrückstände von Dieselmotoren werden oft im Motoröl gefunden.

7.3 Schadensbeurteilung von Ventiltriebkomponenten

Wichtig

Die Prüfung vermeintlich defekter Hydraulikkomponenten ist gemäß den jeweiligen Herstellerangaben durchzuführen. Die hier angeführten Methoden sind grundsätzlich auf alle Typen anwendbar.

Optische Prüfung

Hydraulikkomponenten, die äußerliche Beschädigungen wie Riefen, Kratzer oder Fressspuren aufweisen, sind unbedingt auszutauschen. Die Passfläche im Ventiltrieb ist ebenfalls zu kontrollieren.

Bei hydraulischen Tassenstößeln ist insbesondere der Stößelboden zu untersuchen. Diese Kontaktfläche stellt die am höchsten druckbelastete Stelle des Motors dar.

Manuelle Prüfung

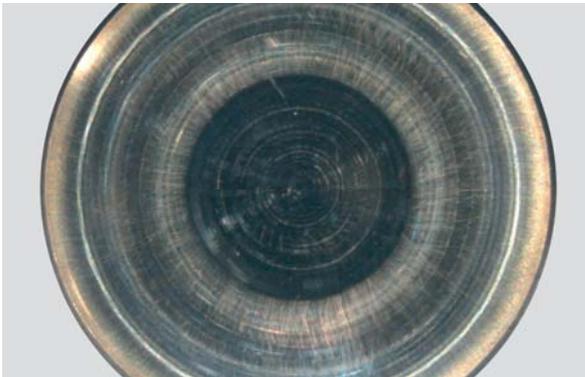
Eine im Werkstattbereich einfache, aber aussagefähige manuelle Überprüfung eines hydraulischen Ventilspielausgleichselements ist die Komprimierbarkeit von Hand.

Ein gefülltes Element darf sich nicht schnell von Hand zusammendrücken lassen. Der Prüfvorgang muss jedoch mit Vorsicht vorgenommen werden, da andernfalls das Öl über den Leckölspace ausgepresst wird.

Lässt sich das gefüllte Element ohne großen Kraftaufwand schnell zusammendrücken, so ist es unbedingt auszutauschen. Eine genauere Funktionsprüfung der Hydraulikelemente ist nur unter Verwendung aufwändiger Test- und Prüfeinrichtungen möglich. Diese Prüfung umfasst u. a. die Ermittlung des Absinkwertes, die nur direkt beim Hersteller vorgenommen werden kann.

Schadensbeurteilung Tassenstößel

VERSCHLEISSERSCHEINUNGEN AM TASSENODEN

**Normaler Verschleiß**

- Normales Laufbild eines Tassenstößels.
- Die kreisförmig umlaufenden Spuren sind durch die Rotation des Stößels bedingt und nicht zu beanstanden.

Maßnahme

- Keine Maßnahme erforderlich.

**Erhöhter Verschleiß**

- Starke Verschleißspuren am Tassenboden.
- Liegt solch ein Laufbild vor, kann von einem hohen Materialabtrag durch Verschleiß am Tassenboden ausgegangen werden.

Maßnahme

- Der Tassenstößel und die Nockenwelle müssen ausgetauscht werden.

**Starker Verschleiß**

- Adhäsiv-abrasiver Verschleiß bis zum Totalausfall.

Maßnahme

- Der Tassenstößel muss ausgetauscht werden. Ebenso ist eine intensive Überprüfung der Nockenwellenposition (Fluchtungsfehler der Nockenwelle durch Lagerverschleiß) erforderlich.

VERSCHLEISSERSCHEINUNGEN AN SCHLEPPHEBEL UND ABSTÜTZELEMENT



Tassenstößel



Führungsbohrung

Ursache

- Zu hoher Restschmutzanteil im Motoröl.

Folge

- Tassenstößel klemmt in der Aufnahmebohrung.

Maßnahme

- Motor reinigen (spülen).
- Beim Einbau des neuen Tassenstößels auf Sauberkeit achten.

Schadensbeurteilung Schleppebel



VERSCHLEISSERSCHEINUNGEN AN SCHLEPPHEBEL UND ABSTÜTZELEMENT



Normaler Verschleiß

- Polierte Glättungsspur im Bereich des Kontaktes mit der Schleppebelkalotte (untere Abb.).
- Über die Laufzeit normale Verschleißspuren.
- Polierte Glättungsspur im Bereich des Kontaktes mit dem Kugelkopf (obere Abb.).

