



## 7. Die innovative BMW Ottomotorentechnik

### Die 4 Takte des Ottomotors (Wiederholung aus Kapitel 1)

An unserem Schulungsmodell schauen wir uns die 4 Takte noch einmal genauer an und gehen dabei auf die Besonderheiten des N52 Motors ein. Der N52 Motor ist ein Saugmotor mit **Saugrohreinspritzung**.

Für den N53 Motor, ebenfalls ein Saugmotor aber mit **Benzin-Direkteinspritzung** (HPI) und den N54 Motor mit HPI und Turboaufladung gelten die meisten Abläufe sinngemäß. Die HPI haben wir schon besprochen, auf die Aufladung gehen wir später noch genauer ein.

#### 1. Takt: ansaugen

- Kolben geht vom oberen zum unteren Totpunkt.
- Kraftstoff- Luftgemisch wird angesaugt.
- Ansaugen wird durch Strömung und Pulsationen im Saugrohr unterstützt.
- Gemischbildung durch exakt dosierte Benzineinspritzung in das Saugrohr. Der N52 wird mit Lambda 1 betrieben.
- BMW Benziner ohne Aufladung haben verstellbare Saugrohrängen (DISA) für optimale Zylinderfüllung.
- Bei Motoren mit vollvariablem Ventiltrieb (VVT) und VANOS (Variable Nockenwellen-Spreizung) sind die Ventilhuben und Ventilöffnungszeiten variabel. Sie werden in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Motors vom DME-Steuergerät vorgegeben und von entsprechenden Stellern umgesetzt.
- Beim N52 wird „Phasing“ und „Masking“ zur Verstärkung von Luftströmung und Turbulenzen bei niedriger Last mit kleinen Ventilhuben eingesetzt.

#### 2. Takt verdichten

- Kolben geht von UT nach OT, Einlass- und Auslassventile sind geschlossen.
- Kraftstoff-Luftgemisch wird verdichtet.
- Druck und Temperatur steigen an (ca. 30 bar und ca. 450 ° C).
- Kraftstoff darf sich dabei nicht selbst entzünden (hohe Klopfestigkeit gefordert), sonst unkontrollierte Verbrennung.
- Knapp vor dem oberen Totpunkt zündet ein Hochspannungsfunke an der Zündkerze das verdichtete und heiße Kraftstoff- Luftgemisch.
- Der Zündzeitpunkt ist in weiten Grenzen in Abhängigkeit von Drehzahl, Last und Temperatur variabel.
- Zündspannungsangebot bis über 30.000 V, gefährliche Hochspannung!
- Elektrodenabstand ist funktionskritisch.
- Zündkerzen sind Verschleißteile (Wechsel z.B. alle 100.000 km).
- Das DME-Steuergerät überwacht, ob ein Zündfunke erreicht wird, oder nicht.



### 3. Takt arbeiten

- Die Flammfront breitet sich im Zylinder mit ca. 25 – 30 m/sec (entspricht 90 – 110 km/h) aus.
- Die Temperatur im Bereich der Zündkerze liegt bei ca. 2.000° C.
- Kolben geht von OT nach UT, alle Ventile sind geschlossen.
- Die Verbrennung ist voll im Gang, der Druck treibt den Kolben gegen den UT und drückt ihn durch die Schrägstellung der Pleuelstange auch seitlich gegen die Zylinderwand.
- Der seitliche Druck kann ein hörbares „Kolbenkippen“ verursachen, daher ist der Kolbenbolzen im Kolben nicht genau mittig, sondern ein wenig seitlich versetzt („desachsiert“) angeordnet.
- Spitzendruck bis zu 120 bar und hohe Temperatur belasten den Kolbenboden, den Feuersteg und den obersten Kolbenring ---> Ölspritzdüse zur Kühlung des Kolbenbodens. Auch eine Ladeluftkühlung (N54) senkt die Temperatur im Brennraum.
- Klopfende Verbrennung wird mit Klopfensensoren erkannt. Das DME-Steuergerät nimmt dann den Zündwinkel zurück.
- Zündaussetzer werden über die Drehungleichförmigkeit des Motors ebenfalls erkannt.
- Die Verbrennung klingt aus, Druck und Temperatur sinken.
- Vor dem unteren Totpunkt öffnen schon die Auslassventile. Zu diesem Zeitpunkt ist der Winkel zwischen Pleuel und Kurbelwellen-Hubzapfen für das Drehmoment schon recht ungünstig. Man nutzt daher den Restdruck aus der Verbrennung im Zylinder zur Zylinderspülung.

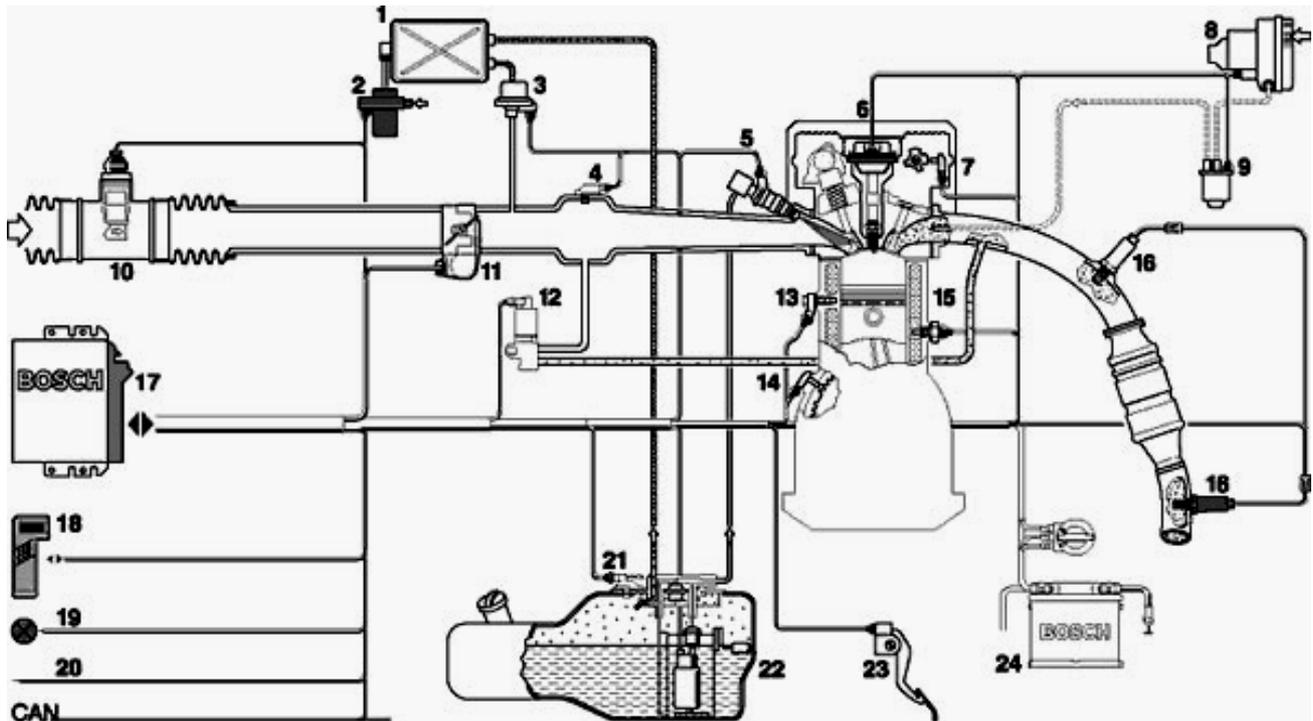
### 4. Takt ausstoßen

- Die Auslassventile öffnen, der Kolben geht von UT nach OT.
- Die 4-Ventiltechnik fördert den schnellen Gaswechsel.
- Das Abgas strömt mit etwa Schallgeschwindigkeit (= 333 m/sec) aus dem Zylinder.
- Die Abgastemperatur kann bei Volllast und hoher Drehzahl bis über 900° C betragen.
- Knapp vor dem OT des Kolbens öffnen die Einlassventile.
- Über einen bestimmten Drehwinkel des Motors sind im Bereich des OT sowohl die Einlass-, als auch die Auslassventile offen, diesen Bereich nennt man Ventilüberschneidung.
- Die Ventilüberschneidung unterstützt den Gaswechsel und wirkt auch auf die innere Abgasrückführung.
- Bei den BMW Ottomotoren ist die Ventilüberschneidung durch die Doppel-VANOS variabel.
- Beide Nockenwellen können durch den Verstell-Mechanismus der Doppel-VANOS unabhängig voneinander verdreht werden.
- So können die Ventilsteuerzeiten und damit der Gaswechsel optimal an die jeweiligen Betriebsbedingungen des Motors angepasst werden.



## Kurzer Rückblick über die DME allgemein (als Wiedereinstieg und Wiederholung)

Schema einer DME-Anlage mit Saugrohreinspritzung



- |                         |                        |                   |
|-------------------------|------------------------|-------------------|
| 1 Aktivkohlebehälter    | 9 SLS-Ventil           | 17 Steuergerät    |
| 2 Absperrventil         | 10 Luftmassenmesser    | 18 Diagnosetester |
| 3 Tankentlüftungsventil | 11 EDK (Drosselklappe) | 19 Diagnoselampe  |
| 4 Saugrohrdrucksensor   | 12 AGR-Ventil          | 20 EWS            |
| 5 Einspritzventil       | 13 Klopfsensor         | 21 Drucksensor    |
| 6 Zündspule             | 14 Drehzahlsensor      | 22 Tankmodul      |
| 7 NW-Sensor             | 15 Temperaturfühler    | 23 Fahrpedal      |
| 8 SLS-Pumpe             | 16 Lambdasonde         | 24 Batterie       |



## 7.1 Einige technische Daten zum N52, N53 und N54 Motor

### 7.1.1 N52 B30 Kurzbeschreibung

6-Zylinder Saugmotor, Magnesium-Aluminium-Verbund-Kurbelgehäuse mit Bedplate, keine separaten Zylinderbuchsen, vollvariabler Ventiltrieb Valvetronic 2, Doppel-VANOS, Saugrohreinspritzung, Lambda 1-Betrieb, Kennfeldzündung mit Klopfregelung, 3-stufige Sauganlage (DISA) für hohes Drehmoment, elektrische Kühlmittelpumpe, Kennfeldthermostat, volumenstromgeregelte Ölpumpe.

Hubraum: 2996 cm<sup>3</sup>

Kolbenbodenfläche: 56,7 cm<sup>2</sup>

Drehmoment: 300 Nm bei 2500 bis 4000 U/min.

Leerlaufdrehzahl: 640 U/min.

Verdichtungsverhältnis: 10,7 : 1

Bohrung: 85 mm      Hub: 88 mm

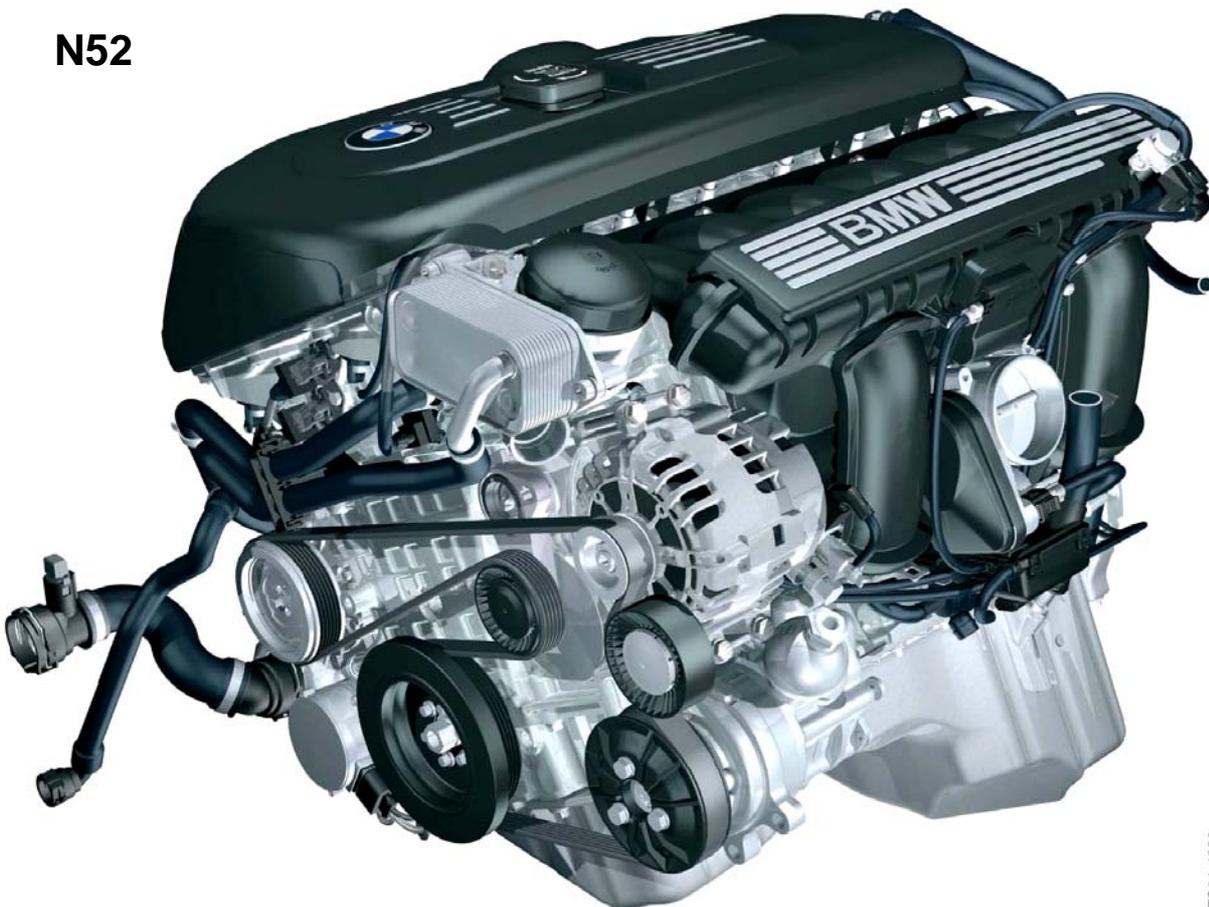
Nennleistung: 190 kW / 258 PS bei 6600 U/min.

