

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Funktionskurzbeschreibung</b>                | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Anforderungen und Ziele</b>                  | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>Systemaufbau</b>                             | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>Bauteilbeschreibung</b>                      | <b>8</b>  |
| 4.1      | Kraftstoffbehälter                              | 8         |
| 4.2      | Vorförder-pumpe                                 | 8         |
| 4.3      | Zusatzförderpumpe                               | 9         |
| 4.4      | Kraftstofffilter                                | 11        |
| 4.5      | Zulaufdrucksensor                               | 12        |
| 4.6      | Druckbegrenzungsventil (ND-System)              | 13        |
| 4.7      | Hochdruckpumpe                                  | 14        |
| 4.8      | Druckregelventil                                | 18        |
| 4.9      | Kraftstoff-Hochdruckspeicher (Rail)             | 20        |
| 4.10     | Raildruck-sensor                                | 23        |
| 4.11     | Injektor  | 26        |
| 4.12     | Kraftstoffheizung/-kühlung (Luft-Wärmetauscher) | 32        |
| 4.13     | Verteilerstück mit Drossel                      | 34        |
| <b>5</b> | <b>Überblick zu Einspritzsystemen</b>           | <b>35</b> |
| 5.1      | Einspritzsysteme                                | 35        |
| 5.2      | Konventionelles Einspritzverhalten              | 36        |
| 5.3      | Common Rail Einspritzverhalten                  | 37        |
| 5.4      | Verteilereinspritzung (Radialkolbenprinzip)     | 40        |
| 5.5      | Pumpedüse                                       | 40        |
| 5.6      | Common Rail                                     | 41        |
| 5.7      | Zusammenfassung des Common Rail Systems         | 42        |



# 1. Funktionskurzbeschreibung

Mit dem M57 setzt in BMW Dieselmotoren erstmals ein Hochdruckspeichereinspritzsystem (Common Rail) ein. Bei diesem neuen Einspritzverfahren wird von einer Hochdruckpumpe in einer für alle Einspritzventile gemeinsamen Versorgungsleitung - der Common Rail - ein hoher, für den jeweiligen Betriebspunkt optimaler Druck aufgebaut. An der Düse sind damit bis zu 1350 bar Abspritzdruck erreichbar.

Beim Common Rail System sind Druckerzeugung und Einspritzung entkoppelt. Der Einspritzdruck wird unabhängig von der Motordrehzahl und der Einspritzmenge erzeugt und steht im "Rail" (Hochdruck-Kraftstoffspeicher) für die Einspritzung bereit.

Einspritzzeitpunkt und -menge werden in der DDE berechnet und vom Injektor (Einspritzeinheit) an jedem Motorzylinder über ein angesteuertes Magnetventil umgesetzt.

## 2. Anforderungen und Ziele

An das Kraftstoffsystem werden folgende hohe Anforderungen gestellt und Ziele gesetzt. Die wichtigsten beziehen sich auf:

- den Einspritzdruck
- die Verstellung des Einspritzzeitpunktes
- und die Einspritzverlaufsformung

### hoher maximaler Einspritzdruck

- Reduzierung der Tröpfchengröße
- kurze Spritzdauer

### Einspritzzeitpunkt in weiten Grenzen einstellbar

- > 20 Grad Kurbelwinkel
- last- und drehzahlabhängig
- temperaturabhängig

### Einspritzverlauf formbar

- zu Beginn niedrige Einspritzrate
- steiler Abfall am Ende der Einspritzung
- Möglichkeit der Voreinspritzung

Der maximale Einspritzdruck ist unter dem Aspekt der Abgasemission und Leistung möglichst hoch zu halten. Durch hohe Einspritzdrücke wird die Tröpfchengröße des Kraftstoffes reduziert und die Dauer des Einspritzvorganges verkürzt.

Der Einspritzzeitpunkt muß in weiten Grenzen (> 20 Grad Kurbelwinkel), last-, drehzahl- und temperaturabhängig sein.

Der Einspritzverlauf beginnt im Idealfall mit niedriger Rate und endet abrupt ohne Verzögerung. Die Kraftstoff-Voreinspritzung mit einer geringen Menge (1 - 2% der Vollastmenge) dient zur Verringerung des Verbrennungsgeräusches.

# 3. Systemaufbau

Das Kraftstoffsystem gliedert sich in 2 Teilsysteme:

- Niederdrucksystem
- Hochdrucksystem

Das Niederdrucksystem besteht aus folgenden Bauteilen:

- Kraftstoffbehälter
- Vorförderpumpe
- Auslaufschutzventile
- Zusatzförderpumpe
- Kraftstofffilter mit Zulaufdrucksensor
- Druckbegrenzungsventil (ND-System)

sowie im Kraftstoffrücklauf aus

- Kraftstoffheizung (Bimetallventil)
- Kraftstoffkühler
- Verteilerstück mit Drossel

Das Hochdrucksystem besteht aus folgenden Bauteilen:

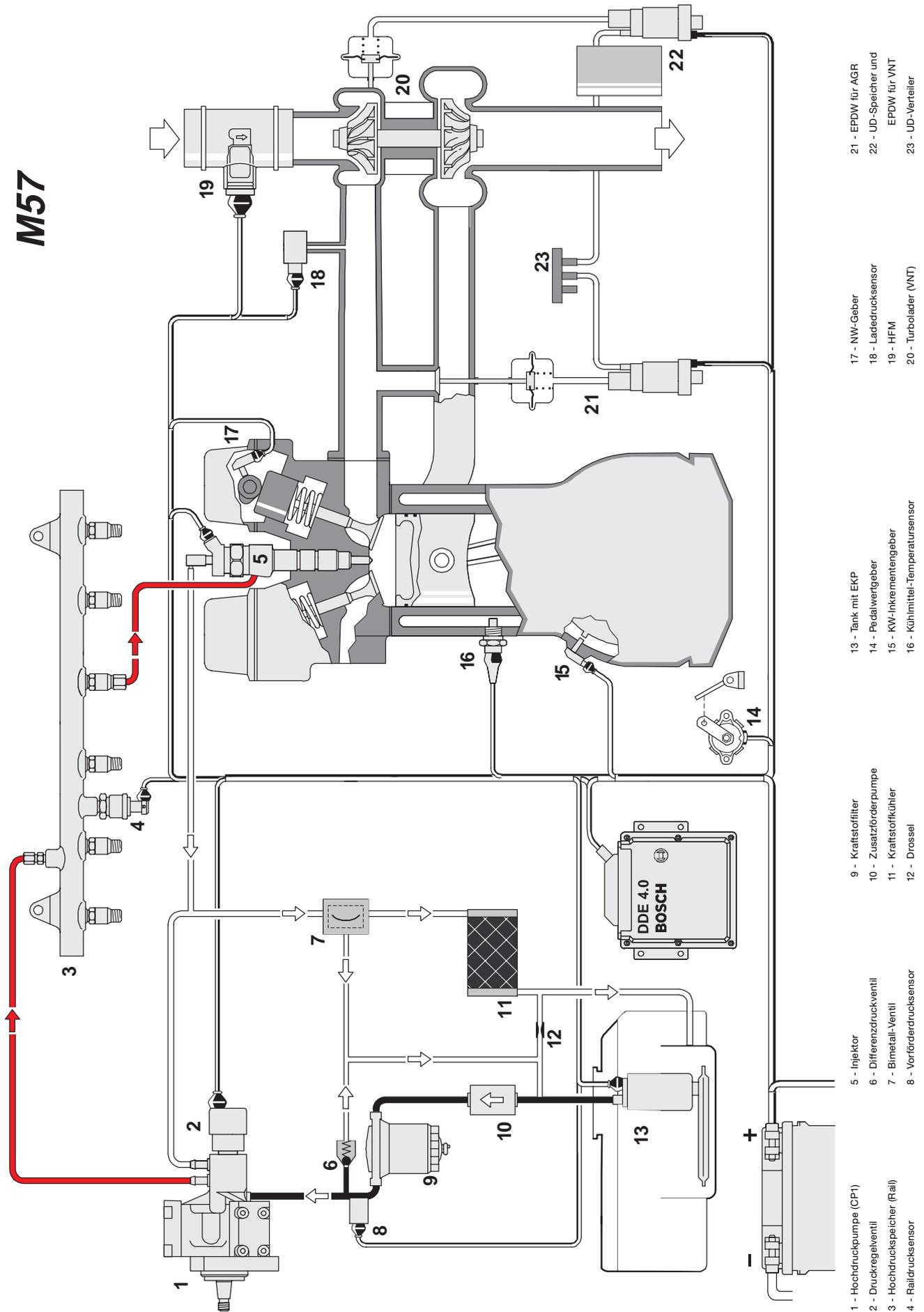
- Hochdruckpumpe (HDP)
- Kraftstoff-Hochdruckspeicher (Rail)
- Druckregelventil
- Raildrucksensor
- Injektor

Der Systemdruck liegt ca. bei

- im ND-System
  - zulaufseitig  $1,5 \text{ bar} < p < 5 \text{ bar (relativ)}$
  - rücklaufseitig  $p < 0,6 \text{ bar (relativ)}$
- im HD-System  $200 \text{ bar} < p < 1350 \text{ bar}$

Nachfolgend werden die Bauteile in Flußrichtung des Kraftstoffs beschrieben.

# M57



- 1 - Hochdruckpumpe (CF1)
- 2 - Druckregelventil
- 3 - Hochdruckspeicher (Rail)
- 4 - Raildrucksensor
- 5 - Injektor
- 6 - Differenzdruckventil
- 7 - Bimetall-Ventil
- 8 - Vorförderdrucksensor
- 9 - Kraftstofffilter
- 10 - Zusatzförderpumpe
- 11 - Kraftstoffkühler
- 12 - Drossel
- 13 - Tank mit EKP
- 14 - Pedalwertgeber
- 15 - KV-Inkrementengeber
- 16 - Kühlmittel-Temperatursensor
- 17 - NW-Geber
- 18 - Ladedrucksensor
- 19 - HFM
- 20 - Turbolader (VNT)
- 21 - EPDW für AGR
- 22 - UD-Speicher und EPDW für VNT
- 23 - UD-Verteiler