Ursache

- Ölmenge – z. B. durch verstopfte Ölkanäle.

Maßnahme

- Keine Maßnahme erforderlich – das Tragbild ist in Ordnung.



Erhöhter Verschleiß

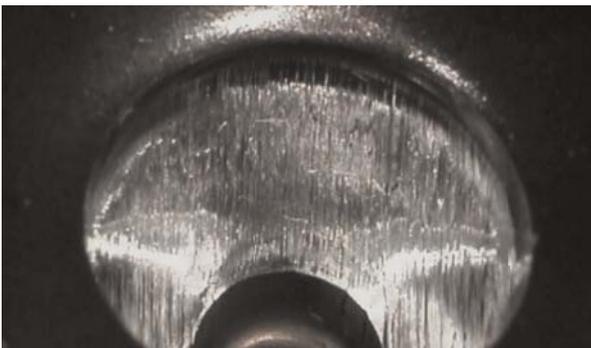
- Starker abrasiver Verschleiß am Kugelkopf in einer kritischen Größenordnung; der Verschleiß führte zu einer Verformung des Kugelkopfes.



- Starker abrasiver Verschleiß der Kalotte in einer kritischen Größenordnung; der Verschleiß führte zu einer Verformung der Kalotte.

Maßnahme

- Das hydraulische Abstützelement und der entsprechende Schleppebel müssen ausgetauscht werden.



Schadensbeurteilung Schleppebel



VERSCHLEISSERSCHINUNGEN AN DER VENTILAUFLAGE DES SCHLEPPHEBELS



Schadensbeurteilung Nockenrolle

VERSCHLEISSERSCHINUNGEN AM AUSSENRING DER NOCKENROLLE



Hinweis:

Blickrichtung der vier folgenden Abbildungen

Normaler Verschleiß

- Leichte Glättungsspuren auf der Ventilaufgabe durch die Relativbewegung zwischen Schleppebel und Ventil.
- Über die Laufzeit normale Verschleißspuren.

Maßnahme

- Keine erforderlich – das Tragbild ist in Ordnung.

Starker Verschleiß

- Starker abrasiver Verschleiß der Ventilaufgabe.
- Deutlich ausgeprägte Kanten am Rand des Kontaktbereichs deuten auf eine Verschleißtiefe im Bereich von einigen Zehnteln hin.
- Bei weiterer Laufzeit besteht Hebelbruchgefahr.

Maßnahme

- Austausch von hydraulischem Abstützelement und entsprechendem Schleppebel sowie Überprüfung des Ventilschafts.

Normaler Verschleiß

- Der Außendurchmesser der Nockenrolle weist keinen sichtbaren Verschleiß auf. Die umlaufenden Spuren sind normal und stammen von kleinen Fremdpartikeln zwischen Nockenrolle und Nocke.
- Über die Laufzeit normale Verschleißspuren.

Maßnahme

- Keine erforderlich – das Tragbild ist in Ordnung.

Starker Verschleiß

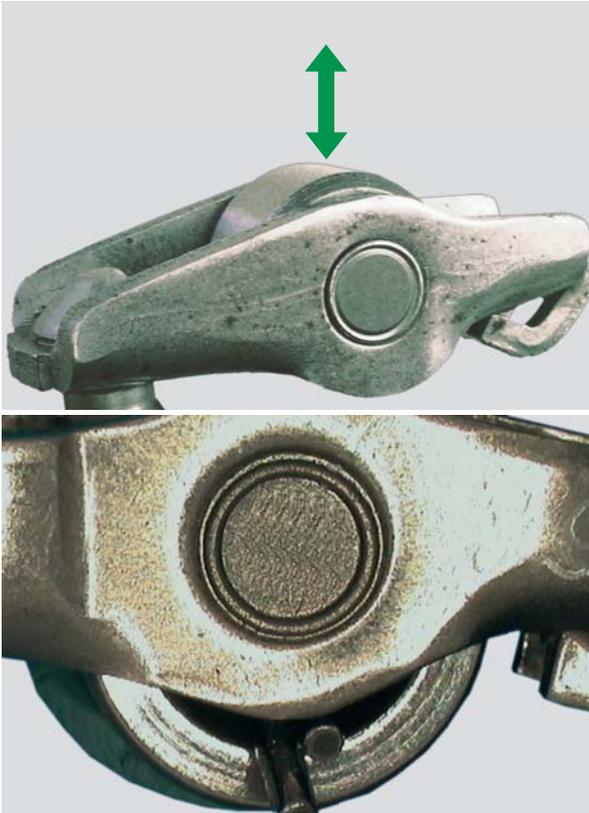
- Der Außendurchmesser der Nockenrolle zeigt eine deutlich veränderte Geometrie.