Höchst-drehzahl: 7000 U/min.

Kraftstoffauslegung: auf 98 ROZ (Superplus)

Betrieb möglich ab 91 ROZ (Normalbenzin)

**N52**



T004-4998



Drehmoment und Leistung N52 B30 (Stand Serienanlauf Juli 2004)





## 7.1.2 N53 B30 Kurzbeschreibung

6-Zylinder Saugmotor, Magnesium-Aluminium-Verbund-Kurbelgehäuse mit Bedplate, keine separaten Zylinderbuchsen, Doppel-VANOS, keine Valvetronic, sondern Laststeuerung über elektrische Drosselklappe, DISA, HPI-Direkteinspritzung mit Schichtladung und Magerbetrieb, bzw. mit Lambda 1-Betrieb, Kennfeldzündung mit Klopfregelung, Abgasrückführung, elektrische Kühlmittelpumpe, Kennfeldthermostat, volumenstromgeregelte Ölpumpe mit elektrisch betätigtem Steller.

Hubraum: 2996 cm<sup>3</sup>

Kolbenbodenfläche: 56,7 cm<sup>2</sup>

Drehmoment: 320 Nm bei 2750 U/min.

Leerlaufdrehzahl: 640 U/min.

Verdichtungsverhältnis: 12,0 : 1

Bohrung: 85 mm      Hub: 88 mm

Nennleistung: 200 kW / 272 PS bei 6700 U/min.

Höchstdrehzahl: 7000 U/min.

Kraftstoffauslegung: auf 98 ROZ (Superplus)

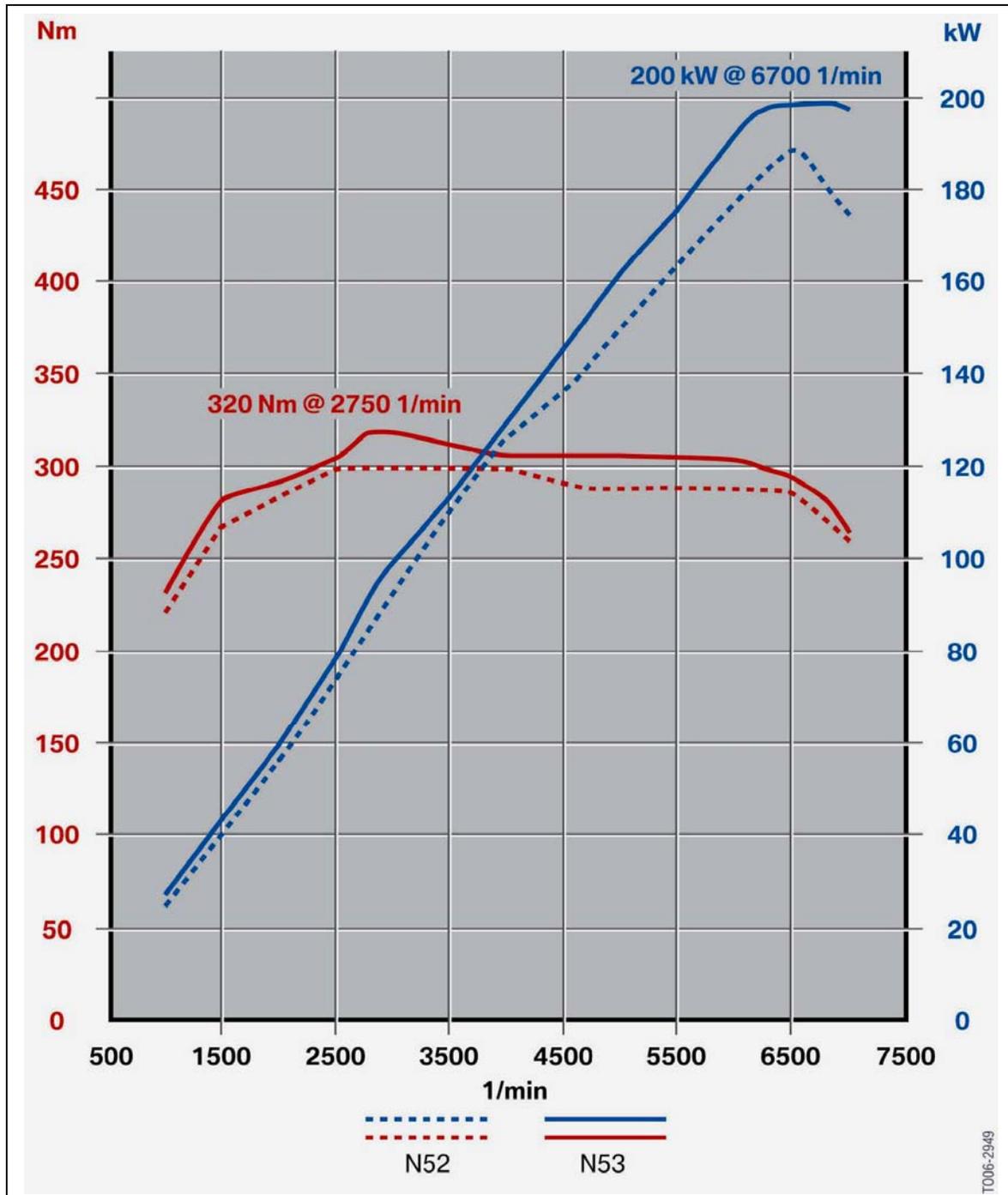
Betrieb möglich ab 91 ROZ (Normalbenzin)

**N53**





Vergleich Drehmoment und Leistung N52 zu N53 (Stand Serienanlauf Steyr, Februar 2007)





## 7.1.3 N54 B30 Kurzbeschreibung

6-Zylinder Turbomotor mit 2 Turboladern (Bi-Turbo) und Ladeluftkühler, Voll-Alu-Kurbelgehäuse mit eingegossenen Grauguß-Zylinderbuchsen und Bedplate, keine Valvetronic, sondern herkömmliche Laststeuerung über Drosselklappe, Doppel-VANOS, Benzin-Direkteinspritzung HPI mit Piezo-Injektoren, Lambda 1-Betrieb, Kennfeldzündung mit Klopfregelung, Ladedruckregelung, elektrische Wasserpumpe, Kennfeldthermostat, volumenstromgeregelte Ölpumpe, eigener Motorölkühler, Einriementrieb, alle Anbauteile auf der „kalten“ Seite.

Hubraum: 2979 cm<sup>3</sup>

Bohrung: 84 mm

Hub: 89,6 mm (der Hub wurde gegenüber dem N52 um 1,6 mm vergrößert, die Bohrung um 1 mm verkleinert)

Kolbenbodenfläche: 55,4 cm<sup>2</sup>

Drehmoment: 400 Nm bei 1300 bis 5000 U/min.

Leerlaufdrehzahl: 640 U/min.

Nennleistung: 225 kW / 306 PS bei 5800 U/min.

Höchstdrehzahl: 7000 U/min.

Verdichtungsverhältnis: 10,2 : 1

Kraftstoffauslegung: auf 98 ROZ (Superplus)  
Betrieb möglich ab 95 ROZ (Eurosuper)