Abb. 1: Schematische Darstellung M57

**M67**

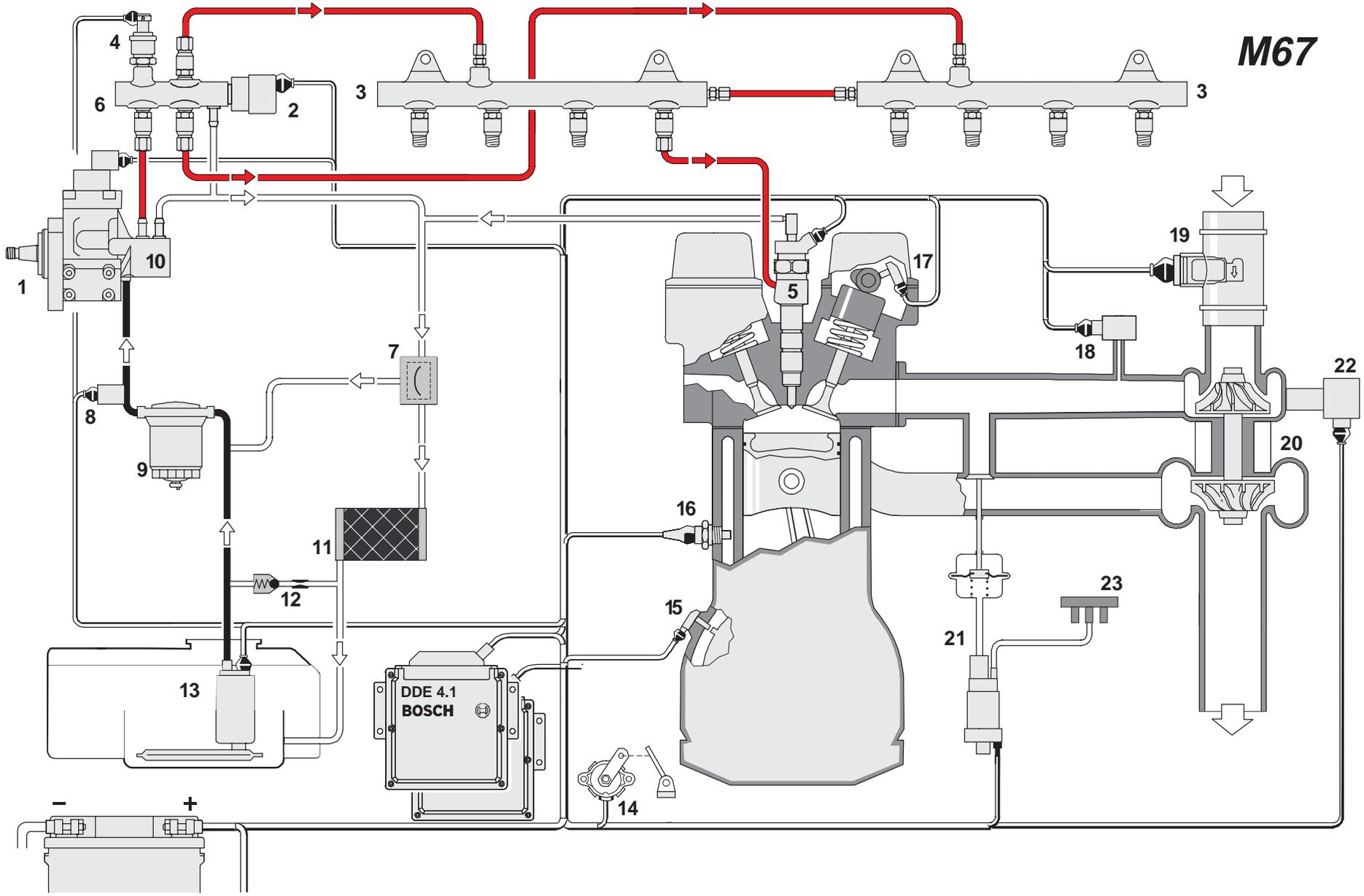


Abb. 2: Schematische Darstellung M67

- |                              |                          |                                    |                          |                                |                       |
|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1 - Hochdruckpumpe (CP3.3)   | 5 - Injektor             | 9 - Kraftstofffilter               | 13 - Tank mit EKP        | 16 - Kühlmittel-Tempersensoren | 20 - Turbolader (VNT) |
| 2 - Druckregelventil         | 6 - Verteilerblock       | 10 - Zusatzförderpumpe             | 14 - Pedalwertgeber      | 17 - NW-Geber                  | 21 - 2x EPDW für AGR  |
| 3 - Hochdruckspeicher (Rail) | 7 - Bimetall-Ventil      | 11 - Kraftstoffkühler              | 15 - KW-Inkrementengeber | 18 - Ladedrucksensor           | 22 - Ansteuerung VNT  |
| 4 - Raildrucksensor          | 8 - Vorförderdrucksensor | 12 - Drossel mit Entlüftungsventil |                          | 19 - HFM                       | 23 - UD-Verteiler     |

KIT 3888

# 4. Bauteilbeschreibung

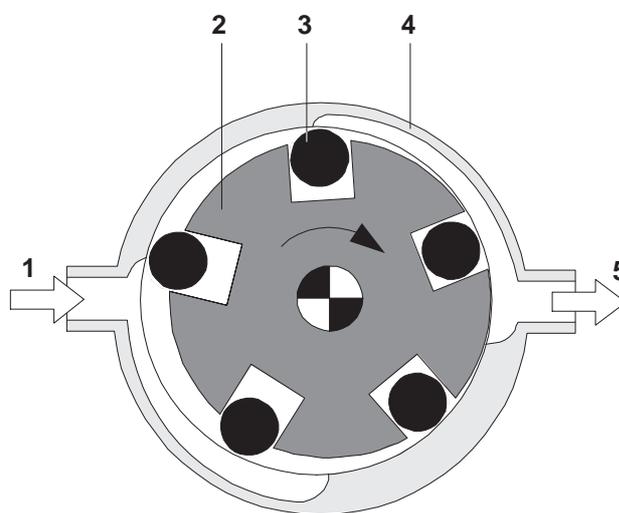
## 4.1 Kraftstoffbehälter

Der Kraftstoffbehälter im E39 (M57) und E38 (M57, M67) ist übernommen aus der jeweiligen M51TÜ-Variante.

Zwei Auslaufschutzventile im Tank verhindern im Crash-Fall (z.B. Fahrzeugüberschlag) ein Auslaufen des Kraftstoffes.

## 4.2 Vorförderpumpe

Die elektrische Kraftstoffpumpe (EKP) befindet sich innerhalb des Kraftstoffbehälters, in der rechten Behälterhälfte.



1 - Saugseite  
2 - Läuferscheibe  
3 - Rolle

4 - Grundplatte  
5 - Druckseite

KT-3732

Abb. 3: EKP (Rollenzellenpumpe) - E39/E38

Die EKP fördert Kraftstoff aus dem Schwalltopf in Richtung "Motor" und betreibt die Saugstrahlpumpen in der linken und rechten Tankhälfte. Beide Saugstrahlpumpen fördern ihrerseits Kraftstoff in den Schwalltopf der rechten Tankhälfte.

Die Pumpe wird vom Steuergerät über das EKP-Relais angesteuert.

## 4.3 Zusatzförderpumpe

Die Zusatzförderpumpe hat die Aufgabe, die Hochdruckpumpe (HDP) mit genügend Kraftstoff zu versorgen:

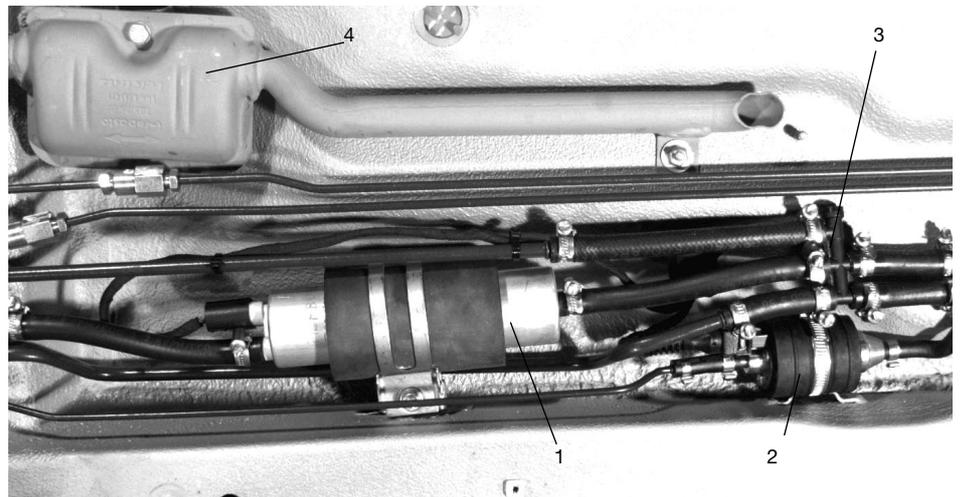
- in jedem Betriebszustand
- mit dem erforderlichen Druck
- über die gesamte Lebensdauer

Im M57 bzw. M67 werden unterschiedliche Zusatzförderpumpen eingesetzt.

### M57

Die Zusatzförderpumpe im M57 E39/E38 ist eine "Inline"-Elektrische Kraftstoffpumpe (EKP), da sie in der Zulaufleitung zur Hochdruckpumpe angeordnet ist.

Sie befindet sich unterhalb des Wagenbodens und ist als Schraubenspindelpumpe ausgeführt (hohe Förderleistung).



- 1 - Zusatzförderpumpe ("Inline"-Pumpe)
- 2 - Kraftstoffpumpe Zuheizung bzw. Standheizung
- 3 - Verteilerstück (mit Drossel)
- 4 - Abgasanlage Standheizung

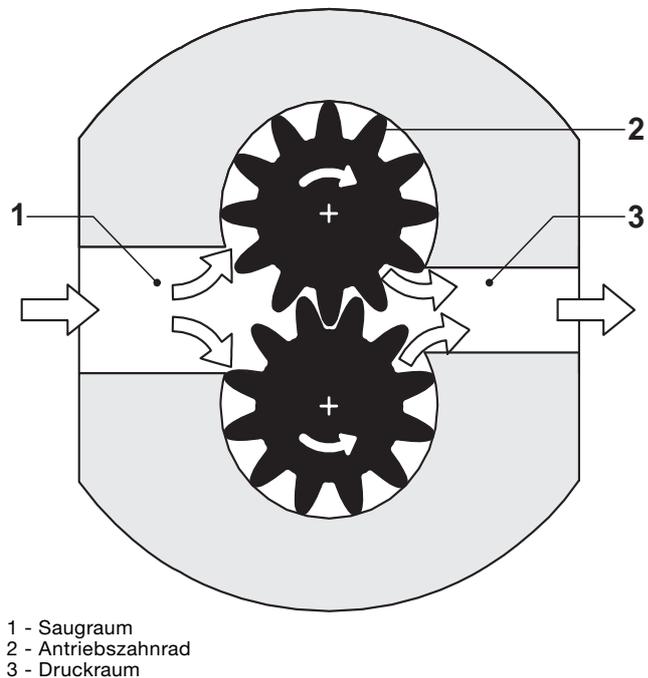
KT-3882

Abb. 4: Zusatzförderpumpe - M57 E38

Die Pumpe wird vom Steuergerät über das EKP-Relais parallel zur EKP angesteuert.

## M67

Die Zusatzförderpumpe des M67 im E38 ist eine Zahnradpumpe. Sie ist an der Hochdruckpumpe (CP3) angeflanscht. Die Zahnradpumpe ersetzt die beim M57 vorhandene "Inline"-EKP.



KT-3733

Abb. 5: Zusatzförderpumpe (Zahnradpumpe) - M67

### Auswirkung im Fehlerfall

- Warnanzeige über DDE-Lampe
- Leistungsrücknahme im Drehzahlbereich  $> 2000$  U/min (d.h. Befahren einer Steigung mit  $< 2000$  U/min möglich, bei  $> 2000$  U/min würde der Motor absterben)

## 4.4 Kraftstofffilter

Der Kraftstofffilter befindet sich im Motorraum auf dem linken Radhaus.

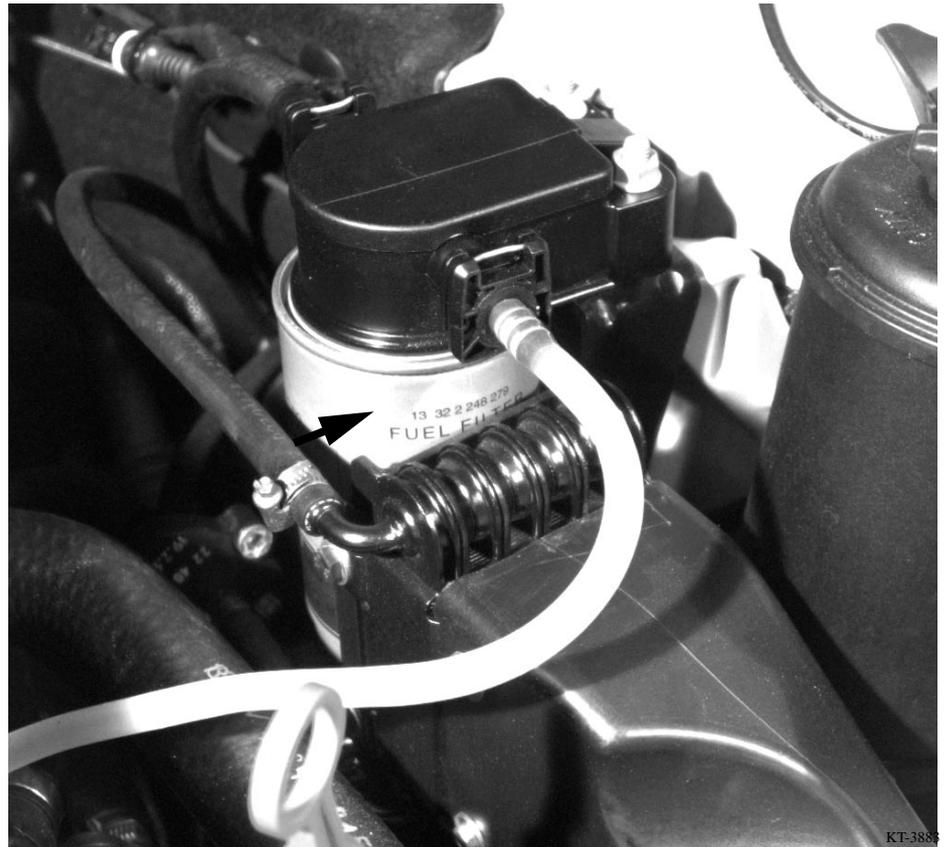


Abb. 6: Kraftstofffilter - Einbauort E38M57

Der Kraftstofffilter reinigt den Kraftstoff vor der Hochdruckpumpe und verhindert damit den vorzeitigen Verschleiß der empfindlichen Teile. Ungenügendes Filtern kann zu Schäden an Pumpenkomponenten, Druckventilen und Einspritzdüsen führen.

Er besitzt keine elektrische Kraftstoffheizung und keinen Wasserabscheider. Der Filter ist ein Gleichteil zum M51TÜ.