Maßnahme

- Austausch von hydraulischem Abstützelement und entsprechendem Schleppebel.
- Überprüfung der entsprechenden Nockenwellenposition auf Fluchtungsfehler durch Lagerverschleiß.

Schadensbeurteilung Rollenschlepphebel

VERSCHLEISSERSCHEINUNGEN AM ROLLENBOLZEN DES SCHLEPPHEBELS



Überprüfung des Radialspiels der Nockenrolle

Das Radialspiel lässt sich relativ einfach durch Bewegung der Nockenrolle in radialer Richtung nach oben und unten ermitteln.

Bei einem Radialspiel im Bereich von mehreren Zehnteln ist die Lastzone des Rollenbolzens verschlissen und der Schlepphebel muss ausgetauscht werden.

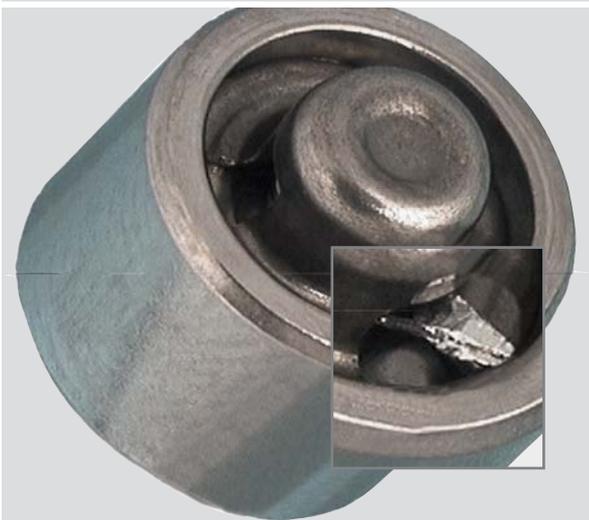
Starker Verschleiß

- Die Nadeln der Nockenrolle sind nicht mehr fixiert und können bis zum Totalausfall des Rollenschlepphebels führen.

Maßnahme

- Das hydraulische Abstützelement und der entsprechende Rollenschlepphebel müssen ausgetauscht werden.

RÜCKSCHLAGVENTIL DES ABSTÜTZELEMENTS



Ursache

- Fremdpartikel, die als Verunreinigungen über das Motorenöl in das Ventilspielausgleichselement gespült wurden.

Folge

- Das Rückschlagventil arbeitet nicht mehr korrekt.

Achtung:

Die Gewährleistungsverpflichtung des Herstellers erlischt, wenn Teile innerhalb dieses Zeitraums von der Werkstatt zerlegt werden! Aufgrund der geforderten Präzision des hydraulischen Abstützelements dürfen zerlegte Teile nicht mehr montiert werden, da dann die Funktion nicht mehr gewährleistet werden kann!

Schadensbeurteilung Nockenwellenverstellung

KLAPPERGERÄUSCHE IM BEREICH DES VERSTELLERS



Geräusche innerhalb der ersten 1-3 Sekunden nach dem Motorstart

Ursache

- Das Verriegelungsspiel ist zu groß.

Maßnahme

- Der Versteller muss ausgetauscht werden.

Geräusche in unterschiedlichen Drehzahlbereichen

Ursache

- Zu großes Lagerspiel durch Verschleiß.

Maßnahme

- Der Versteller muss ausgetauscht werden.

Steuerventil für Nockenwellenverstellung

STEUERVENTIL FUNKTIONIERT NICHT



Ursache

- Durch Schmutzpartikel im Motorenöl kann der Kolben im Steuerventil nicht richtig arbeiten, der Kolben verklemmt.
- Schlechte oder korrodierte Steckverbindung zum Steuerventil.

Maßnahme

- Das Steuerventil muss ausgetauscht werden.
- Die Steckverbindung muss geprüft bzw. instand gesetzt werden.

Hinweis:

Erreicht der Kolben des Steuerventils nicht die erforderlichen Endpositionen, wird vom Motorsteuergerät eine entsprechende Fehlermeldung („Sollwinkel wird nicht erreicht“) ausgegeben.