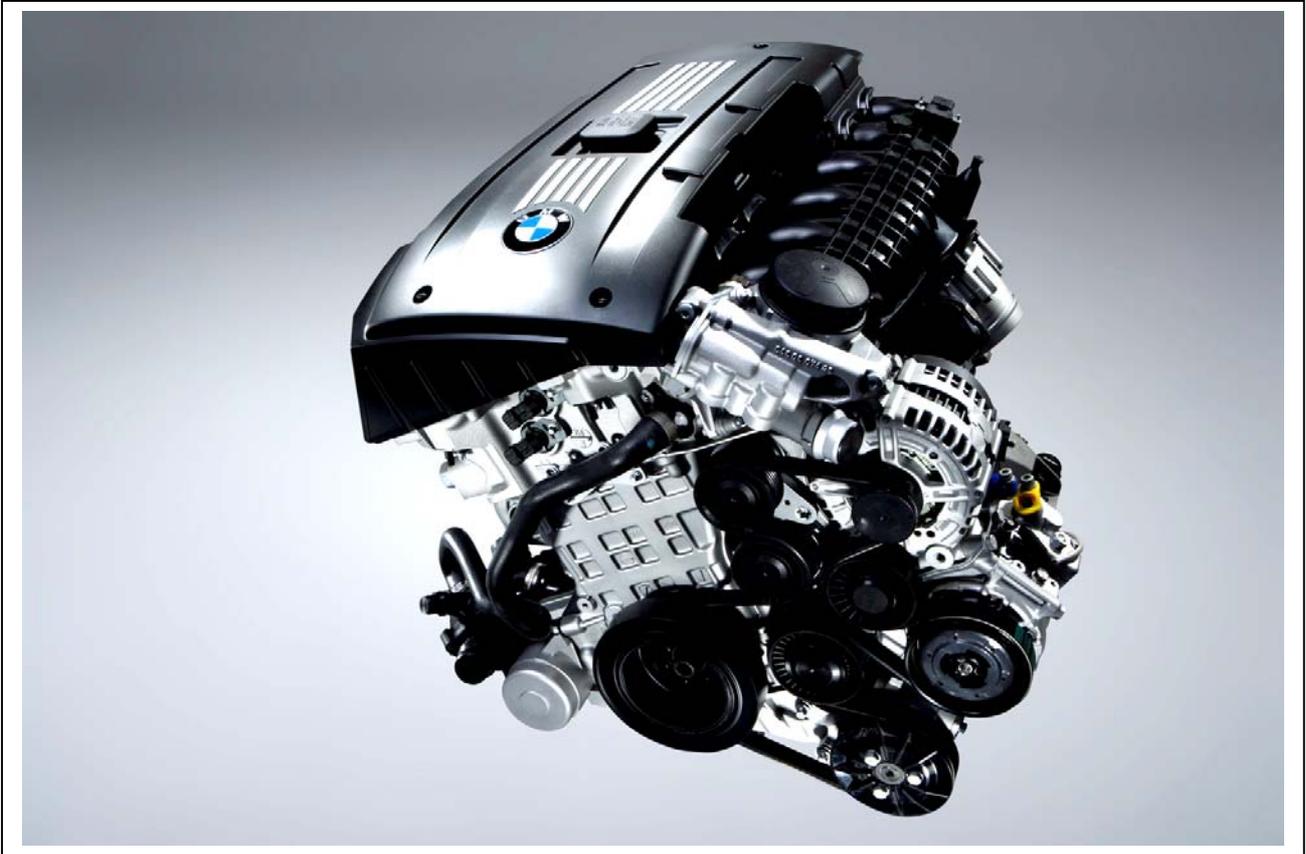
## N54



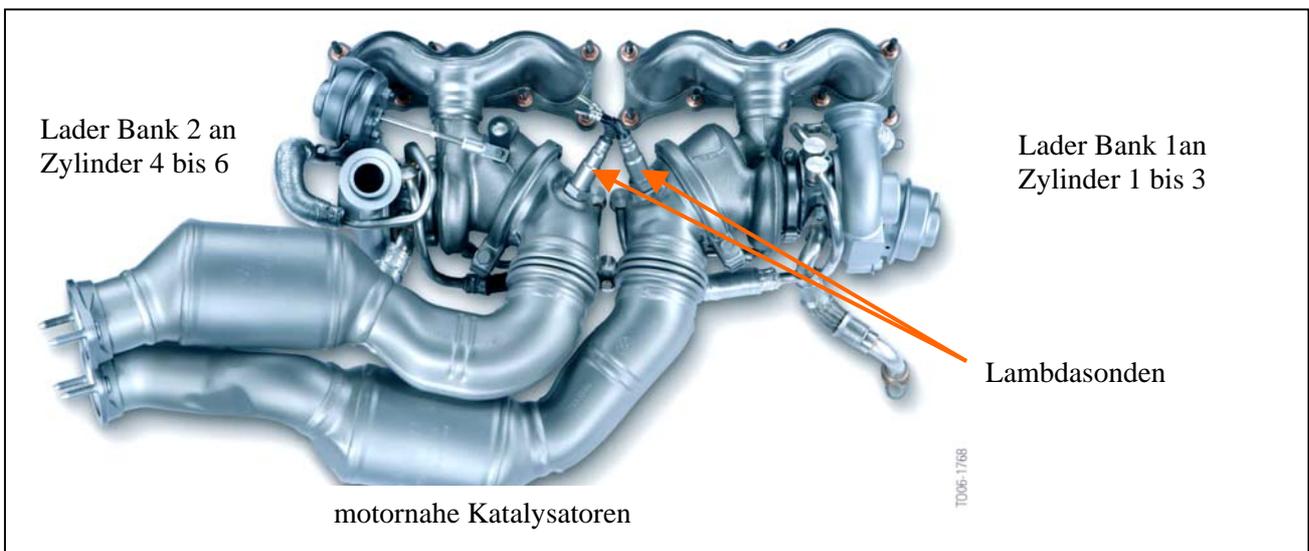
TO06-1777



Ansicht N54 Motor von vorne

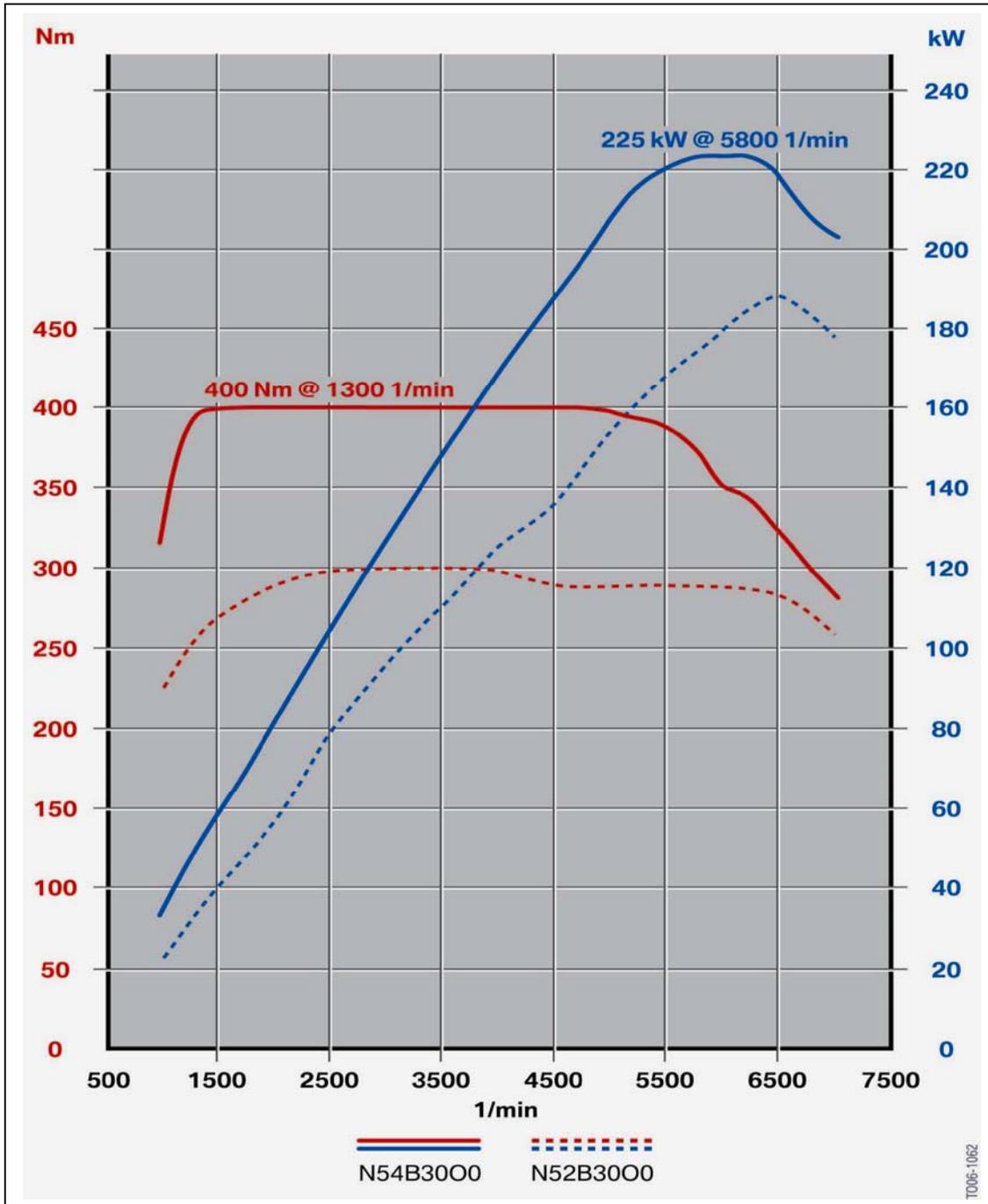


Ansicht auf die beiden gegenläufig angeordneten Turbolader. Jeweils 3 Zylinder versorgen einen Lader mit Abgas. Unmittelbar nach den Ladern sind die Lambdasonden und die beiden motornahen Katalysatoren angeordnet.





Vergleich Drehmoment und Leistung N52 Saugmotor – N54 Bi-Turbomotor (Stand Serienanlauf N54 in 2006)



Der N54 Motor zeichnet sich durch das perfekte Zusammenspiel von HPI und Aufladung mit einem üppigen, dieselähnlichen Drehmoment aus, das über einen weiten Drehzahlbereich zur Verfügung steht.

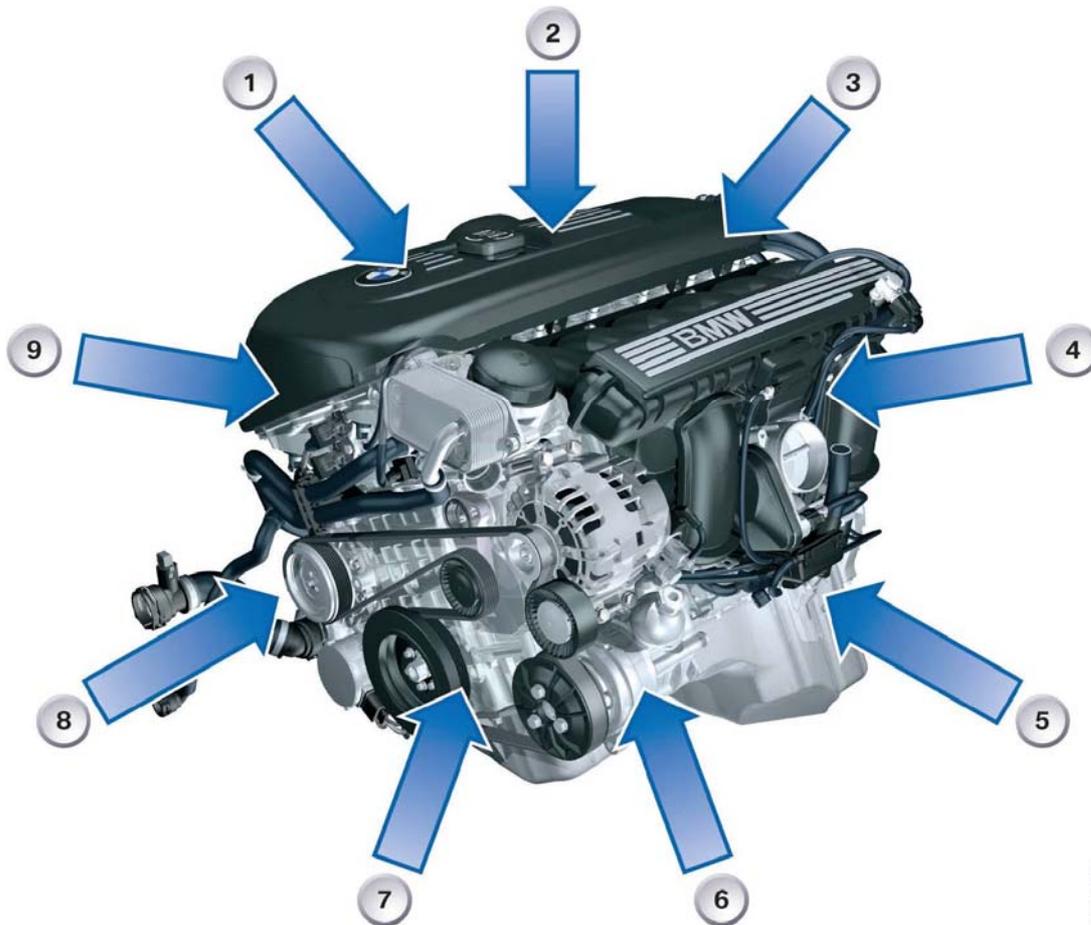


## 7.2 Die Innovationsfelder der NG 6-Motoren am Beispiel N52

Es standen 4 Hauptziele für den Kundennutzen im Vordergrund:

- Leistung und Drehmoment steigern
- Kraftstoffverbrauch senken
- Abgasemission senken
- Hohe Dynamik und ausgeprägten Fahrspaß vermitteln

Die Umsetzung dieser teilweise gegenläufigen Ziele ist durch eine ganze Reihe von technisch sehr anspruchsvollen Innovationen gelungen. Die wichtigsten sind hier angeführt und auf einige davon werden wir im Kurs eingehen.



TO04-5000

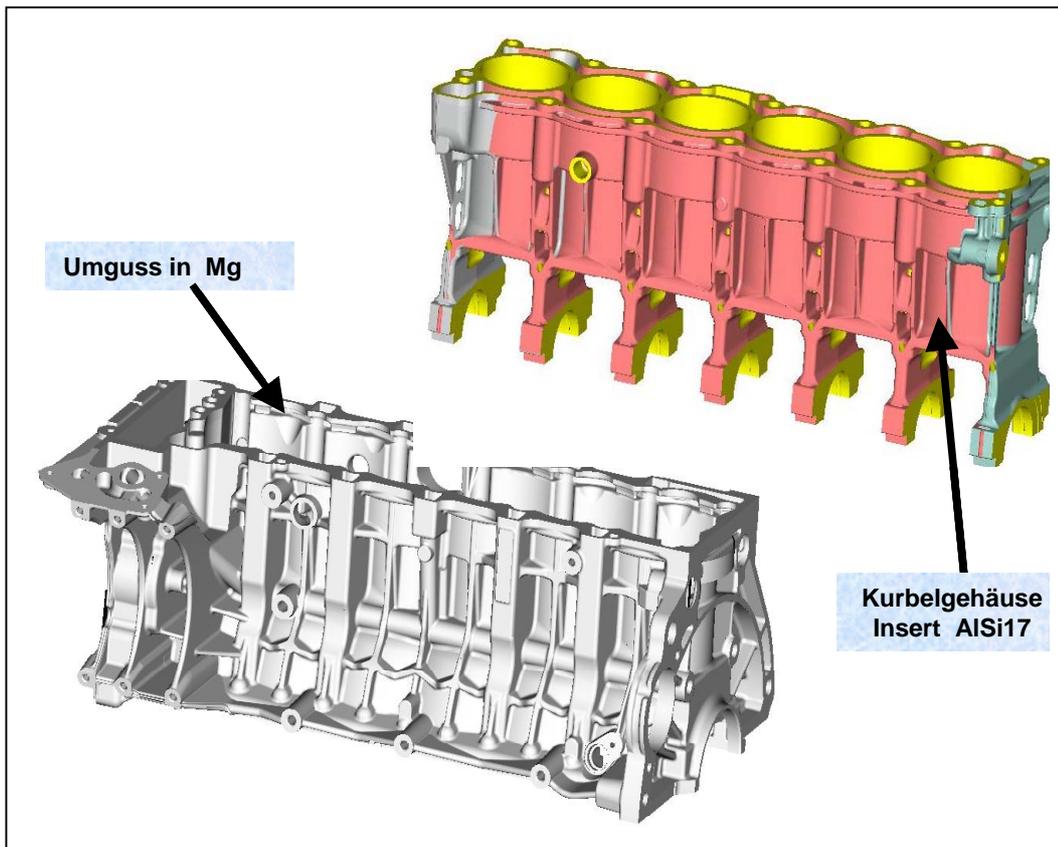
- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1 Valvetronic 2                        | 6 Grundmotor reibungsreduziert |
| 2 Integrierter Öl-/Wasserwärmetauscher | 7 Einriementrieb               |
| 3 Magnesium-Verbundkurbelgehäuse       | 8 Elektrische Kühlmittelpumpe  |
| 4 Dreistufige Sauganlage               | 9 Gewichtsoptimierte VANOS     |
| 5 Volumenstromgeregelte Ölpumpe        |                                |



## Magnesium-Alu-Verbundkurbelgehäuse (nur N52 und N53 Motoren)

Der Einsatz von Magnesium führt zu einer Gewichtseinsparung von ca. 10 kg allein am Kurbelgehäuse gegenüber der bisherigen Alu-Legierung vom früheren M54 (Serienauslauf 2006). Daneben ist Magnesium sehr gut gießbar und leicht zu bearbeiten. Magnesium eignet sich aber nicht für Zylinderlaufbahnen und neigt bei ungünstigen Bedingungen zu Korrosion.