Der elektrische Anschluß führt zum Zulaufdrucksensor.

Damit bei niedrigen Temperaturen der Filter nicht durch Parafinflocken zugesetzt wird, befindet sich in der Rücklaufleitung ein Bimetallventil. Über dieses wird angewärmter Rücklaufkraftstoff dem kühlen Kraftstoff aus dem Tank zugemischt.

## 4.5 Zulaufdruck- sensor

Der Zulaufdrucksensor ist im Kraftstofffiltergehäuse hinter dem Filterelement angeordnet. Er ist ein BMW spezifisches Bauteil.

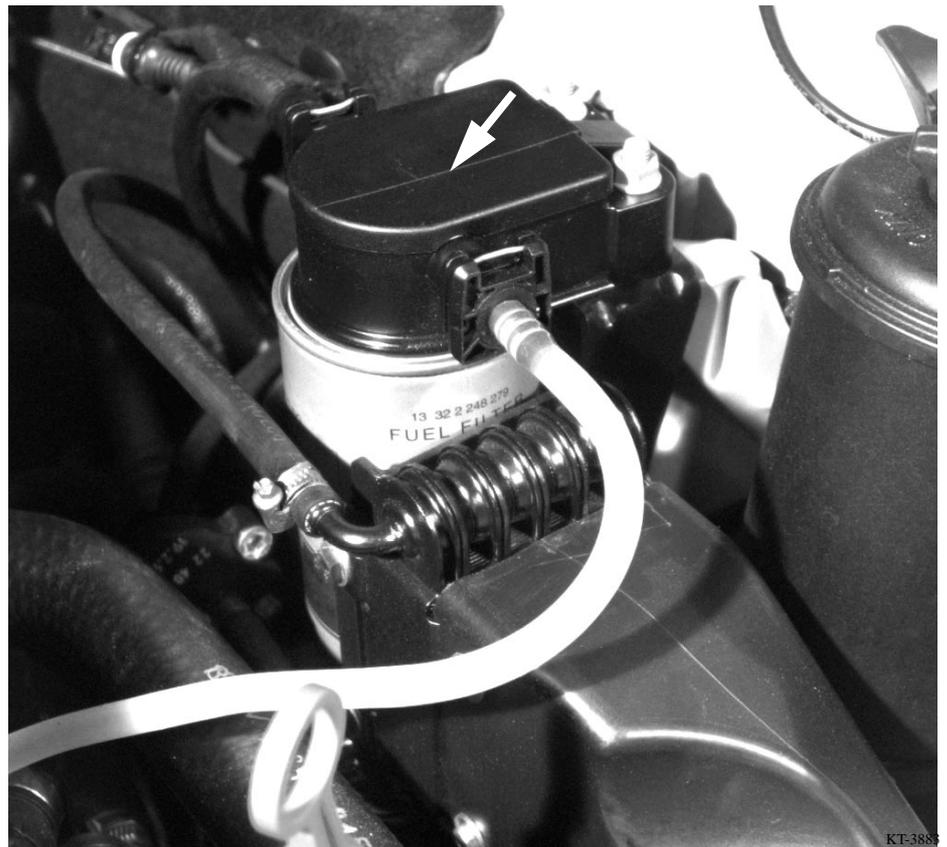


Abb. 7: Kraftstofffilter mit Zulaufdrucksensor - Einbauort E38M57

Er hat die Aufgabe, den Zulaufdruck zur Hochdruckpumpe (HDP) in der Kraftstoffleitung zu erfassen.

Somit hat die DDE die Möglichkeit, bei zu geringem Zulaufdruck die Einspritzmenge so weit zurückzunehmen, daß eine Drehzahl- und Raildruckabsenkung erfolgt. Es wird die notwendige Zulaufmenge zur Hochdruckpumpe reduziert. Man erreicht hierdurch, daß der Zulaufdruck vor der HDP wieder auf das geforderte Niveau ansteigen kann.

Bei einem Zulaufdruck  $< 1,5$  bar ist eine HDP-Schädigung aufgrund Minderbefüllung möglich.

Bei einer Druckdifferenz zwischen der Vor- und Rücklaufleitung an der HDP  $\leq 0,5$  bar stirbt der Motor schlagartig ab (Pumpenschutz).

## **4.6 Druck- begrenzungs- ventil (ND-System)**

Das Druckbegrenzungsventil sitzt zwischen Kraftstofffilter und Hochdruckpumpe. Es befindet sich in der Verbindungsleitung zwischen der Zulaufleitung vor der HDP und der Rücklaufleitung nach der HDP.

### **Aufgabe**

Die Aufgabe des Druckbegrenzungsventils entspricht dem eines Überdruckventils. Es begrenzt den Zulaufdruck zur Hochdruckpumpe auf 2,0 bis 3,0 bar. Ein Überdruck wird abgebaut, indem Kraftstoff in die Rücklaufleitung abgeleitet wird.

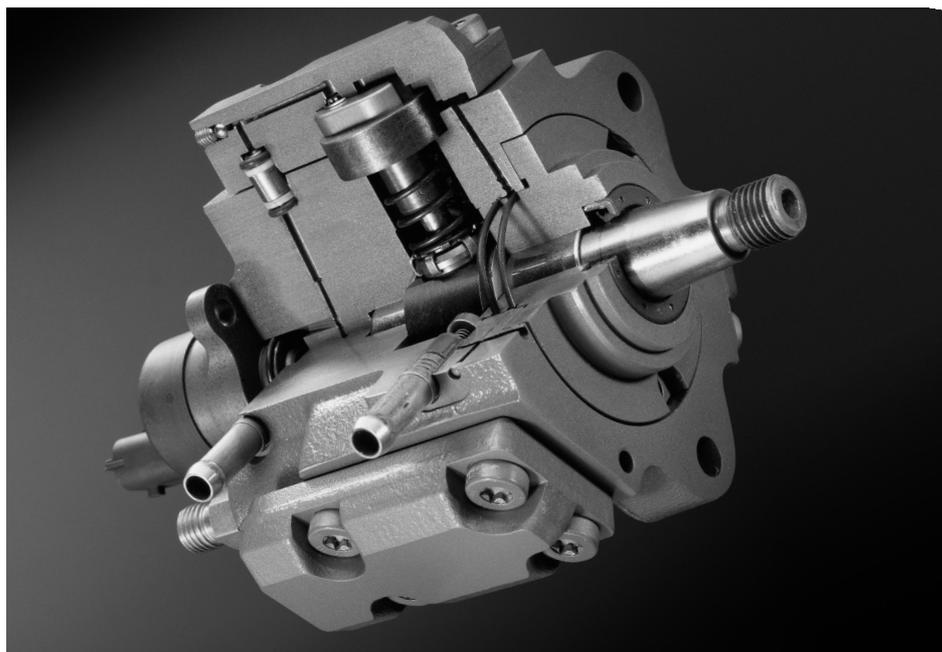
Es schützt die Hochdruckpumpe und die Zusatzförderpumpe vor einer Überbeanspruchung.

### **Auswirkung im Fehlerfall**

- Zu hoher Druck reduziert die Lebensdauer der Zusatzförderpumpe
- Die Strömungsgeräusche im Bereich der HDP und der Zusatzförderpumpe nehmen zu
- Der Wellendichtring der HDP könnte ausgedrückt werden

## 4.7 Hochdruckpumpe

Die Hochdruckpumpe (HDP) befindet sich vorne auf der linken Motorseite (vergleichbar mit Verteilereinspritzpumpe).



KT-3751

Abb. 8: Hochdruckpumpe (CP1 - M57)

Es werden je nach Motor unterschiedliche HDP verwendet:

- HDP mit angeflanschem Druckregelventil (M57 - CP1, common rail pump)
- HDP mit Elementabschaltmöglichkeit (M67 - CP3, common rail pump)

### Unterschiede zwischen CP1 (M57) und CP3 (M67)

|   | CP1 (M57)                              | CP3 (M67)                |
|---|--|--------------------------|
| <b>Förderprinzip</b>                        | 3 Kolben-Radialpumpe mit Exzenterwelle |                          |
| <b>Max. Förderdruck</b>                     | 1350 bar                               | 1600 bar <sup>1</sup>    |
| <b>Min. Zulaufdruck/<br/>Differenzdruck</b> | 1,9 bar /<br>0,5 bar <sup>2</sup>      | 0 bar <sup>3</sup>       |
| <b>Max. Drehzahl/<br/>Nenndruck</b>         | 3300 U/min /<br>1350 bar               | 4000 U/min /<br>1350 bar |
| <b>Übersetzungsverhältnis (KW)</b>          | 4 : 3                                  | 6 : 5                    |

1. Kommt z. Zt. beim M67 noch nicht zum Einsatz, sondern erst in zukünftigen CR-Systemen, bei denen die Druckregelung anhand einer saugseitigen Mengenregelung realisiert wird.
2. Elementbefüllung
3. Die CP3 ist für einen sauggedrosselten Betrieb geeignet. Diese Besonderheit der Zahnradpumpe wird im M67 jedoch noch nicht ausgenutzt.

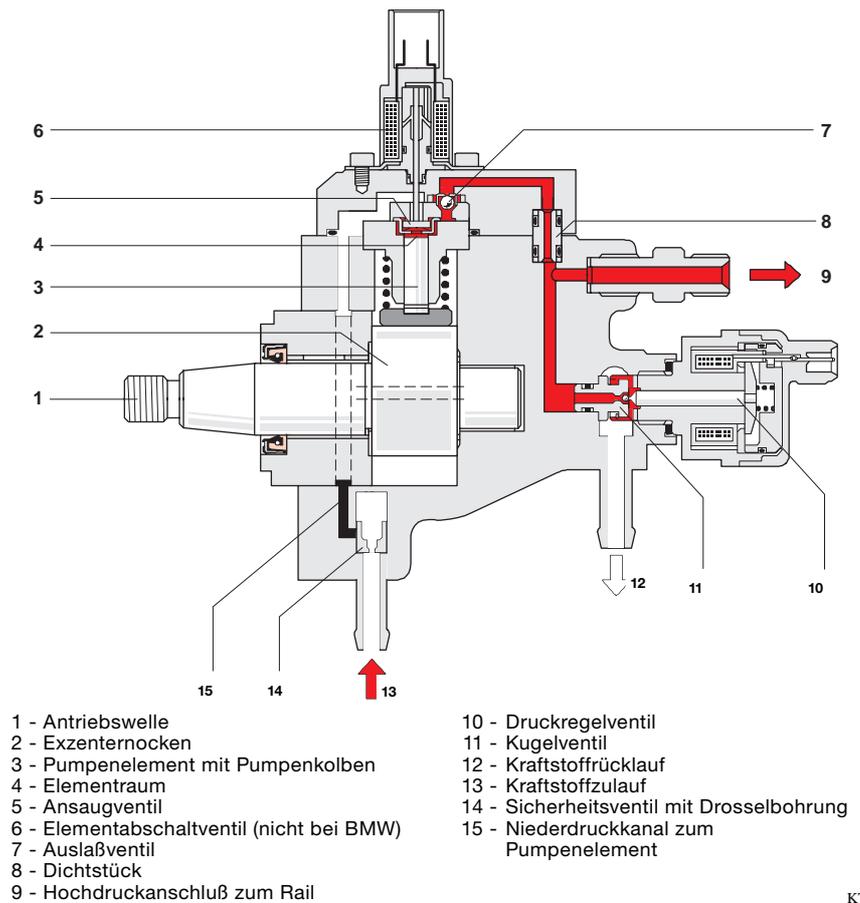
Die CP3 enthält zusätzlich zur CP1 folgende Bauteile:

- Zahnradpumpe als Kraftstoffvorförderpumpe verbaut
- Magnetventil für saugseitige Volumenstromregelung (beim M67 z.Zt. nur in der Funktion eines "ELAB" eingesetzt, bei zukünftigen CR-Systemen wird das Magnetventil als saugseitige Volumenstromregelung zur Druckregelung eingesetzt)

### **Aufgabe**

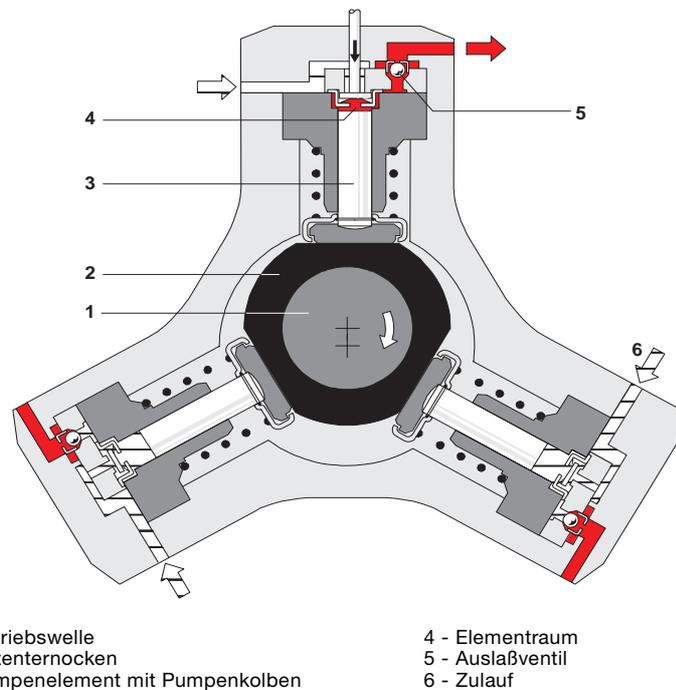
Die Hochdruckpumpe ist die Schnittstelle zwischen dem Nieder- und dem Hochdruckteil. Sie hat die Aufgabe, immer genügend Kraftstoff mit ausreichendem Druck in allen Betriebsbereichen und über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeuges bereitzustellen. Das schließt das Bereitstellen einer Kraftstoffreserve mit ein, die für einen schnellen Startvorgang und einen raschen Druckanstieg im Rail notwendig ist.