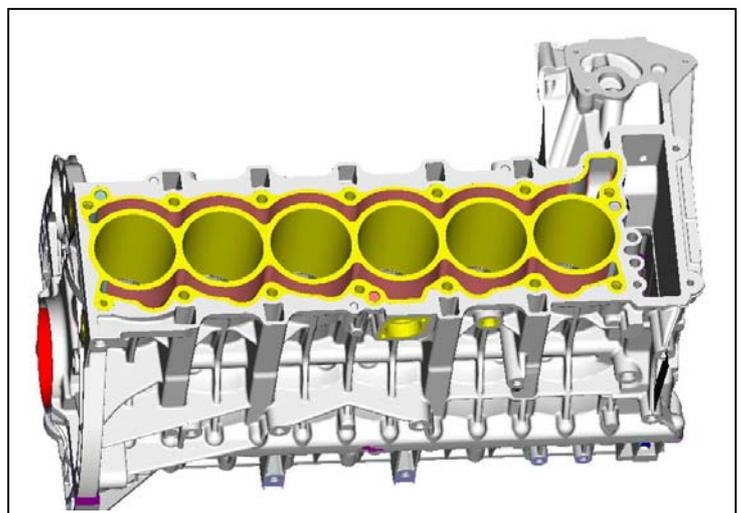
Daher wird ein Alu-Silizium-Insert verwendet, das die Zylinderbuchsen, die Kühlmittelkanäle und die Verschraubungen von Zylinderkopf, Kurbelwellenlagerung und Getriebebefestigung aufnimmt. Das Insert ist von der Mg-Legierung untrennbar umgossen.



Im Bild rechts sieht man rotbraun eingefärbt die Kühlmittelkanäle im Alu-Insert.

Das Insert ist so gestaltet, dass das Kühlmittel nicht mit dem Magnesium in Berührung kommt.

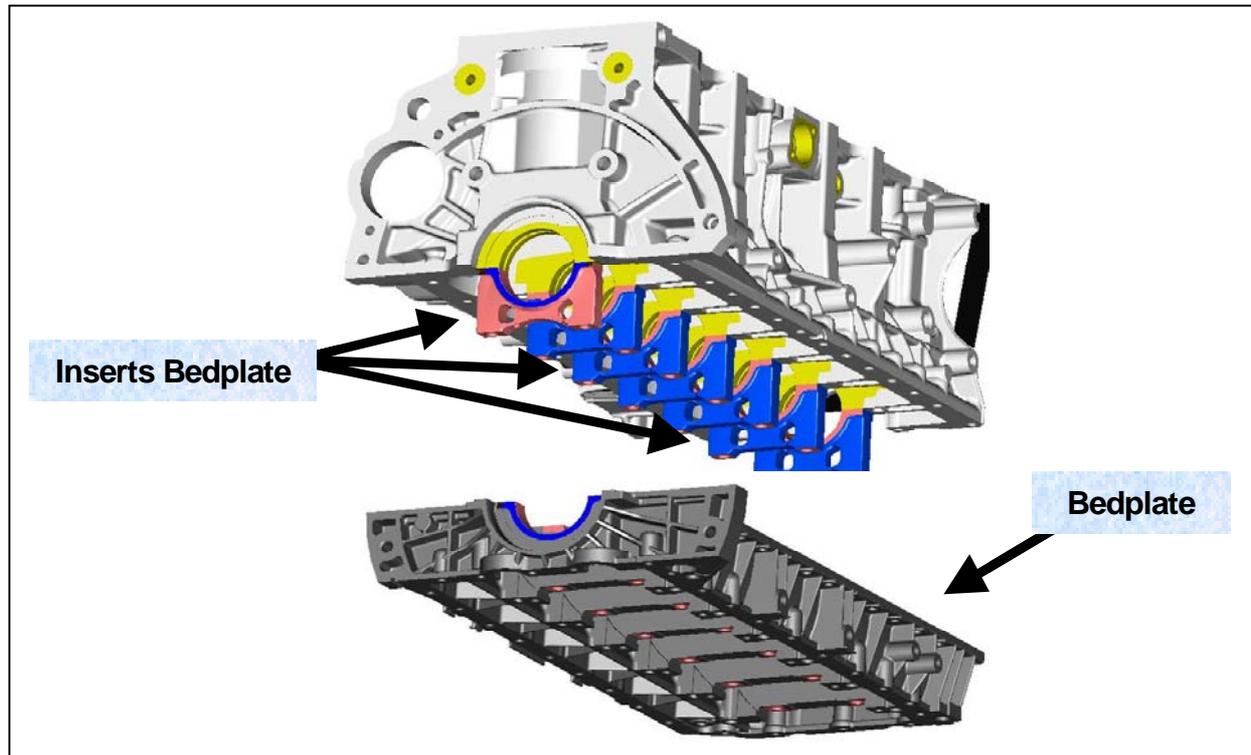
Magnesium wird auch für das Bedplate (Unterteil des 2-teiligen Kurbelgehäuses) und die Zylinderkopfhaube verwendet.





## Kurbelgehäuse und Bedplate

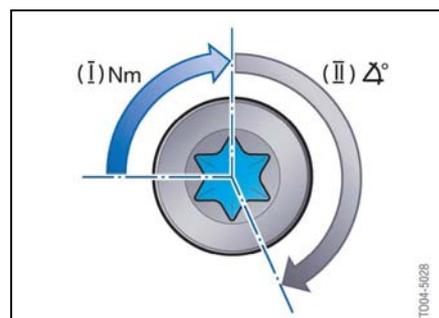
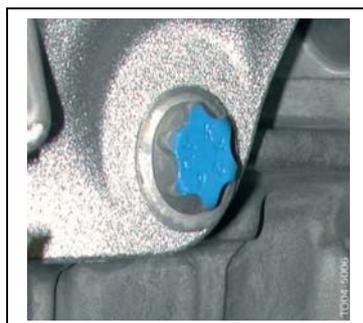
Das Bedplate (Kurbelgehäuseunterteil) bildet den Abschluss des Kurbelgehäuses und trägt die unteren Kurbelwellen-Hauptlager. Für die Hauptlagerstühle werden in das Bedplate Inserts aus Sinterstahl eingegossen. Die Abdichtung zwischen Kurbelgehäuse und Bedplate erfolgt mit flüssigem Dichtmittel, das seitlich in einen umlaufenden Kanal eingebracht wird.



## Verschraubungen am Kurbelgehäuse

Für die Anbauteile, die direkt am Magnesiumteil des Kurbelgehäuses verwendet werden, dürfen wegen der Korrosionsgefahr und wegen der unterschiedlichen Wärmedehnung keine Stahlschrauben verwendet werden.

Es kommen Schrauben aus einer Alu-Legierung zum Einsatz. Zur eindeutigen Unterscheidung mit den Stahlschrauben sind die Schraubenköpfe blau eingefärbt. Der Schraubanzug erfolgt mit Drehmoment und Drehwinkel. **Die Alu-Schrauben sind nur einmal verwendbar.**



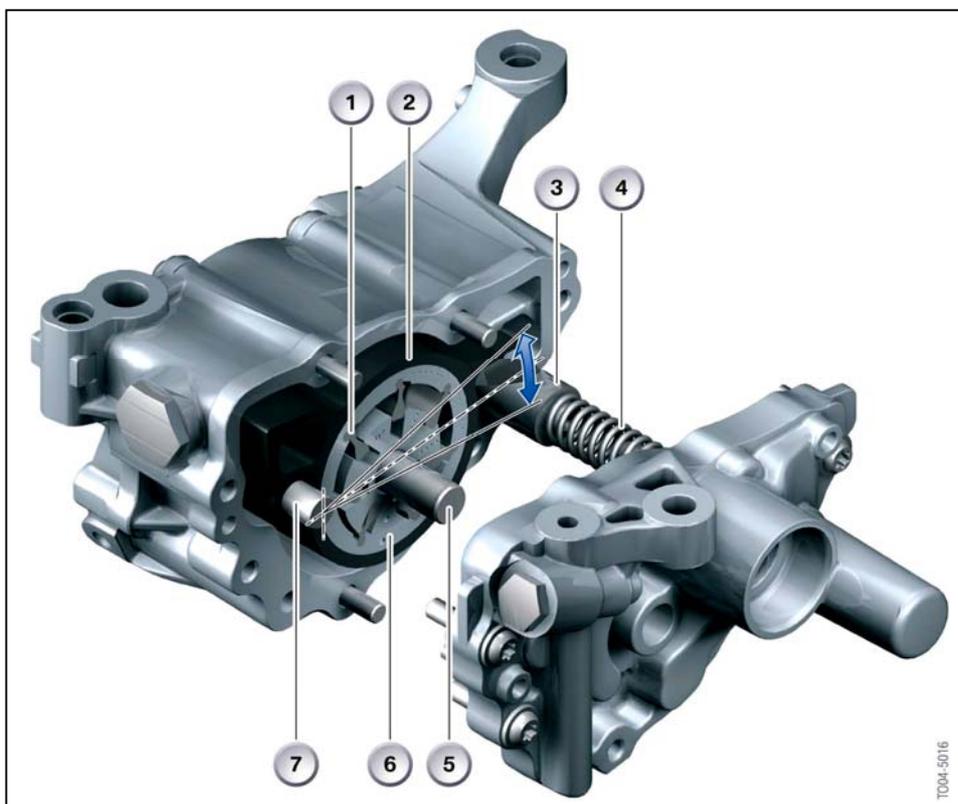


## 7.3 Ölpumpe volumenstromgeregelt

Einfache, herkömmliche Ölpumpen fördern bei den meisten Betriebszuständen ein sattes Überangebot an Schmieröl und haben daher eine unnötig hohe Leistungsaufnahme, die den Wirkungsgrad des Motors senkt und den Kraftstoffverbrauch erhöht. Außerdem wird durch die Förderung und die darauffolgende Absteuerung das Motoröl unnötig erwärmt.

Die neue Pendelschieber-Ölpumpe liefert das Schmieröl von der Menge her bedarfsgerecht in den Ölkreislauf. Dadurch wird einerseits die Leistungsaufnahme und der Kraftstoffverbrauch reduziert, andererseits auch im Leerlauf eine hohe Ölmenge (wichtig besonders für die Doppel-VANOS) bereitgestellt.

Die Funktion der Pumpe schauen wir uns am Modell an.



- 1 Flügel
- 2 Pendelschieber
- 3 Regelkolben Pendelstütze
- 4 Druckfeder
- 5 Pumpenwelle
- 6 Pumpenrotor
- 7 Drehachse des Pendelschiebers

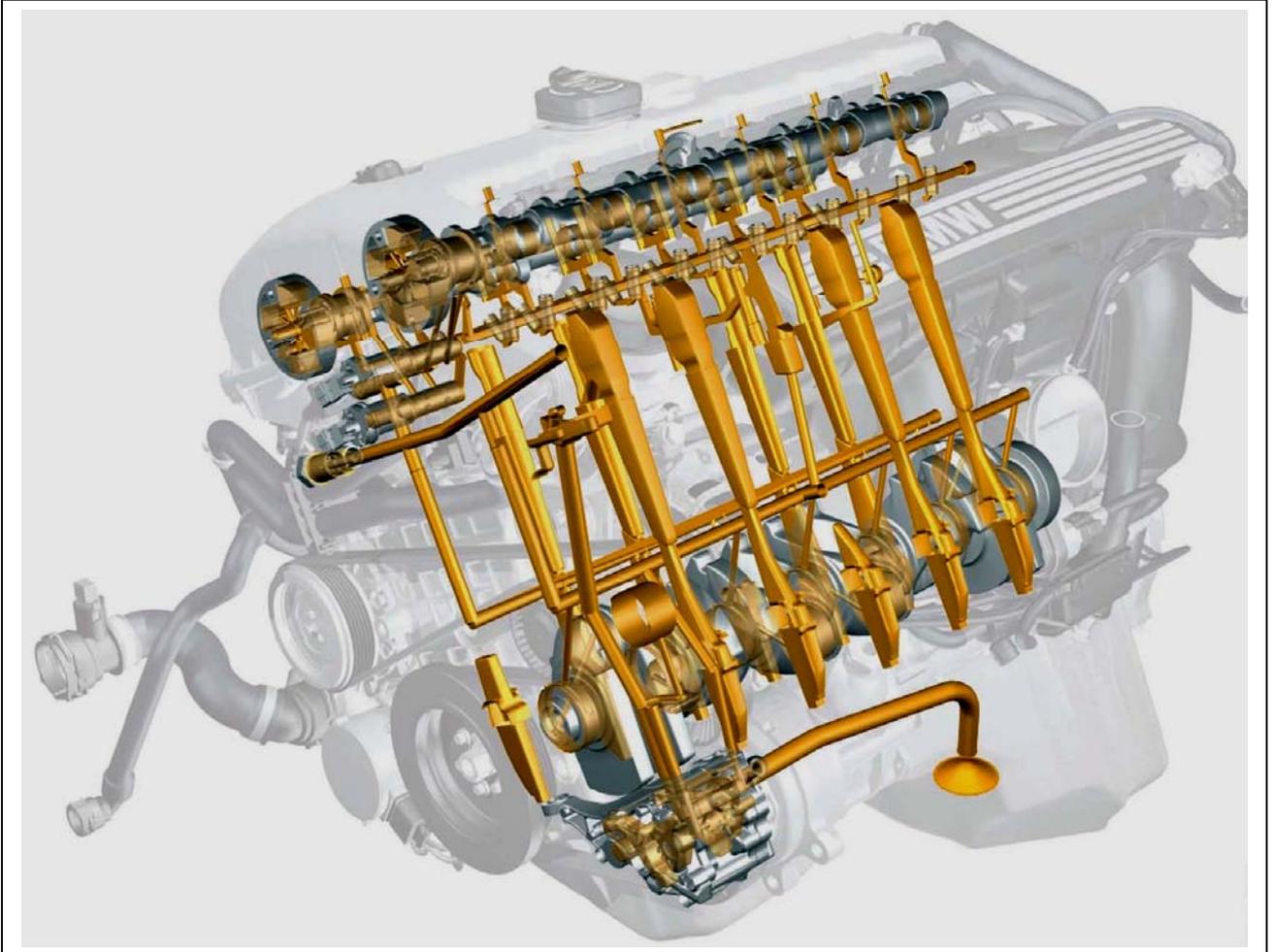
**Hinweis:** beim N53 erfolgt die Betätigung des Regelkolbens nicht mehr direkt nur allein durch den Öldruck der Pumpe, sondern mit Unterstützung durch einen elektrischen Steller, der vom Motorsteuergerät angesteuert wird.

### Vorteile:

- Geringe Antriebsleistung und niedrigerer Kraftstoffverbrauch
- Bedarfsorientierte Ölförderung und hohe Regeldynamik, keine Druckspitzen beim Kaltstart
- Geringstmögliche Ölverschäumung
- Kein zusätzlicher Wärmeeintrag in das Öl durch hydraulische Effekte, daher Reduzierung der Ölalterung



## Ölkreislauf N52 Motor



Die Öldruck- und Ölrücklaufkanäle sind gelb-orange eingezeichnet. Nicht zu sehen ist auf dem Schema der Ölfilter und der Öl-Wasser-Wärmetauscher (ÖWWT).

Besonders anspruchsvoll ist die Ölversorgung im Zylinderkopf für den Betrieb der Doppel-VANOS, für die HVA-Elemente und für die perfekte Schmierung des Ventiltriebs. Außerdem ist der Kettenspanner mit Öl zu versorgen. Die Kühlung der Kolben erfolgt von der Kurbelgehäuseseite her durch Ölspritzdüsen. Auch dafür muss entsprechend Öl bereitgestellt werden.

Für die beiden VANOS-Steller ist der richtige Öldruck und die richtige Ölmenge eine wesentliche Voraussetzung für die einwandfreie Funktion. Sie arbeiten ohne jede mechanische Unterstützung oder Übersetzung nur durch Variation des Öldrucks in den Zellen der Verstelleinheiten.



## 7.4 Elektrische Kühlmittelpumpe

Die elektrische Kühlmittelpumpe liefert im Zuge der Wärmemanagements die bedarfsgerechte Kühlmittelmenge. Dabei arbeitet sie mit dem DME-Steuergerät und dem kennfeldgesteuerten Thermostat zusammen.

Die Pumpe kann beim Kaltstart abgeschaltet werden und ermöglicht damit ein sehr schnelles Erreichen der Betriebstemperatur.

Während der Fahrt sind beim N52 Motor folgende 4 unterschiedliche Temperaturbereiche möglich:

- ECO-Betrieb mit ca. 112° C (Teillast, geringer Kraftstoffverbrauch durch die höhere Temperatur)
- Normalbetrieb mit 105° C
- High-Betrieb mit 95° C (Betrieb im oberen Drehzahl- und Lastbereich)
- High-Betrieb mit 80° C, Kennfeldthermostat voll bestromt (hoher Volllastanteil)

Nach dem Abstellen des Motors kann die Pumpe weiterlaufen und die Wärme aus dem heißen Motor, bzw. auch aus den Turboladern beim N54 abführen. Die beiden Turbolader sind am Kühlmittelkreislauf des Motors angeschlossen.

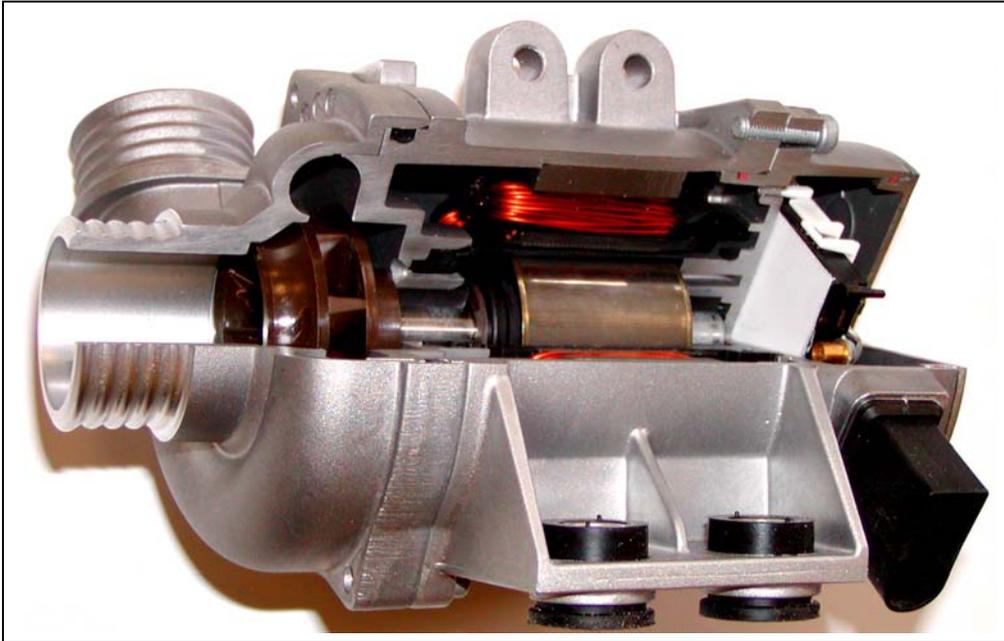


Der Elektromotor der Pumpe wird vom Kühlmittel durchströmt, dadurch gekühlt und geschmiert. Ein Trockenlauf würde die Pumpe sehr schnell zerstören. Daher ist bei der Befüllung des Kühlsystems ein Entlüftungsvorgang erforderlich, damit keine Luft im System zurückbleibt.

**Die Pumpe ist auf einen Kühlmitteldurchsatz von 7.000 Liter/Stunde beim N52 und auf 9000 Liter/Stunde beim N54 ausgelegt.**



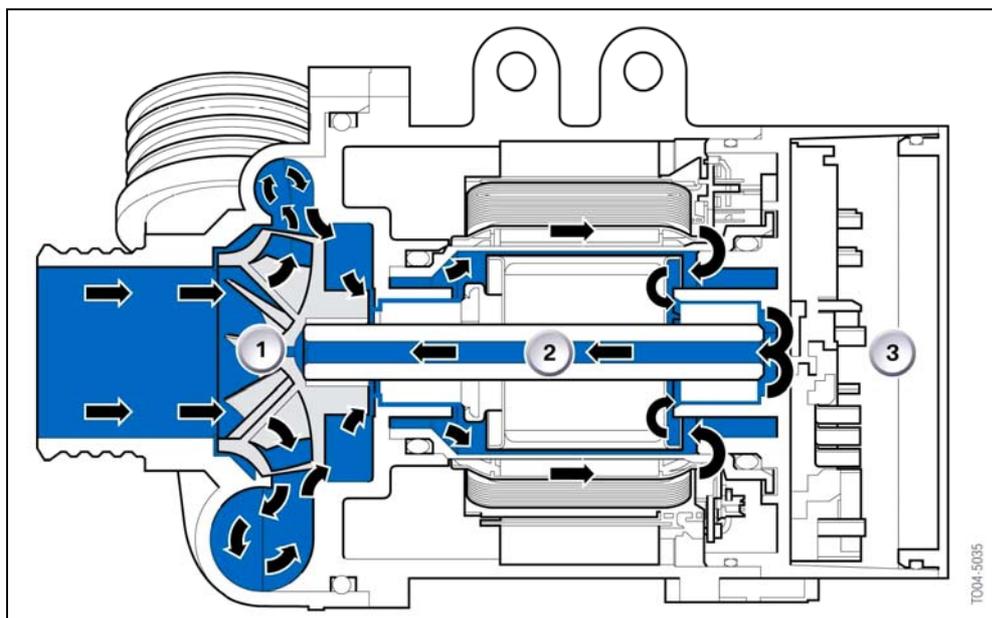
**Schnittmodell Kühlmittelpumpe N52 Motor** (die des N54 Motors unterscheidet sich geringfügig im Aufbau)



Der Elektromotor ist ein bürstenloser Gleichstrommotor mit einem 4-poligen Permanentmagnetrotor. Im Bild sieht man oben eine der 6 Spulen des Stators. Rechts befindet sich der Anschlussstecker und die Steuerelektronik.

Die Pumpe läuft mit 12 Volt-Bordnetzspannung und hat eine Leistungsaufnahme von 200 Watt beim N52 und ca. 400 W beim N54. Damit liegt sie weit unterhalb der Leistungsaufnahme einer herkömmlichen Kühlmittelpumpe und bringt neben den bereits erwähnten speziellen Eigenschaften auch einen Beitrag zur Kraftstoffeinsparung.

### Kühlmittelströmung in der Pumpe



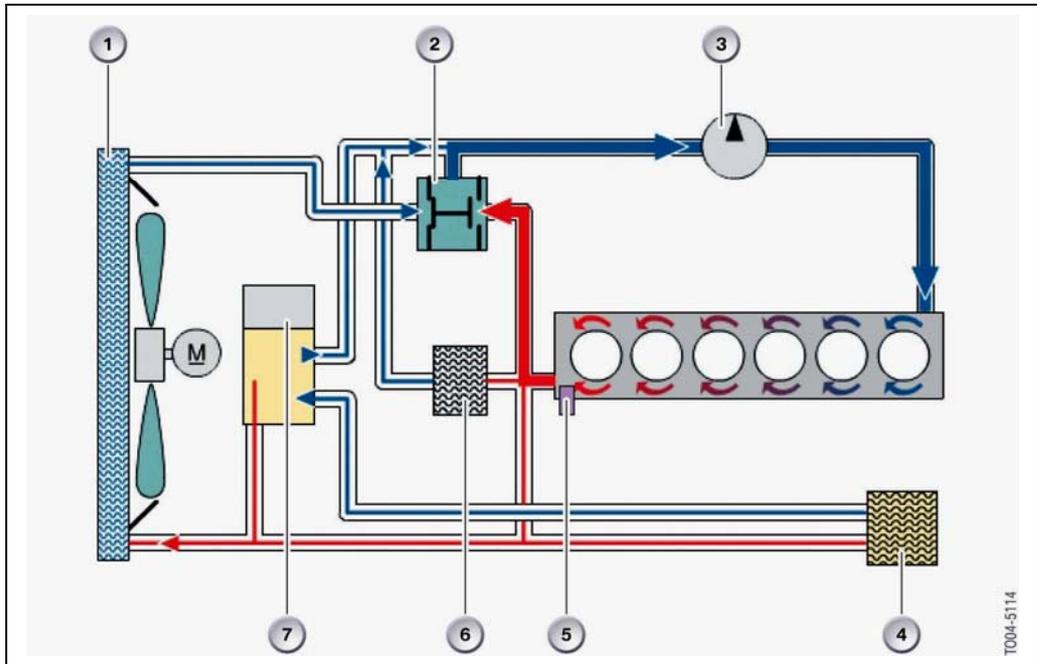
- 1 Laufrad
- 2 Elektromotor
- 3 Elektronikteil