## Aufbau



KT-3735

Abb. 9: Hochdruckpumpe - Längsschnitt (CP1)



KT-3856

Abb. 10: Hochdruckpumpe - Querschnitt

## Funktion

Kraftstoff wird über den Filter zum HDP-Zulauf (13) und dem dahinterliegenden Sicherheitsventil (14) gefördert. Er wird durch die Drosselbohrung in den Niederdruckkanal (15) gedrückt. Dieser steht in Verbindung mit dem Schmier- und Kühlkreislauf der Hochdruckpumpe. Sie ist deshalb an keinen Ölkreislauf angeschlossen.

Die Antriebswelle (1) wird über den Kettentrieb mit etwas mehr als der Hälfte der Motordrehzahl (max.  $3300 \text{ min}^{-1}$ ) angetrieben. Sie bewegt mit ihrem Exzenternocken (2) die drei Pumpenkolben (3) entsprechend der Nockenform auf und ab.

Überschreitet der Druck im Niederdruckkanal den Öffnungsdruck des Ansaugventils (5) (0,5 - 1,5 bar), kann die Vorförderpumpe Kraftstoff in denjenigen Elementraum drücken, bei dem sich der Pumpenkolben nach unten bewegt (Saughub). Wird der Totpunkt des Pumpenkolbens überschritten, so schließt das Einlaßventil. Der Kraftstoff im Elementraum (4) kann nicht mehr entweichen. Er wird nun über den Förderdruck der Zuleitung hinaus komprimiert. Der sich aufbauende Druck öffnet das Auslaßventil (7), sobald der Druck im Rail erreicht ist. Der komprimierte Kraftstoff gelangt in das Hochdrucksystem.

Der Pumpenkolben fördert so lange Kraftstoff, bis der obere Totpunkt erreicht wird (Förderhub). Danach fällt der Druck wieder ab, so daß das Auslaßventil schließt. Der verbleibende Kraftstoff entspannt sich. Der Pumpenkolben bewegt sich nach unten.

Unterschreitet der Druck im Elementraum den Druck im Niederdruckkanal, öffnet das Einlaßventil wieder. Der Vorgang beginnt von neuem.

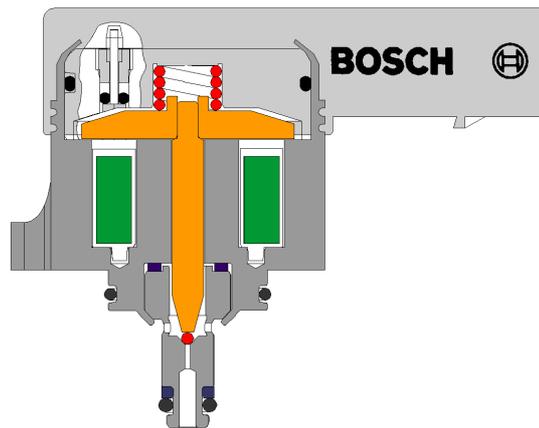
Die Hochdruckpumpe erzeugt permanent den Systemdruck für den Hochdruckspeicher (Rail). Der Druck im Rail wird durch das Druckregelventil bestimmt.

Da die Hochdruckpumpe für große Fördermengen ausgelegt ist, gibt es im Leerlauf und im Teillastbereich einen Überschuß an verdichtetem Kraftstoff. Da beim Abfließen der Überschußmenge der verdichtete Kraftstoff entspannt wird, geht die durch die Verdichtung eingebrachte Energie verloren bzw. heizt den Kraftstoff auf.

Dieser zuviel geförderte Kraftstoff wird über das Druckregelventil und den Kraftstoffkühler zum Kraftstoffbehälter zurückgeleitet.

## 4.8 Druckregelventil

Das Druckregelventil sitzt beim M57 an der Hochdruckpumpe und beim M67 im Verteilerblock (siehe Abb. Hochdruckspeicher).



KT-3698

Abb. 11: Druckregelventil

### Aufgabe

Das Druckregelventil hat die Aufgabe, den Druck im Rail abhängig vom Lastzustand des Motors einzustellen und zu halten.

- Bei einem zu hohen Druck im Rail öffnet das Druckregelventil, so daß ein Teil des Kraftstoffs aus dem Rail über eine Sammelleitung zurück zum Kraftstoffbehälter gelangt.
- Bei zu niedrigem Druck im Rail schließt das Druckregelventil und dichtet so die Hochdruckseite gegen die Niederdruckseite ab.

### Aufbau

Das DDE-Steuergerät wirkt über eine Spule auf einen Anker, der eine Kugel in den Dichtsitz drückt, um die Hochdruckseite gegen die Niederdruckseite abzudichten. Im nichtangesteuerten Zustand wird über ein Federpaket auf die Kugel gewirkt. Zur Schmierung und zur Wärmeabfuhr wird der gesamte Anker mit Kraftstoff aus dem angeflanschten Bauteil umspült.

## Funktion

Das Druckregelventil hat zwei Regelkreise:

- einen elektrischen Regelkreis zum Einstellen eines variablen Druckwertes im Rail
- einen mechanischen Regelkreis, um hochfrequente Druckschwingungen auszugleichen

Da der Zeitfaktor bei der Regelung des Drucks im Rail eine wichtige Rolle spielt, gleichen der elektrische Regelkreis die langsam und der mechanische Regelkreis die schnell verlaufenden Druckschwankungen und -änderungen im Rail aus.

### Druckregelventil nicht angesteuert

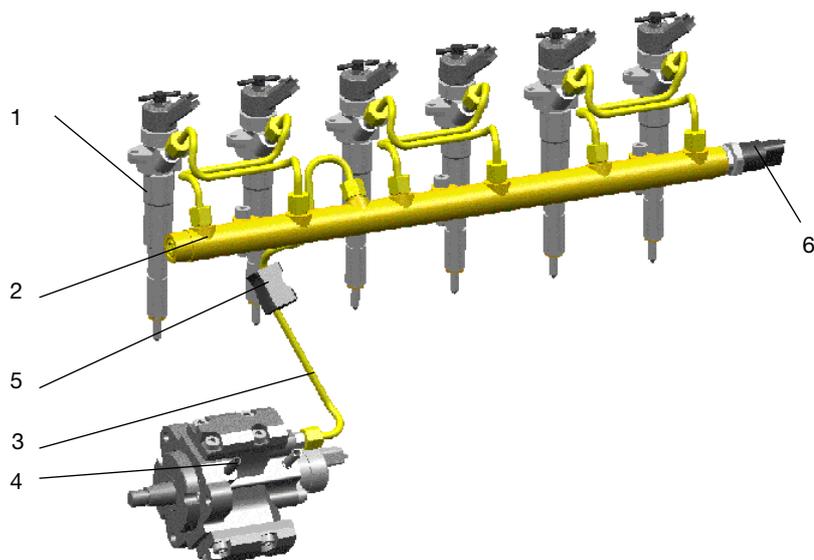
Der im Rail oder am Ausgang der Hochdruckpumpe anliegende Hochdruck liegt über den Hochdruckzulauf am Druckregelventil an. Da der stromlose Elektromagnet keine Kraft ausübt, überwiegt die Hochdruckkraft gegenüber der Federkraft, so daß das Druckregelventil öffnet. Die Feder ist so ausgelegt, daß sich ein Druck von max. 100 bar einstellt.

### Druckregelventil angesteuert

Wenn der Druck im Hochdruckkreis erhöht werden soll, muß zusätzlich zur Federkraft die magnetische Kraft aufgebaut werden. Das Druckregelventil wird solange angesteuert und geschlossen, bis zwischen Hochdruckkraft einerseits und Magnet- und Federkräften andererseits ein Kräftegleichgewicht erreicht ist. Die magnetische Kraft des Elektromagneten ist proportional zum Ansteuerstrom. Die Variation des Ansteuerstromes wird durch Takten (Pulsweitenmodulation) realisiert. Die Taktfrequenz ist mit 1 kHz ausreichend hoch, um störende Ankerbewegungen bzw. Druckschwankungen im Rail zu vermeiden.

## 4.9 Kraftstoff-Hochdruckspeicher (Rail)

Der Kraftstoff-Hochdruckspeicher (Rail) befindet sich neben der Zylinderkopfhaube unterhalb der Motorabdeckung.

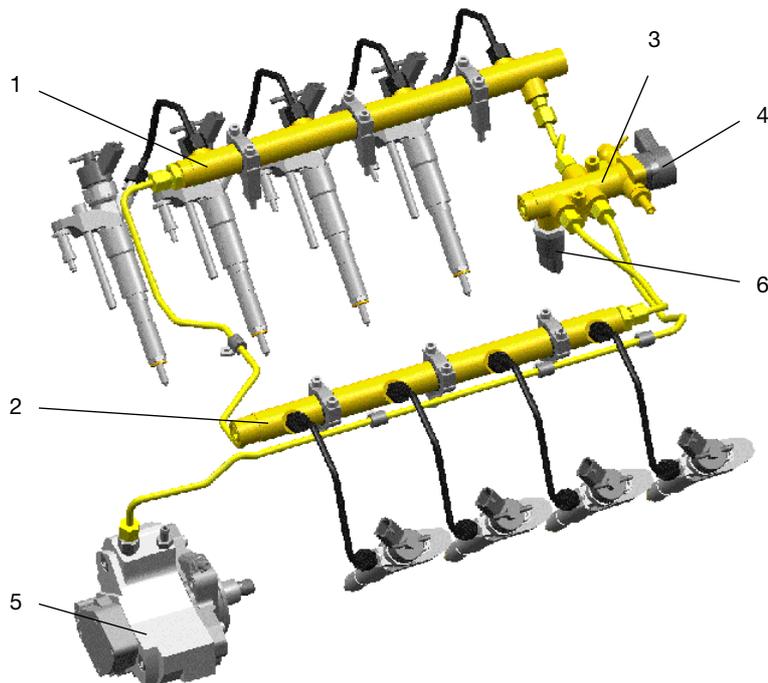


1 - Injektoren  
2 - Hochdruckspeicher (Rail)  
3 - Druckregelventil

4 - Hochdruckpumpe (CP1)  
5 - Gummielement  
6 - Raildrucksensor

KT-3700

Abb. 12: Kraftstoff-Hochdruckspeicher (Rail) - M57



1 - Hochdruckspeicher (Rail) Bank 1  
2 - Hochdruckspeicher (Rail) Bank 2  
3 - Verteilerblock

4 - Druckregelventil  
5 - Hochdruckpumpe (CP3)  
6 - Raildrucksensor

KT-3701

Abb. 13: Kraftstoff-Hochdruckspeicher (Rail) - M67

## **Aufgabe**

Im Rail wird der Kraftstoff unter hohem Druck für die Einspritzung bereitgestellt (gespeichert).

Dieser für alle Zylinder gemeinsame Kraftstoffspeicher (Common Rail) hält selbst bei Entnahme von größeren Kraftstoffmengen seinen Druck im Inneren auf einem nahezu konstanten Wert. Damit ist sichergestellt, daß beim Öffnen des Injektors der Einspritzdruck nahezu konstant bleibt.

Druckschwingungen, die aufgrund der Pumpenförderung und der Einspritzung entstehen, werden durch das Speichervolumen gedämpft.

## **Aufbau**

Das Rail ist im wesentlichen ein dickwandiges Rohr mit Anschlüssen für Leitungen oder Sensoren.

Im M57 nimmt das Rail an einem Ende den Raildrucksensor auf.