## Vergleich Kühlmittelkreislauf herkömmlich und mit elektrischer Kühlmittelpumpe

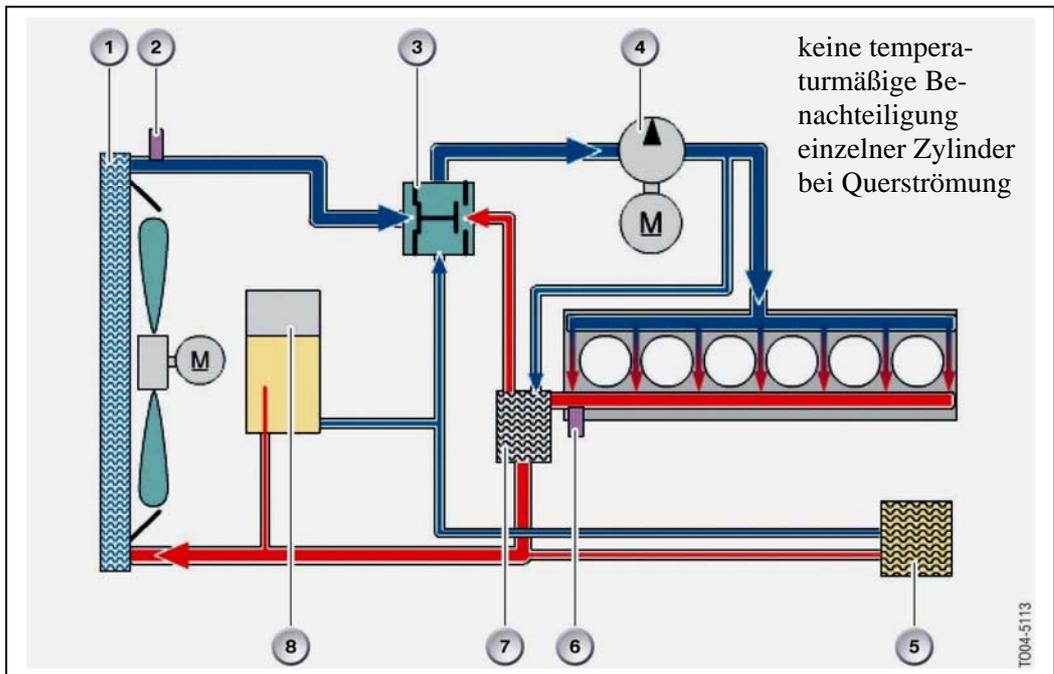
Herkömmliche Technik mit Längsdurchströmung des Motors und Kühlmittelpumpe mit Riemenantrieb

- 1 Kühler
- 2 Kennfeldthermostat
- 3 riemengetriebene Kühlmittelpumpe
- 4 Wärmetauscher für Heizung
- 5 Temperaturfühler Ausgang ZK
- 6 Öl-Wasserwärmetauscher
- 7 Ausdehnungsgefäß



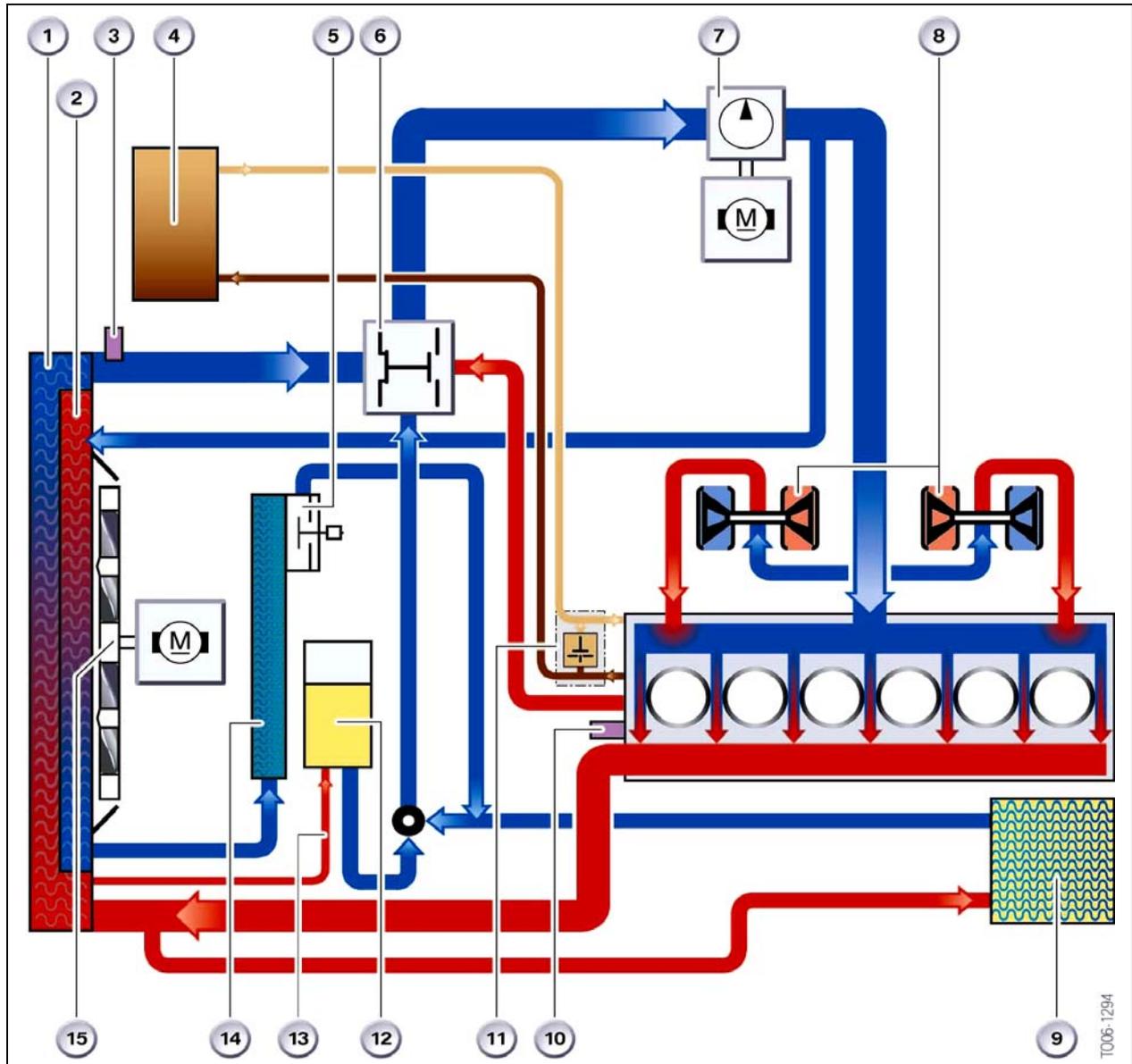
Mit elektrischer Kühlmittelpumpe und Querströmung im Kurbelgehäuse beim N52 Motor

- 1 Kühler
- 2 Temperaturfühler Ausgang Kühler
- 3 Kennfeldthermostat
- 4 elektrische Kühlmittelpumpe
- 5 Wärmetauscher für Heizung
- 6 Temperaturfühler Ausgang ZK
- 7 Öl-Wasserwärmetauscher
- 8 Ausgleichsbehälter





Das Kühlsystem des N54 Motors mit Kühlmittelanschluss der beiden Turbolader und motorfernem Ölkühler



- |   |   |
|---|---|
| 1 Motorkühler (Wärmetauscher Kühlmittel/Luft)             | 9 Wärmetauscher Fahrzeugheizung             |
| 2 Getriebekühler (Wärmetauscher Kühlmittel/Luft)          | 10 Temperaturfühler Kühlmittel im Motor     |
| 3 Temperaturfühler am Kühler Ausgang                      | 11 Thermostat Motorölkühler                 |
| 4 Motorölkühler (Wärmetauscher Motoröl/Luft)              | 12 Ausgleichbehälter Motorkühlmittel        |
| 5 Thermostat Getriebeöl-Kühler                            | 13 Motorkühler-Entlüftungsleitung           |
| 6 elektrisch beheizter Kennfeldthermostat Motorkühlmittel | 14 Getriebeölkühler (Kühlmittel/Getriebeöl) |
| 7 Elektrische Kühlmittelpumpe                             | 15 Elektrolüfter                            |

Die Kühlleistung der Anlage wird vom Motorsteuergerät durch eine entsprechende Ansteuerung von elektrischer Kühlmittelpumpe, Kennfeldthermostat und Elektrolüfter exakt bedarfsgerecht eingestellt. Auch das ist ein wichtiger Schritt in Richtung Kraftstoffeinsparung.



## 7.5 DISA und Doppel-VANOS

### Funktion DISA allgemein

- DISA = Differenzierte Sauganlage. Durch eine Umschaltklappe in der Sauganlage werden die Saugrohrlängen stufenweise verstellbar gemacht. **Die DISA gibt es nur bei Saugmotoren.** Also nicht beim N54 Motor.
- Ein langes Saugrohr ergibt durch einen „Aufladeeffekt“ ein hohes Drehmoment im unteren Drehzahlbereich, aber Leistungseinbußen im oberen Drehzahlbereich.
- Umgekehrt ergibt ein kurzes Saugrohr eine hohe Motorleistung, aber ein geringeres Drehmoment im unteren Drehzahlbereich.
- Zweistufige DISA des M54 Motor: Mit einem Schaltsaugrohr fährt man bis zu einem festgelegten Drehzahlbereich mit dem langen Saugrohr in der „Drehmomentstellung“ und schaltet dann per unterdruckbetätigter Klappe auf das kurze Saugrohr in die „Leistungsstellung“ um. Der M54 ist 2006 ausgelaufen.
- **Dreistufige DISA (Resonanzsauganlage) N52 Motor:** Mit einer 2. Klappe wird das Drehmoment im großen Drehzahlbereich des Motors bis 7.000 U/min. höher und im Vergleich zum M54 gleichmäßiger. Beide Klappen werden per Elektromotor verstellt. Es gibt nur die Stellungen offen und geschlossen.

### Vorteile der DISA

- Sehr einfache Konstruktion mit 1 oder 2 Umschaltklappen
- Sowohl ein hohes Drehmoment im unteren Drehzahlbereich, als auch eine hohe Motorleistung
- Daher ein sehr breites, nutzbares Drehzahlband
- Kraftstoffeinsparung und weniger Abgasemissionen

Einfaches Schema einer DISA von einem 4-Zyl. Motor als Beispiel

kurzes Saugrohr „Leistung“

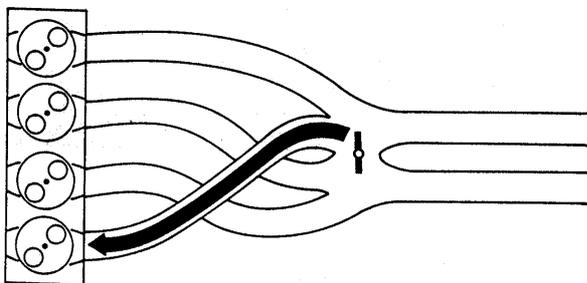


Abb. 26:  
DISA bei geöffneter Verbindungsklappe

langes Saugrohr „Drehmoment“

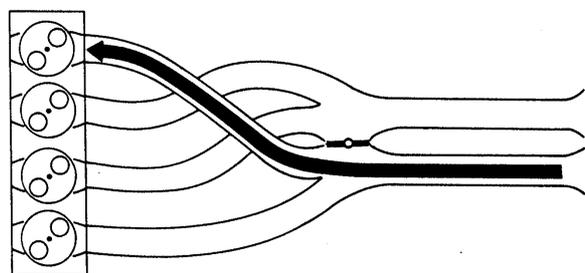
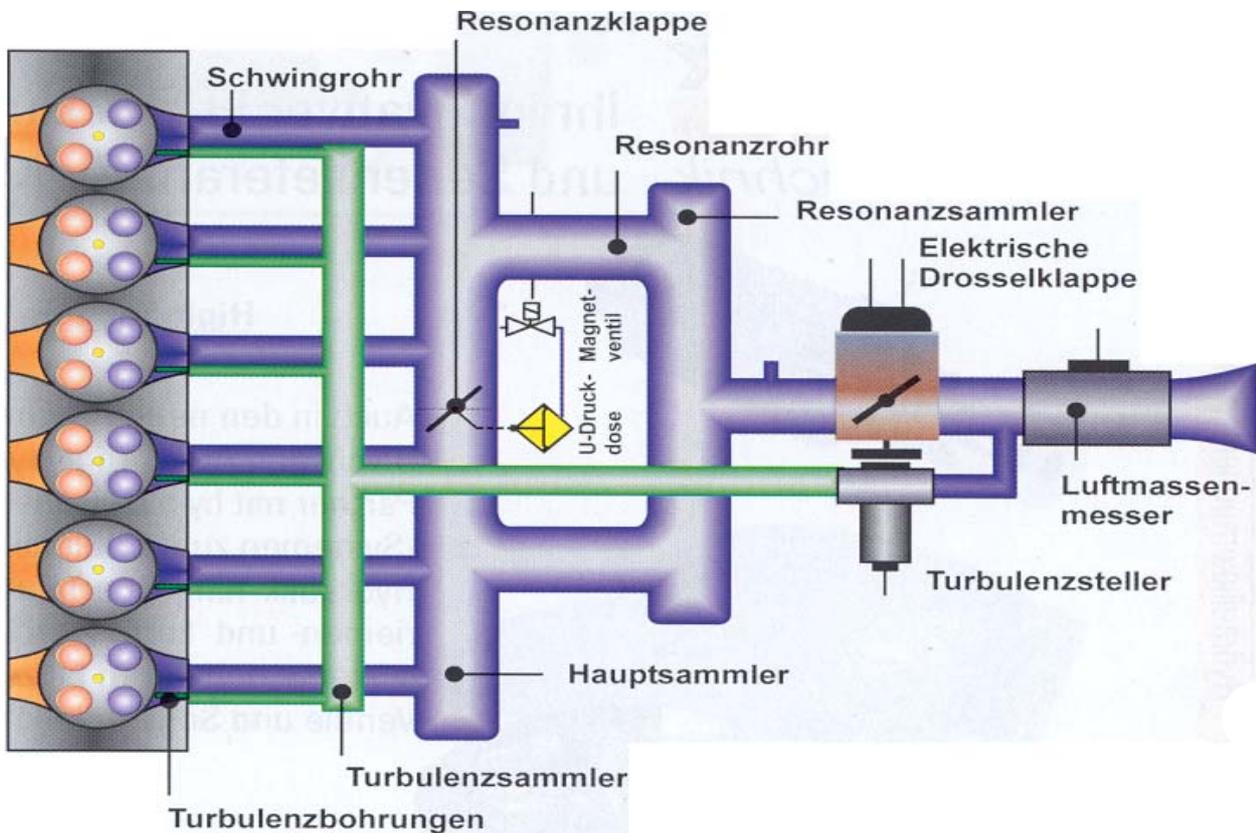