Im M67 werden 2 Rail eingesetzt, die durch eine Ringleitung miteinander verbunden sind. In diesem Rail-System sitzt der Raildrucksensor im Verteilerblock von unten nach oben verschraubt. Das Druckregelventil ist auch am Verteilerblock montiert und nicht an der HDP.

Auf einen Durchflußbegrenzer (in anderen Common Rail-Systemen eingesetzt) wird beim M57 und M67 verzichtet.

Das Rail kann wegen der unterschiedlichen Motoreinbaubedingungen verschiedenartig gestaltet sein. Je kleiner das Volumen des Rails bzw. der Bohrungsdurchmesser bei gleicher Außenkontur, desto höhere Beanspruchungen sind möglich. Ein kleines Volumen des Rails hält auch die Anforderungen an die Förderleistung der Hochdruckpumpe beim Start und bei Änderungen des Drucksollwertes im Rail gering. Auf der anderen Seite muß das Volumen des Rails aber ausreichend groß sein, Druckeinbrüche während der Einspritzung zu vermeiden. Der Innendurchmesser der Längsbohrung im Rail beträgt ca. 9 mm.

Das Rail wird von der Hochdruckpumpe kontinuierlich mit Kraftstoff versorgt. Aus diesem Zwischenspeicher gelangt der Kraftstoff über die Injektoranschlußleitungen zu den Injektoren. Der Raildruck wird über das Druckregelventil eingestellt.

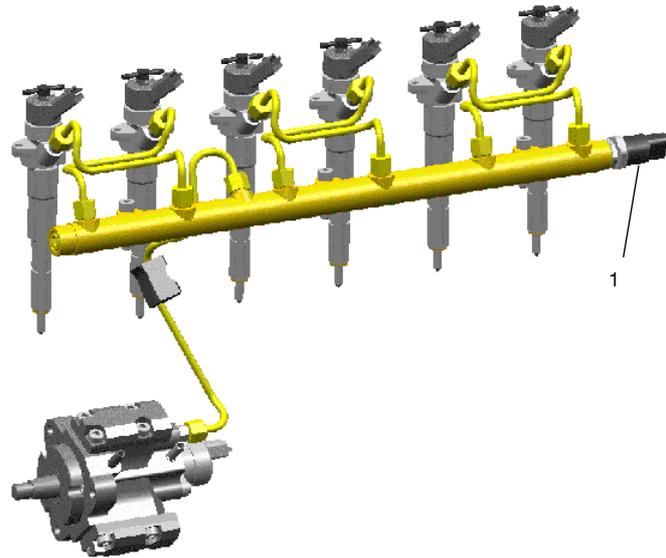
## **Funktion**

Das im Rail vorhandene Volumen ist ständig mit unter Druck stehendem Kraftstoff ausgefüllt. Die durch den hohen Druck erreichte Federwirkung des Kraftstoffes wird ausgenutzt, um einen Speichereffekt zu erhalten.

Wird nun Kraftstoff für eine Einspritzung aus dem Rail entnommen, bleibt der Druck im Hochdruckspeicher nahezu konstant. Ebenso werden Druckschwankungen von der pulsierenden Versorgung durch die Hochdruckpumpe gedämpft bzw. ausgeglichen.

## 4.10 Raildruck- sensor

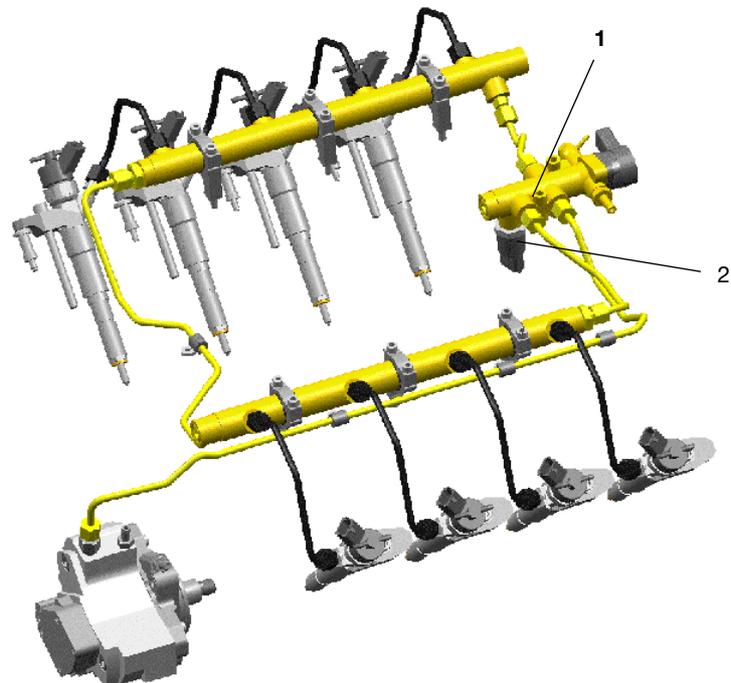
Der Raildrucksensor ist beim M57 am Ende des Rails verschraubt bzw. beim M67 im Verteilerblock (von unten nach oben verschraubt).



1 - Raildrucksensor

KT-3700

Abb. 14: Common Rail System - Raildrucksensor M57



1 - Verteilerblock  
2 - Raildrucksensor, nicht sichtbar, befindet sich oberhalb des Regelventils

KT-3701

Abb. 15: Common Rail System - Raildrucksensor M67

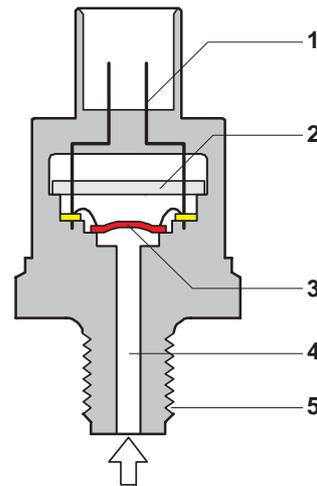
## Aufgabe

Der Raildrucksensor muß den aktuellen Druck im Rail

- mit ausreichender Genauigkeit und
- in entsprechend kurzer Zeit

messen und ein Spannungssignal entsprechend dem anliegenden Druck an das Steuergerät liefern.

## Aufbau



1 - Elektrische Anschlüsse  
2 - Auswerteschaltung  
3 - Membrane mit Sensorelement

4 - Hochdruckanschluß  
5 - Befestigungsgewinde

KT-3734

Abb. 16: Raildrucksensor - Schnitt

Der Raildrucksensor besteht aus folgenden Bauteilen:

- einem integrierten Sensorelement
- einer Leiterplatte mit elektrischer Auswerteschaltung
- einem Sensorgehäuse mit elektrischem Steckanschluß

Der Kraftstoff gelangt durch den Hochdruckanschluß zu einer Sensormembrane. Auf dieser Membrane befindet sich ein Sensorelement (Halbleiterbauelement), das zur Umwandlung der Verformung aufgrund des Druckes in ein elektrisches Signal dient. Über Verbindungsleitungen wird das erzeugte Signal zu einer Auswerteschaltung geleitet, die das aufbereitete Meßsignal über die Anschlüsse dem Steuergerät zur Verfügung stellt.

## **Funktion**

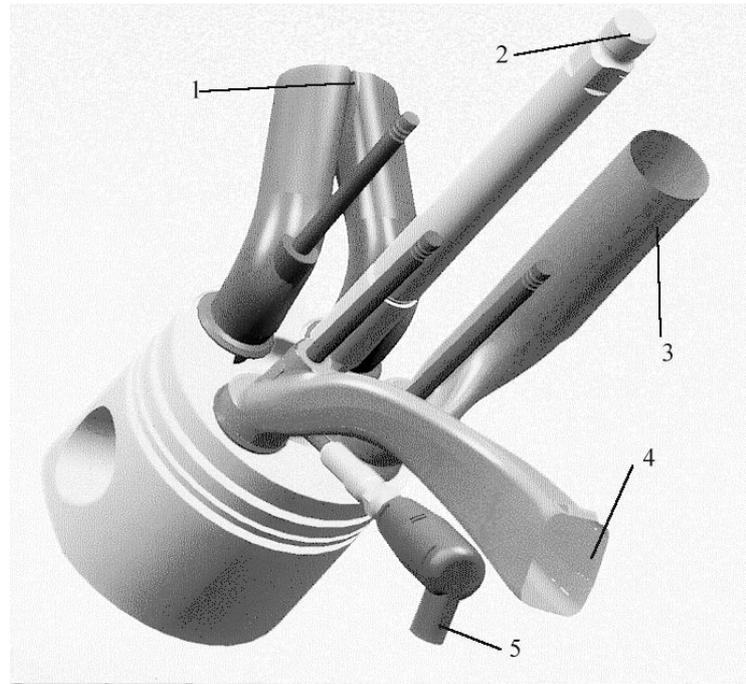
Der Raildrucksensor arbeitet nach folgendem Prinzip:

Der elektrische Widerstand der Membrane variiert, wenn sich ihre Form verändert. Diese Formänderung (ca. 1 mm bei 500 bar) durch den sich aufbauenden Systemdruck bewirkt eine Veränderung des elektrischen Widerstandes und erzeugt in der mit 5 Volt versorgten Widerstandsbrücke eine Spannungsänderung.

Diese Spannung liegt im Bereich von 0 - 70 mV (entsprechend dem anliegenden Druck) und wird von der Auswert-schaltung auf einen Bereich von 0,5 - 4,5 Volt verstärkt. Die genaue Messung des Druckes im Rail ist für das Funktionieren des Systems unverzichtbar. Aus diesem Grund sind auch die zulässigen Toleranzen für den Drucksensor bei der Druckmessung sehr klein. Die Meßgenauigkeit liegt im Hauptbetriebsbereich bei 30 bar, also bei ca.  $\pm 2\%$  vom Endwert. Bei Ausfall des Raildrucksensors wird das Druckregelventil mit einer Notlauffunktion vom Steuergerät angesteuert.

## 4.11 Injektor

Die Injektoren sind zentral oberhalb der Brennräume im Zylinderkopf angeordnet.



1 - Auslaßkanäle  
2 - Injektor  
3 - Drallkanal (Einlaß)  
4 - Tangentialkanal (Einlaß)  
5 - Glühstift

KT-2435

Abb. 17: Injektoranordnung zum Brennraum - Ansicht M57

Ähnlich wie bei bestehenden Düsenhaltern in direkteinspritzenden Dieselmotoren, werden die Injektoren mit sogenannten Spannpratzen im Zylinderkopf angebracht. Damit sind die Common Rail-Injektoren für den Einbau in bestehende DI-Dieselmotoren ohne wesentliche Änderungen am Zylinderkopf geeignet.

Die Injektoren ersetzen also die Düsenhalterkombinationen (Düsen- und Düsenhalter) der herkömmlichen Dieseleinspritzanlagen.

## Aufgabe

Der Injektor hat die Aufgabe, den Spritzbeginn und die Einspritzmenge genau einzustellen.

Die Düsennadel ist einfach geführt, um das Risiko von Nadelreiben konzeptionell zu vermeiden. Gleichzeitig kommt eine weiterentwickelte Sitzgeometrie mit der Bezeichnung ZHI (zylindrischer Ansatz, Hinterschnitt, inverse Sitzwinkeldifferenz) zum Einsatz, als sogenannte Sitzlochdüse ausgelegt, siehe nachfolgende Abbildung. Damit wird erreicht, daß durch den Druckausgleich am Hinterschnitt ein symmetrisches Strahlbild entsteht. Außerdem besteht bei dieser Sitzgeometrie keine Tendenz für eine Mengenzunahme (Mengentrift) infolge von Abnützungen.

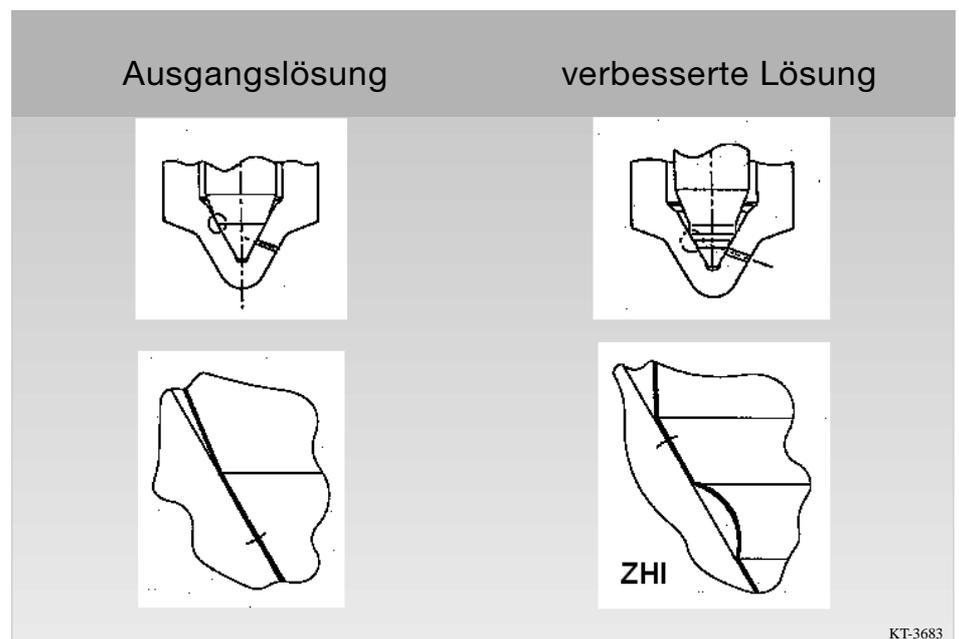


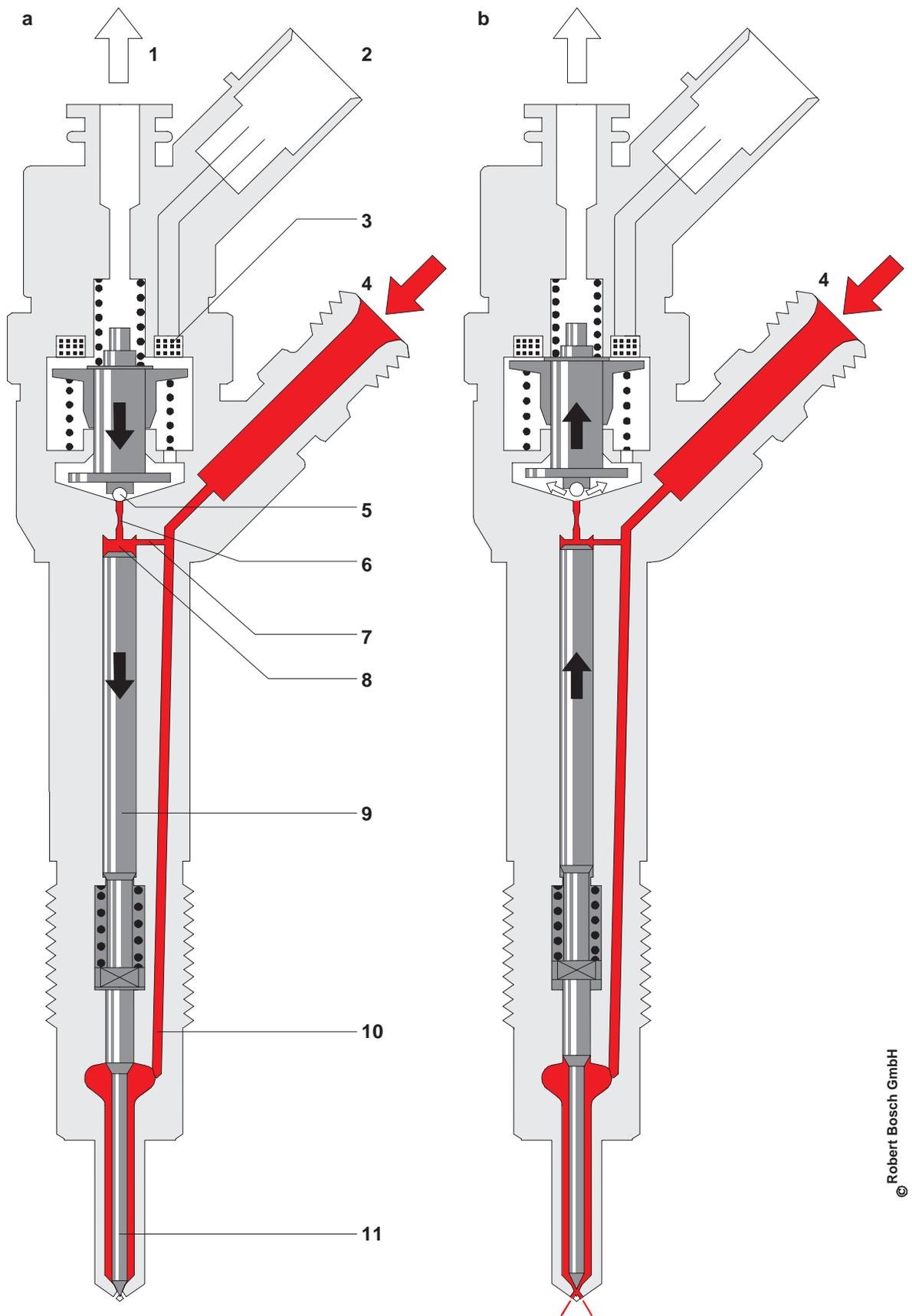
Abb. 18: Injektor mit weiterentwickelter Sitzgeometrie (ZHI = zylindrischer Ansatz, Hinterschnitt, inverse Sitzwinkeldifferenz)

## Aufbau

Der Injektor kann in verschiedene Funktionsblöcke aufgeteilt werden:

- Lochdüse mit Düsennadel
- das hydraulische Servosystem
- Magnetventil
- Anschlüsse und Kraftstoffkanäle

Der Kraftstoff wird vom Hochdruckanschluß (4) über einen Kanal (10) zur Düse sowie über die Zulaufdrossel (7) in den Steuerraum (5) geführt.



a) Injektor geschlossen (Ruhezustand)  
 b) Injektor geöffnet (Einspritzung)

- 1 - Kraftstoffrücklauf
- 2 - elektrischer Anschluß
- 3 - Ansteuerereinheit (2/2-Magnetventil)
- 4 - Kraftstoffzulauf, Hochdruck vom Rail
- 5 - Ventilsteuererraum
- 6 - Ventilkugel

- 7 - Zulaufdrossel
- 8 - Ablaufdrossel
- 9 - Ventilsteuerkolben
- 10 - Zulaufkanal zur Düse
- 11 - Düsennadel

Abb. 19: Injektor Schnitt

Der Steuerraum ist über die Ablaufdrossel (8), die durch ein Magnetventil geöffnet werden kann, mit dem Kraftstoffrücklauf (1) verbunden. In geschlossenem Zustand der Ablaufdrossel überwiegt die hydraulische Kraft auf den Ventilkolben (9) jene auf die Druckstufe der Düsennadel (11). Infolgedessen wird die Düsennadel in ihren Sitz gepreßt und schließt den Hochdruckkanal dicht zum Motorraum ab. Es kann kein Kraftstoff in den Brennraum gelangen, obwohl dieser die ganze Zeit mit Hochdruck am Hochdruckanschluß ansteht.

Beim Ansteuern der Ansteuereinheit des Injektors (2/2-Magnetventil) wird die Ablaufdrossel geöffnet. Dadurch sinkt der Druck im Steuerraum und damit die hydraulische Kraft auf den Ventilkolben.

Sobald die hydraulische Kraft jene auf die Druckstufe der Düsennadel unterschreitet, öffnet die Düsennadel, so daß der Kraftstoff durch die Spritzlöcher in den Verbrennungsraum gelangen kann.

Diese indirekte Ansteuerung der Düsennadel über ein hydraulisches Kraftverstärkersystem wird deshalb eingesetzt, weil die zu einem schnellen Öffnen der Düsennadel benötigten Kräfte mit dem Magnetventil nicht direkt erzeugt werden können. Die dabei zusätzlich zur eingespritzten Kraftstoffmenge benötigte sogenannte Steuermenge gelangt über die Drossel des Steuerraumes in den Kraftstoffrücklauf.

Zusätzlich zur Steuermenge geht auch noch an der Düsennadel- und der Ventilkolbenführung Kraftstoff verloren (Leckagemenge).

Die Steuer- und die Leckagemengen können bis zu  $50 \text{ mm}^3$  pro Hub betragen. Sie werden über den Kraftstoffrücklauf mit einer Sammelleitung, an die auch Überströmventil, Hochdruckpumpe und Druckregelventil angeschlossen sind, wieder in den Kraftstoffbehälter zurückgeführt.

## Funktion

Die Funktion des Injektors läßt sich in vier Betriebszustände bei laufendem Motor und fördernder Hochdruckpumpe unterteilen:

- Injektor geschlossen (mit anliegendem Hochdruck)
- Injektor öffnet (Einspritzbeginn)
- Injektor voll geöffnet
- Injektor schließt (Einspritzende)

Diese Betriebszustände stellen sich durch die Kräfteverteilung an den Bauteilen des Injektors ein. Bei nicht laufendem Motor und fehlendem Druck im Rail schließt die Düsenfeder den Injektor.

### Injektor geschlossen (Ruhezustand)

Das 2/2-Magnetventil ist im Ruhezustand nicht angesteuert und damit geschlossen (s. Abb. Injektor Schnitt, a)

Dadurch, daß die Ablaufdrossel geschlossen ist, wird die Kugel des Ankers durch die Ventilfeeder in den Sitz an der Abflußdrossel gepreßt. Im Ventilsteuerraum baut sich der Hochdruck des Rails auf. Derselbe Druck steht auch im Kammervolumen der Düse an. Die durch den Raildruck auf die Stirnflächen des Steuerkolbens aufgebraachten Kräfte und die Kraft der Düsenfeder halten die Düsennadel gegen die öffnende Kraft, die an deren Druckstufe angreift, geschlossen.

### Injektor öffnet (Einspritzbeginn)

Der Injektor befindet sich in Ruhelage. Das 2/2-Magnetventil wird mit dem Anzugsstrom ( $I = 20$  Ampere) angesteuert, was einem schnellen Öffnen des 2/2-Magnetventils dient (Abb. b). Die Kraft des nun angesteuerten Elektromagneten übersteigt die Kraft der Ventilfeeder, und der Anker öffnet die Abschlußdrossel. Nach maximal 450 ms wird der erhöhte Anzugsstrom ( $I = 20$  Ampere) auf einen geringeren Haltestrom des Elektromagneten ( $I = 12$  Ampere) reduziert. Dies ist möglich, da der Luftspalt des magnetischen Kreises nun geringer ist.

Mit dem Öffnen der Abflußdrossel kann nun Kraftstoff aus dem Ventilsteuerraum in den darüberliegenden Hohlraum und über den Kraftstoffrücklauf zum Kraftstoffbehälter abfließen. Die Zulaufdrossel verhindert einen vollständigen Druckausgleich, und der Druck im Ventilsteuerraum sinkt. Dies führt dazu, daß der Druck im Ventilsteuerraum kleiner ist als der Druck im Kammervolumen der Düse, der noch immer das Druckniveau des Rail hat. Der verringerte Druck

im Ventilsteuerraum führt zu einer verringerten Kraft auf den Steuerkolben und führt zum Öffnen der Düsennadel. Die Einspritzung beginnt.

Die Öffnungsgeschwindigkeit der Düsennadel wird vom Durchflußunterschied zwischen der Zu- und Ablaufdrossel bestimmt. Nach einem Hub von ca. 200 µm erreicht der Steuerkolben seinen oberen Anschlag und verharrt dort auf einem Kraftstoffpolster. Das Polster entsteht durch den Kraftstoffstrom, der sich zwischen der Zu- und Ablaufdrossel einstellt. Die Injektordüse ist nun voll geöffnet und der Kraftstoff wird mit einem Druck, der annähernd dem Druck im Rail entspricht, in den Brennraum eingespritzt.

Injektor schließt (Einspritzende)

Wird das 2/2-Magnetventil nicht mehr angesteuert, so wird der Anker durch die Kraft der Ventulfeder nach unten gedrückt und die Kugel verschließt die Ablaufdrossel. Um einen starken Verschleiß des Ventilsitzes mit der Kugel zu verhindern, ist der Anker zweiteilig ausgeführt. Hierbei wird zwar die Ankerplatte durch einen Mitnehmer nach unten mitgeführt, sie kann aber nach unten mit der Rückstellfeder durchfedern und somit keine nach unten wirkende Kraft auf den Anker und die Kugel ausüben. Durch das Verschließen der Ablaufdrossel baut sich im Steuerraum über den Zufluß der Zulaufdrossel wieder ein Druck wie im Rail auf. Dieser erhöhte Druck übt über die Fläche am Kopfende des Steuerkolbens eine erhöhte Kraft auf diesen aus. Diese Kraft aus dem Ventilsteuerraum und die Kraft der Feder überschreiten nun die Kraft aus dem Kammervolumen, und die Düsennadel schließt. Die Schließgeschwindigkeit der Düsennadel wird durch den Durchfluß der Zulaufdrossel bestimmt. Die Einspritzung endet, wenn die Düsennadel ihren unteren Anschlag wieder erreicht.