Abb. 25:  
DISA bei geschlossener Verbindungsklappe



Funktionsschema der DISA vom M54 als Überleitung zur 3-stufigen Resonanzsauganlage des N52-Motors



**Resonanzklappe geschlossen:** lange Saugrohre für hohes Drehmoment im unteren Drehzahlbereich.

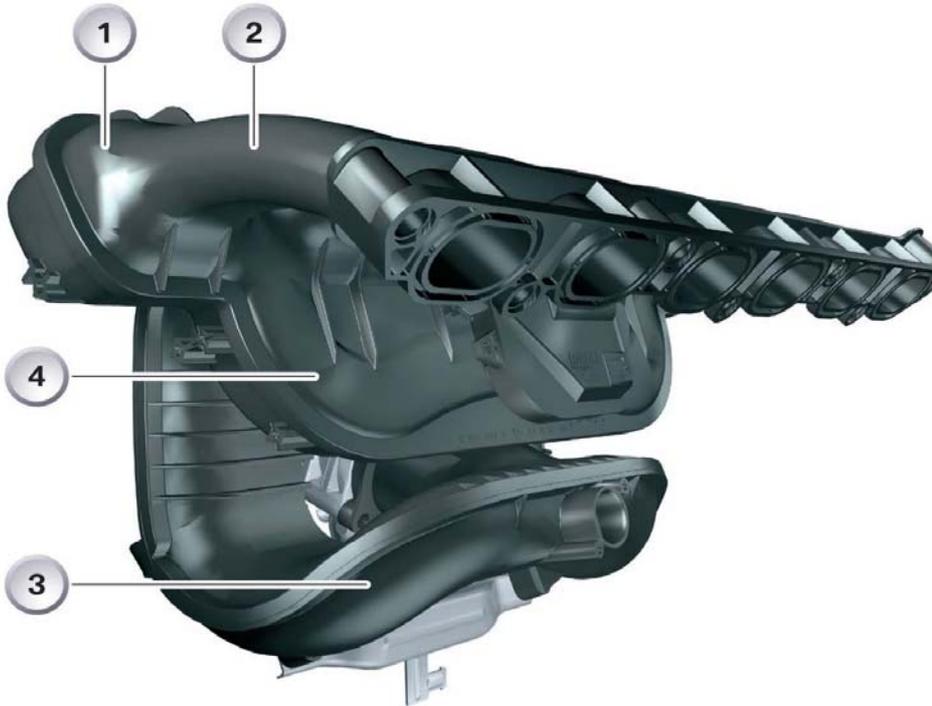
**Resonanzklappe offen:** kurze Saugrohre für hohes Drehmoment (Leistung) im oberen Drehzahlbereich.

Auf dem Bild ist auch die Funktion des Turbulenzstellers vom M54 erkennbar. Der Turbulenzsteller ist ein elektromagnetisch betätigter Drehschieber. Es wird Ansaugluft genau dosiert über den Turbulenzsteller mit hoher Geschwindigkeit direkt an den Einspritzventilen zugeführt. Das verbessert die Zerstäubung des Kraftstoffs und die Gemischbildung.

Der Turbulenzsteller ist auch noch für die Zuteilung der Ansaugluft für den Leerlauf zuständig.



## Resonanzsauganlage 3-stufig N52 Motor



- 1 Sammler
- 2 Schwingrohre
- 3 Resonanzrohr
- 4 Übersprechrohr

T004-5072



DISA-Steller 1 am Schwingrohr

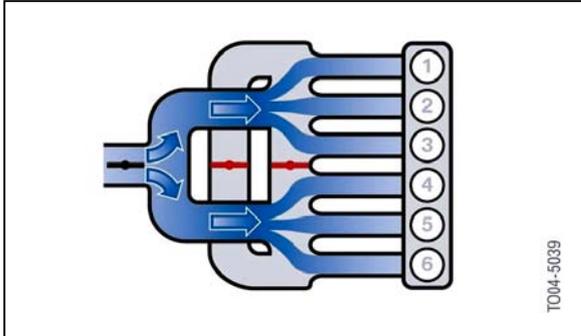


DISA-Steller 2 am Übersprechrohr

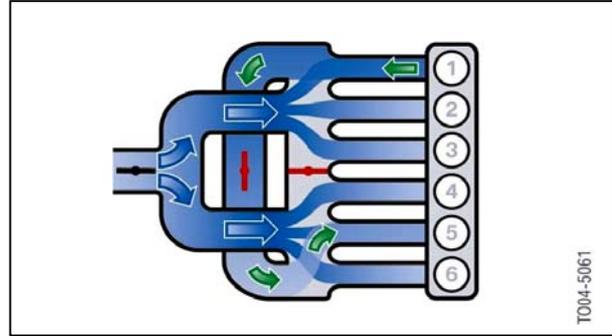
- 1 elektromotorischer Steller (2 mal vorhanden, aber unterschiedliche Bauform)
- 2 EDK (elektrischer Drosselklappensteller)



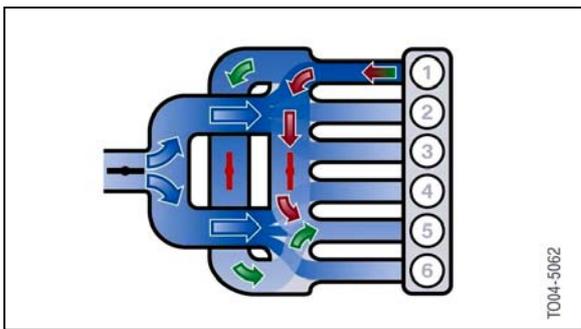
## Luftströmung in der Resonanzsauganlage



Leerlauf und untere Drehzahl



mittlere Drehzahl

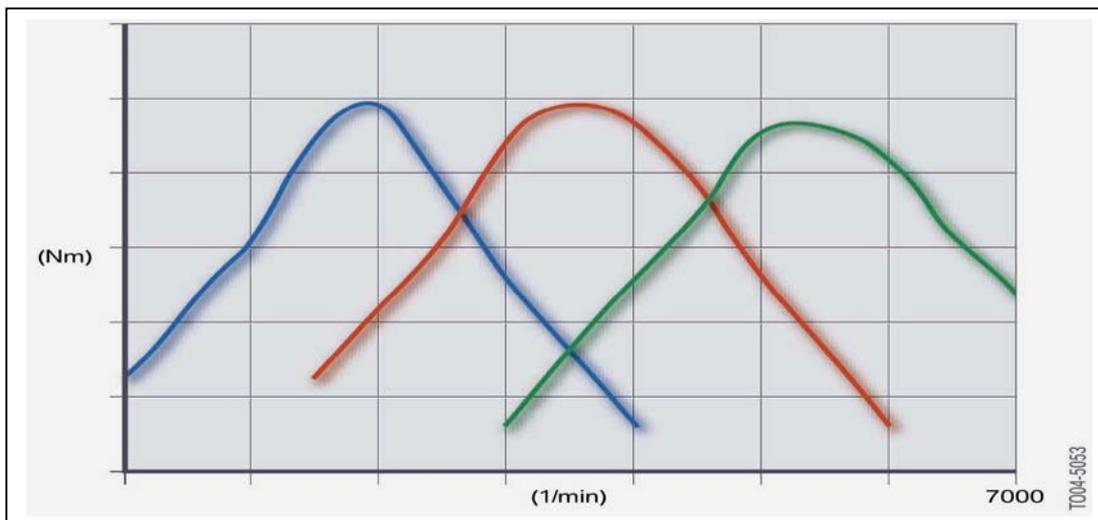


obere Drehzahl

Annahme für die Bilder: Die Einlassventile des 1. Zylinders schließen gerade.

Der 5. Zylinder saugt als nächster an. Die vom 1. Zylinder zurücklaufende Druckwelle verbessert die Füllung des 5. Zylinders

## Prinzipbild Drehmomentverlauf (Spitzen) für die einzelnen Schaltstufen





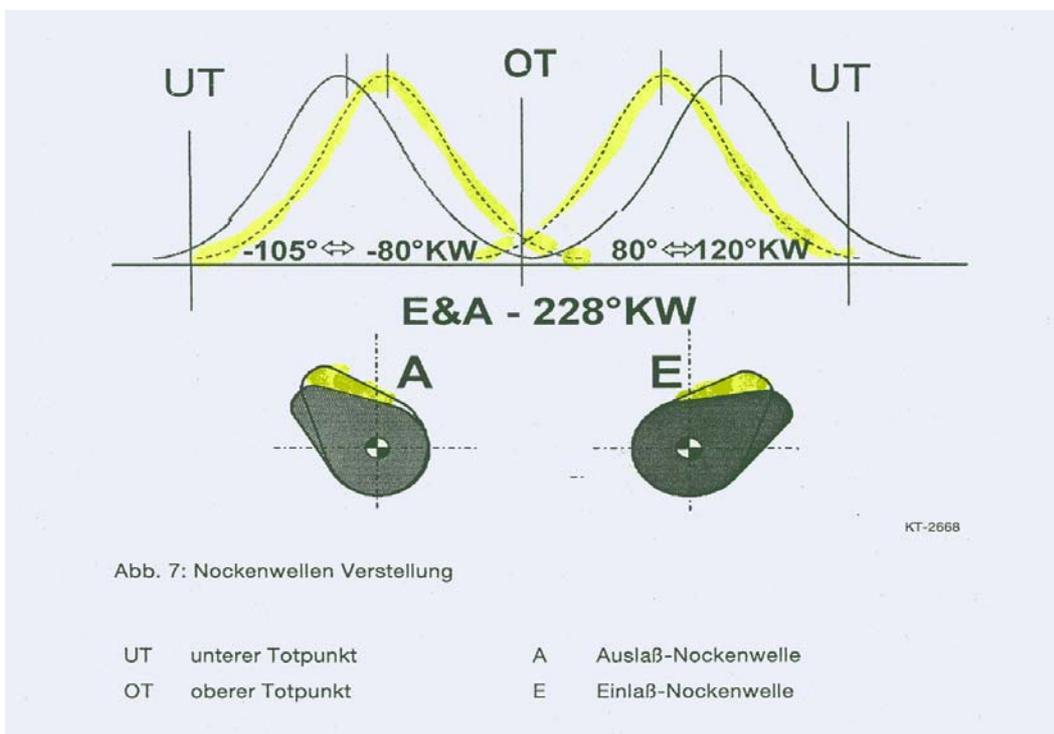
## Funktion Doppel-VANOS M54, N52, N53 und N54

- VANOS = Variable Nockenwellen-Spreizung
- Doppel-VANOS, weil Einlass- und Auslass-Nockenwelle verstellt werden können
- Nockenwellenverstellung relativ zur Kurbelwelle und zueinander ergeben eine breite Verstellmöglichkeit für die Ventilsteuerzeiten
- Verstellung erfolgt vom DME-Steuergerät aus über Magnetventile durch Motoröldruck
- Abfrage der Nockenwellenstellungen durch Sensoren
- Innerhalb des Verstellbereiches beliebige Verstellungen möglich