## 4.12 Kraftstoff- heizung/ -kühlung (Luft-Wärme- tauscher)



KT-3881

Abb. 20: Bimetallventil

Das Bimetallventil ist extern verbaut, d.h. es sitzt nicht mehr direkt am Filter. Der heiße Kraftstoff fließt im Heizbetrieb zurück zum Verteilerstück und von dort zum Kraftstofffilter.

### **Funktion Kraftstoffheizung**

Die Kraftstoffheizung wird über einen thermischen Regler (Bimetallventil - Knackfroscheffekt) geregelt.

Die Funktionsweise ist analog M47.

### **Unterscheidungsmerkmale zu M47 (Schaltpunkte)**

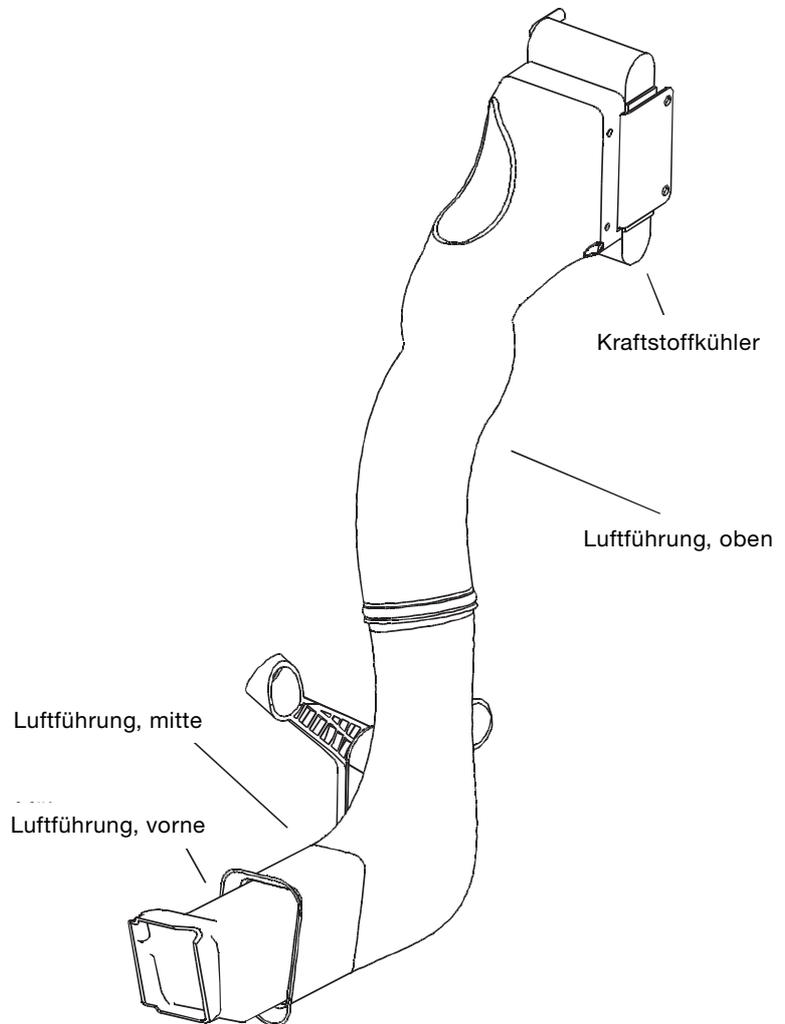
Bei einer Kraftstoffrücklauftemperatur  $\geq 73^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) fließen 100% des Kraftstoffrücklaufes über den Kraftstoffkühler zurück in den Tank.

Bei einer Kraftstoffrücklauftemperatur  $\leq 63^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) fließen 60% bis 80% des Kraftstoffrücklaufes direkt zum Filter und der Rest über den Kraftstoffkühler zum Tank.

## Funktion Kraftstoffkühlung

Wenn das Bimetallventil den Rücklauf zum Tank freigibt, fließt der Kraftstoff durch einen Kühler.

Dieser Kühler wird durch eine eigene Luftführung mit kühler Außenluft durchströmt und führt somit Wärme aus dem Kraftstoff ab.

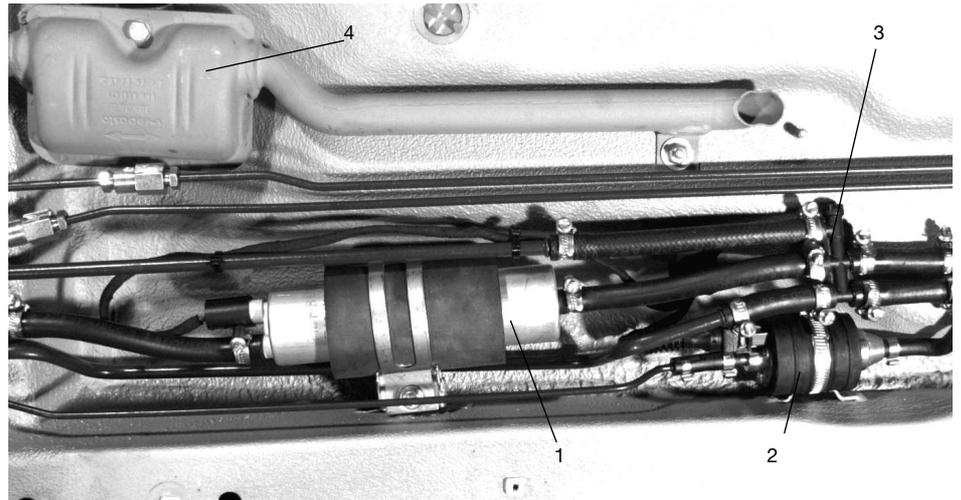


KT-3674

Abb. 21: Luftführung für Kraftstoffkühlung (Luftwärmetauscher) - E38M57

## 4.13 Verteilerstück mit Drossel

Das Verteilerstück ist im Unterbodenbereich auf der linken Fahrzeugseite hinter der Zusatzförderpumpe angeordnet.



- 1 - Zusatzförderpumpe ("Inline"- Pumpe)
- 2 - Kraftstoffpumpe Zuheizer bzw. Standheizung
- 3 - Verteilerstück (mit Drossel)
- 4 - Abgasanlage Standheizung

KT-3882

Abb. 22: Verteilerstück - E38M57

Je nach Motor werden 2 unterschiedliche Verteilerstücke verbaut.

- 5-fach Verteilerstück mit Drossel (M57)
- H-Stück mit Drossel (M67)

### Aufgabe

Das 5-fach Verteilerstück mit Drossel hat die Aufgabe, bei zu geringem Druck vor der "Inline"-EKP Kraftstoff aus dem Rücklauf zur Verfügung zu stellen.

Es wird hierüber die Rücklaufleitung mit der Zulaufseite kurzgeschlossen. Ein Teil des rückströmenden Kraftstoffs kann so der Fördermenge zur HDP zugemischt werden.

# 5. Überblick zu Einspritzsystemen

## 5.1 Einspritzsysteme

Die drei miteinander technisch konkurrierenden Systeme, wie Verteilerpumpen-, Pumpedüse- und Common Rail Einspritzsystem, haben ihre spezifischen Vorteile in unterschiedlichen Disziplinen. Ein in allen Punkten überlegenes Einspritzsystem existiert heute noch nicht.

| Einspritzsystem                          | Radialkolben Verteilereinspritzpumpe | Pumpedüse       | Common Rail               |
|--|--------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| <b>Kriterien</b>                         |                                      |                 |                           |
| <b>Einspritzdruck</b>                    | 1800 bar                             | < 2000 bar      | 1350 bar                  |
| <b>Spritzbeginnverstellbereich</b>       | 20° KW (4Zyl)<br>15° KW (6Zyl)       | < 20° KW        | beliebig                  |
| <b>Einspritzverlauf</b>                  | Stufennocken<br>Voreinspritzung      | Voreinspritzung | Mehrfach-<br>einspritzung |
| <b>Einfluß auf die Motorkonstruktion</b> | gering                               | hoch            | gering                    |

Tab.: Verfügbare Einspritzsysteme

## 5.2 Konventionelles Einspritzverhalten

Bei konventionellen Einspritzsystemen, wie den Verteiler- und Reiheneinspritzpumpen, findet die Einspritzung ausschließlich als Haupteinspritzung statt. Eine Ausnahme stellt die VP44 als magnetventilbetätigte Verteilereinspritzpumpe dar.

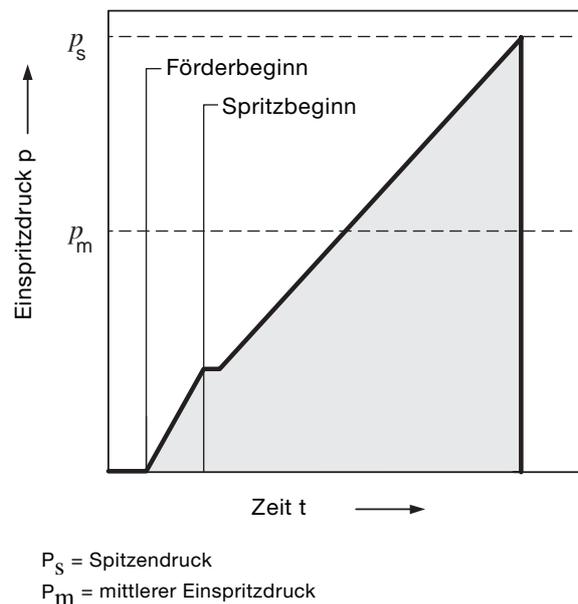
Bei den konventionellen Systemen sind die Druckerzeugung und die Bereitstellung der Einspritzmenge gekoppelt. Dies hat folgende Konsequenzen für das Einspritzverhalten:

- der Einspritzdruck wächst mit zunehmender Drehzahl und Einspritzmenge
- während der Einspritzung steigt der Einspritzdruck an

Hieraus ergibt sich:

- kleine Einspritzmengen werden mit geringen Drücken eingespritzt
- der Spitzendruck ist mehr als doppelt so hoch wie der mittlere Einspritzdruck

Für die Belastung der Bauteile einer Einspritzpumpe und des Pumpenantriebes ist der Spitzendruck maßgebend. Wichtig für die Qualität der Gemischbildung im Brennraum ist dagegen der mittlere Einspritzdruck.



KT-3731

Abb. 23: Einspritzverlauf der konventionellen Einspritzung

## 5.3 Common Rail Einspritzverhalten

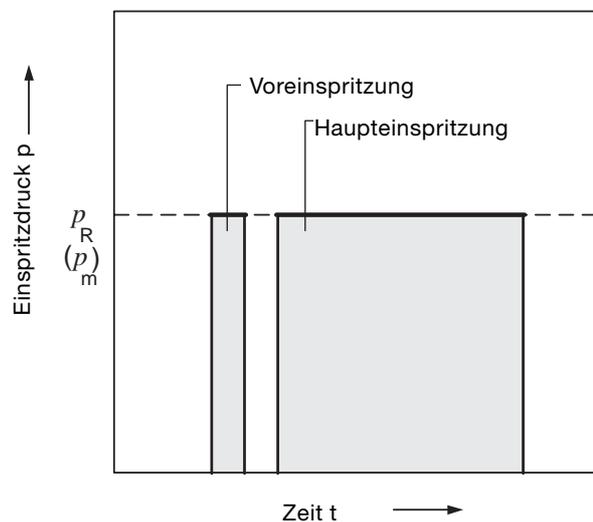
An ein ideales Einspritzverhalten werden im Vergleich zum konventionellen Einspritzverhalten folgende Anforderungen gestellt:

- Einspritzdruck und Einspritzmenge sollen für jeden Betriebspunkt des Motors unabhängig voneinander festgelegt werden können (zusätzlicher Freiheitsgrad für eine ideale Gemischbildung)
- nach dem Verbrennungsbeginn soll der Einspritzdruck während der gesamten Einspritzung frei wählbar sein
- Einspritzmenge und -druck sollen zu Beginn der Einspritzung möglichst gering sein (während des Zündverzugs zwischen Beginn der Einspritzung und Beginn der Verbrennung)

Im Speichereinspritzsystem Common Rail mit Vor- und Haupteinspritzung sind diese Anforderungen realisiert.

Ebenso wird der Geräusch- und Schwingungskomfort maßgeblich von der Härte der Verbrennung beeinflusst. Somit kommt einer gezielten Formung des Einspritzverlaufes eine besondere Bedeutung zu.

Diese Beeinflussung der motorischen Verbrennung erfolgt beim Common Rail System vorzugsweise durch eine Voreinspritzung, die eine nagelfreie Verbrennung bei niedrigem Geräuschpegel ermöglicht (siehe Abb.).



$p_R$  = Raildruck  
 $p_m$  = mittlerer Einspritzdruck

KT-3731

Abb. 24: Einspritzverlauf mit Common Rail

Darüber hinaus tragen weitere aktive und passive akustische Maßnahmen dazu bei, daß die Schalleistungswerte selbst gegenüber guten IDI-Motoren wesentlich verbessert werden, z.B. die Desaxierung der Bolzenachse von der Kolbenmitte zur Gegendruckseite (s. Abb.).

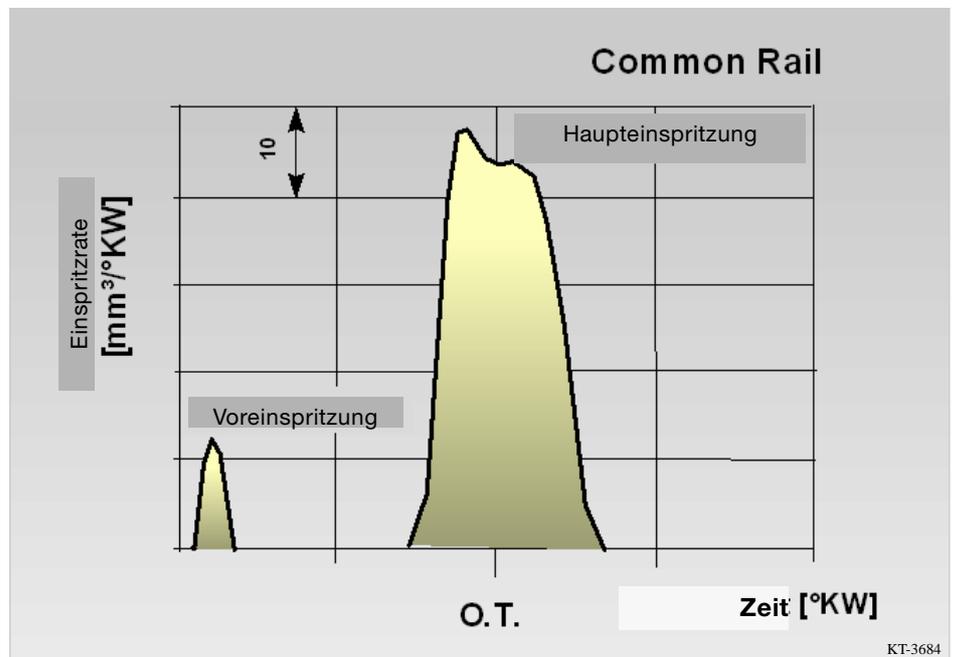


Abb. 25: Vor- und Haupteinspritzverlauf mit Common Rail

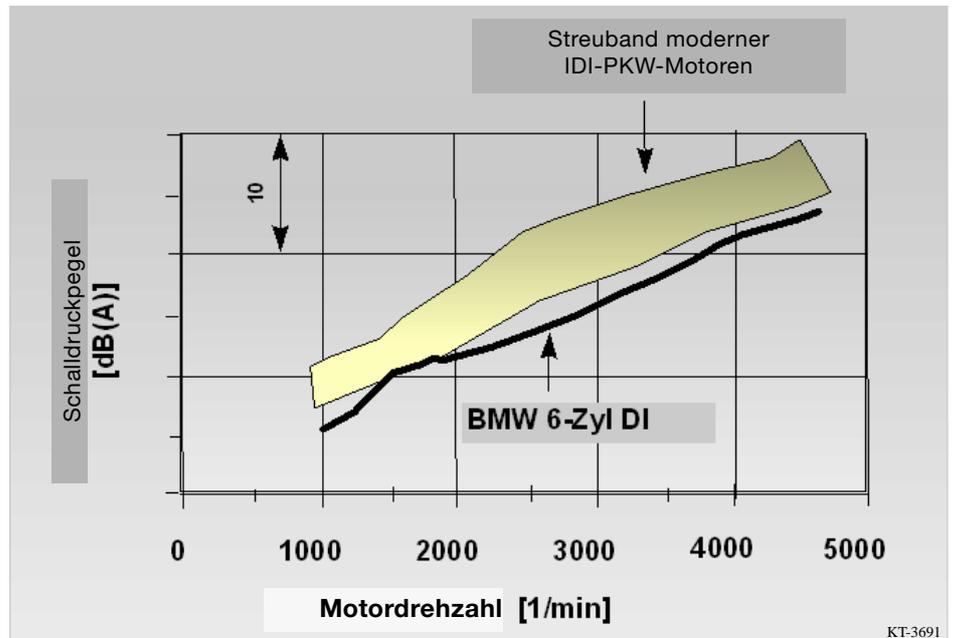


Abb. 26: Luftabstrahlung über der Motordrehzahl

Das Common Rail System ist modular aufgebaut. Für das Einspritzverhalten sind in erster Linie folgende Komponenten verantwortlich:

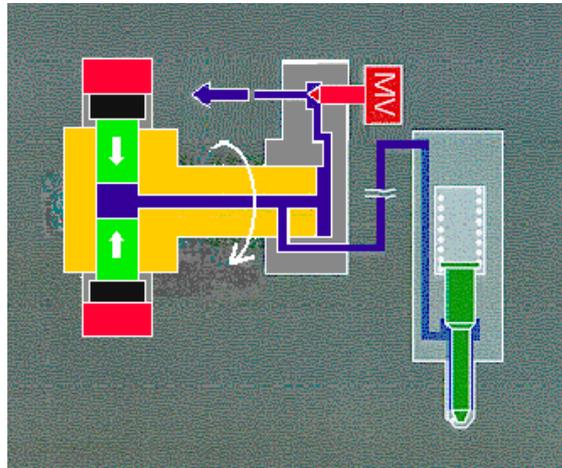
- magnetventilgesteuerte Injektoren, die im Zylinderkopf eingeschraubt sind
- Druckspeicher (Rail)
- Hochdruckpumpe

In zweiter Linie sind folgende Komponenten von Bedeutung:

- elektronisches Steuergerät (DDE)
- Kurbelwellen-Drehzahlsensor
- Nockenwellen-Drehzahlsensor

## 5.4 Verteilerein-spritzung (Radialkolbenprinzip)

- zentrale Kolbenpumpe mit der Einspritzdüse über eine Kraftstoffleitung verbunden
- Mengendosierung über Magnetventil (zylinderindividuell)
- Antrieb (winkelsynchron zum Motor) durch Kette oder Zahnriemen von der Kurbelwelle
- Nadelbetätigung direkt



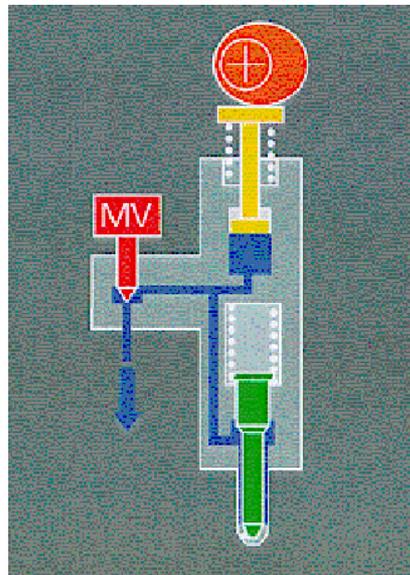
KT-3886

Abb. 27: Radialkolbenprinzip

Das Verteilerpumpeneinspritzsystem sowie die Pumpedüse haben wegen hoher erreichbarer Einspritzdrücke und direkter Steuerung der Düsennadel beim Öffnen und Schließen Vorteile. Somit sind hohe spezifische Leistungen bei guter Abgasqualität realisierbar. Der Vorteil hoher spezifischer Leistung ermöglicht insbesondere bei hubraumschwachen Vierzylindermotoren hohe absolute Leistungswerte.

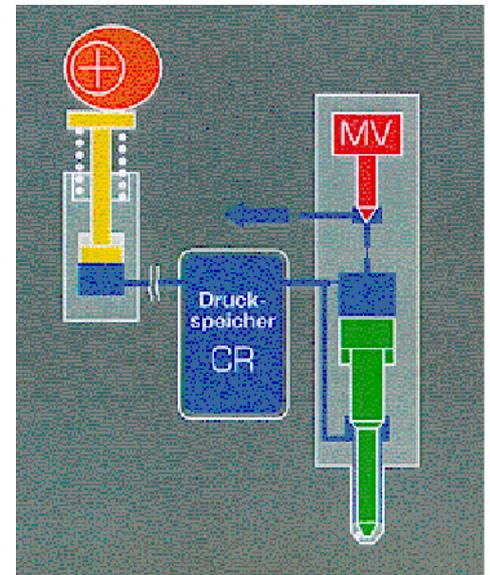
## 5.5 Pumpedüse

- dezentrale Kolbenpumpe mit dem Einspritzventil in einer konstruktiven Einheit
- Mengendosierung über Steuerkante oder Magnetventil
- Antrieb durch eine motorseitige Nockenwelle
- Nadelbetätigung direkt



KT-3885

Abb. 28: Pumpedüse



KT-3887

Abb. 29: Common Rail

## 5.6 Common Rail

Common Rail Systeme (mit indirekter Steuerung der Düsen-nadel) bieten hingegen die größte Flexibilität für die Spritzbeginnverstellung und Einspritzverlaufsform.

- zentrale Kolbenpumpe mit dem Einspritzventil über einen Speicher verbunden
- Mengendosierung über elektronisch ansteuerbare Ventile direkt an der Düse
- Antrieb der Hochdruckförderpumpe (nicht winkelsynchron zum Motor)
- Nadelbetätigung indirekt

Hubraumstarke Sechs- und Achtzylindermotoren sind jedoch auf hohe spezifische Leistungen nicht so stark angewiesen. Andererseits kann bei Verteilerpumpensystemen der große Bedarf an Spritzbeginnverstellbereichen wegen großer Leitungslängen nicht oder nur eingeschränkt abgedeckt werden. Zusätzlich treten gesteigerte Anforderungen an die Einspritzverlaufformung wegen hoher Komfortansprüche bei diesen Motoren in den Vordergrund.

## 5.7 Zusammenfassung des Common Rail Systems

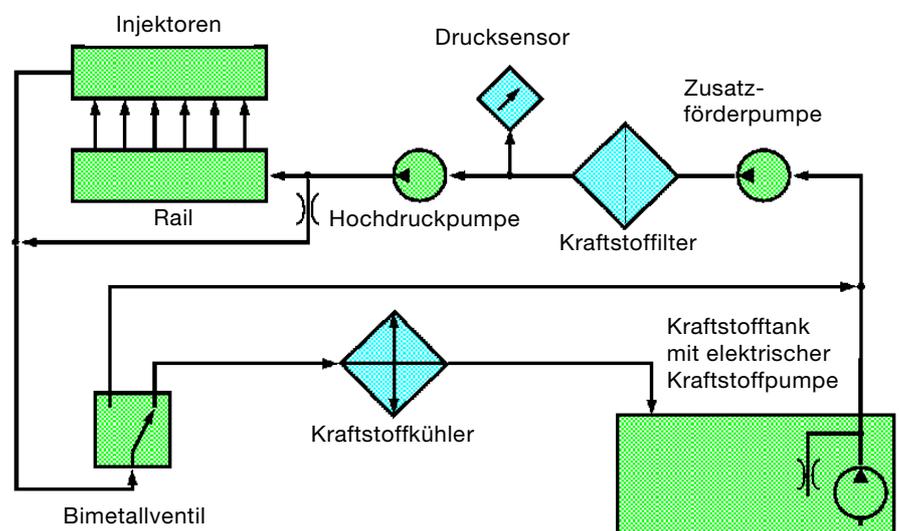
- Einspritzdruck und Einspritzzeitpunkt in weiten Grenzen wählbar und vom Betriebspunkt des Motors unabhängig
- Verminderte Schwarzrauchbildung durch hohen Einspritzdruck von bis zu 1350 bar
- Geräusch- und Schadstoffreduzierung durch Voreinspritzung
- Hochdruckerzeugung durch Radialkolbenpumpe
- Druckregelung durch Druckregelventil
- Kontinuierliche Druckmessung durch Sensor in der Verteilerleiste, geschlossener Regelkreislauf
- Injektor mit elektromagnetischem 2/2-Magnetventil

### Niederdruckförderung

Durch die Vorförderpumpe wird aus dem Tank über die "Inline"-EKP und dem Kraftstofffilter der Hochdruckpumpe Kraftstoff zugeführt.

### Hochdruckförderung

Die Hochdruckpumpe verdichtet den Kraftstoff auf den Systemdruck von bis zu 1350 bar. Der verdichtete Kraftstoff wird dann über ein Druckregelventil und eine Hochdruckleitung in einen rohrähnlichen Kraftstoff-Hochdruckspeicher (Rail) geleitet.



KT-3687

Abb. 30: Schematische Darstellung Kraftstoffsystem (CR)