## Vorteile

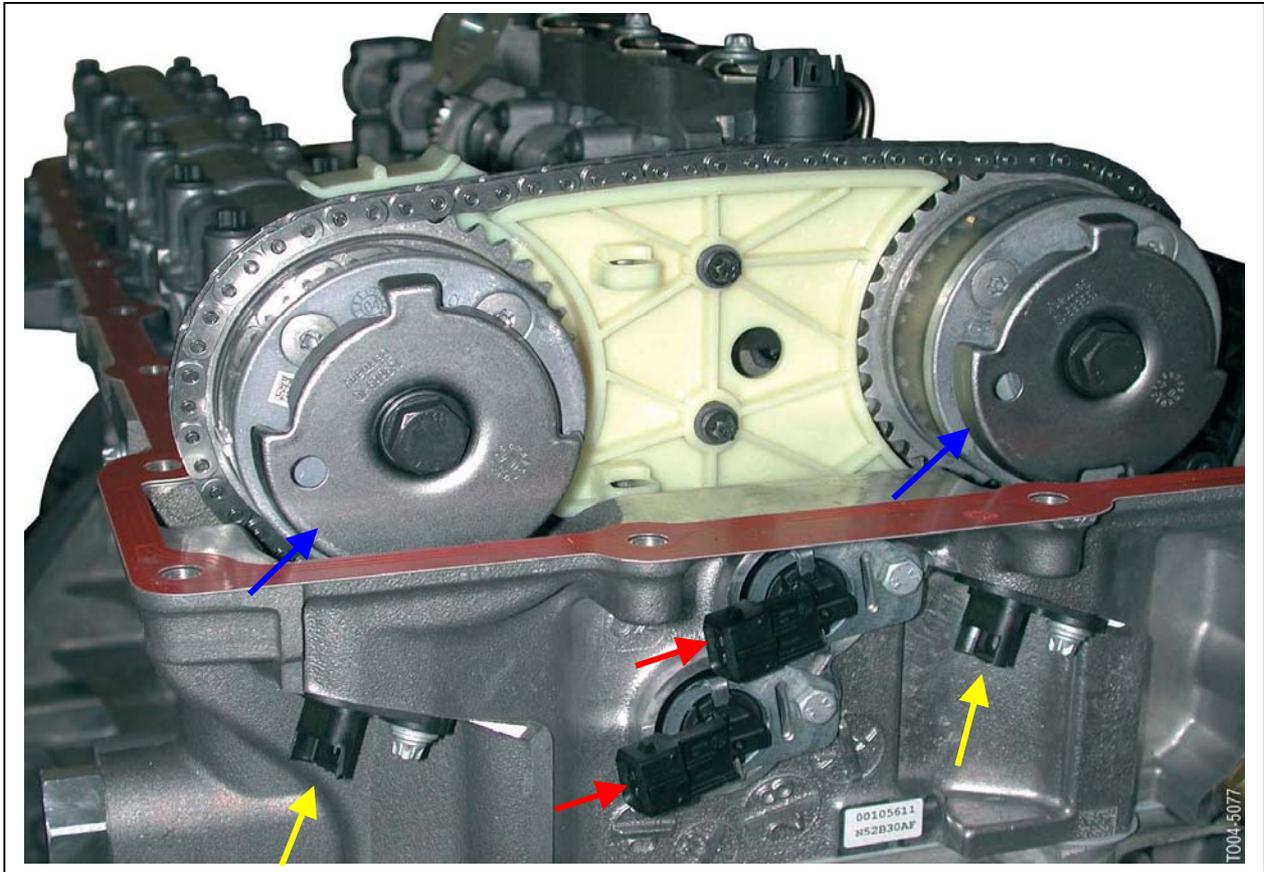
- Drehmomentsteigerung im unteren und mittleren Drehzahlbereich
- Geringe Restgasmenge im Leerlauf, dadurch sehr stabile Verbrennung und große Laufruhe
- Leistungsgewinn im oberen Drehzahlbereich
- Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs
- Schnelleres Aufwärmen der Katalysatoren nach Kaltstart
- Innere Abgasrückführung, daher weniger NOx im Teillastbereich

Verstellbereich Doppel-VANOS am Beispiel des M54





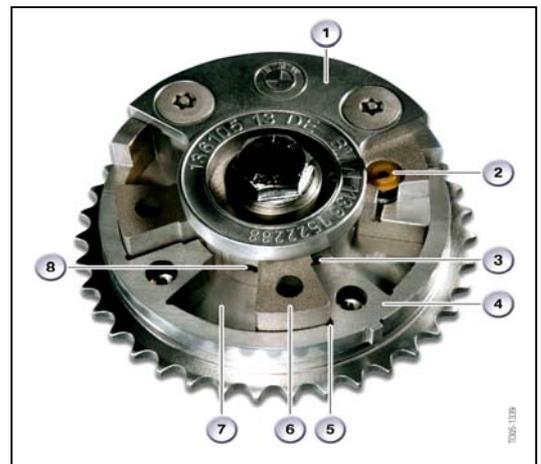
## Doppel-VANOS am Beispiel des N52 Motors



Die roten Pfeile zeigen auf die Öldruckmagnetventile für die Ansteuerung, die gelben Pfeile auf die beiden Positionssensoren und die blauen Pfeile auf die Geberbleche für die jeweilige NW-Position.

Ansicht einer  
VANOS-Einheit

- 1 Frontplatte
- 2 Verriegelung
- 3 Ölkanal
- 4 Gehäuse mit Kettenrad
- 5 Druckraum für Frühverstellung
- 6 Verstellrotor
- 7 Druckraum für Spätverstellung



Der Antrieb per Kette erfolgt über das Gehäuse. Der Öldruck verstellt den Rotor, der mit der Nockenwelle verbunden ist, nach früh oder nach spät. Je nachdem, auf welcher Seite der höhere Motoröldruck angelegt wird.



## 7.6 Vollvariabler Ventiltrieb - Valvetronic N52

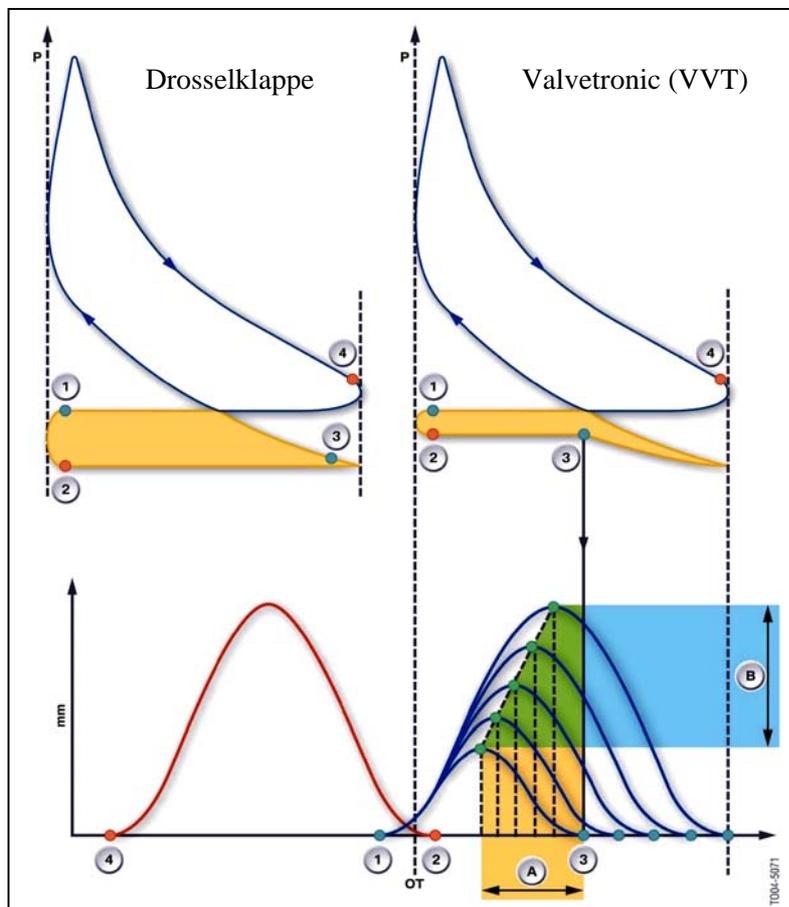
Die Valvetronic 2 (intern auch VVT genannt) wurde erstmals beim N52 bei einem 6 Zyl. BMW Motor eingesetzt. Sie ist eine Weiterentwicklung der Valvetronic 1, die beim N42 in Serie gegangen ist.

Bei der Valvetronic erfolgt die Laststeuerung aus dem Fahrerwunsch statt mit der Drosselklappe mit dem variablen Ventilhub der Einlassventile. Wenn der Fahrer das Gaspedal durchtritt, öffnet er nicht mehr die Drosselklappe, wie früher beim M54, sondern er vergrößert den Hub und damit den Öffnungsquerschnitt der Einlassventile. Dadurch bekommt der Motor ganz spontan mehr „Luft“, d.h. technisch ausgedrückt, eine bessere Zylinderfüllung.

### Vorteile:

- Steigerung des Motorwirkungsgrads durch eine signifikante Reduzierung der Ladungswechselarbeit.
- Senkung des Kraftstoffverbrauchs nahezu auf das Niveau eines herkömmlichen Direkteinspritzers. Aber ohne spezielle Anforderungen an den Kraftstoff und ohne die komplexe NOx-Nachbehandlung.
- Enorme Spritzigkeit in der Gasannahme und gesteigertes Fahrvergnügen.
- Verbesserung der Abgas-Emissionswerte.

Vergleich der Ladungswechselarbeit (die gelben Flächen zwischen 1, 2 und 3 ist Verlustarbeit)

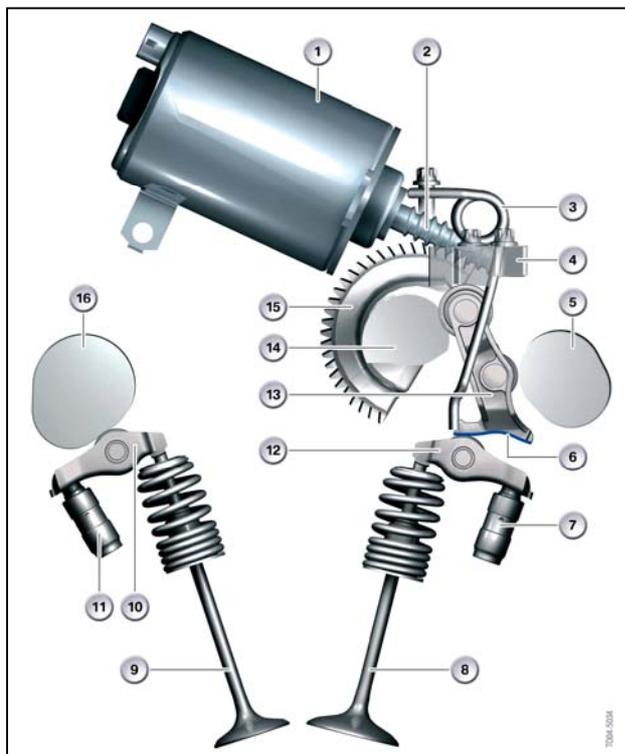
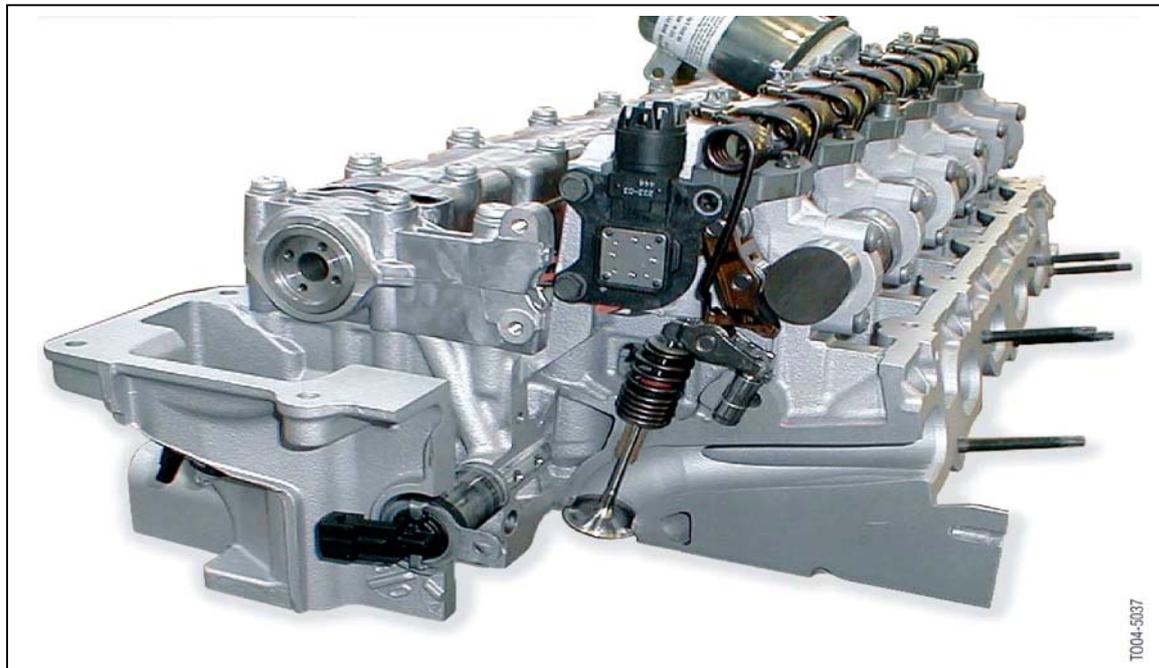


OT Oberer Totpunkt  
 UT Unterer Totpunkt  
 1 Einlass öffnet  
 2 Auslass schließt  
 3 Einlass schließt  
 4 Auslass öffnet  
 A Regelbereich VANOS  
 B Regelbereich VVT  
 P Druck im Zylinder

In den beiden Diagrammen oben ist über die gelbe Fläche deutlich zu erkennen, dass mit dem VVT gegenüber der Drosselklappen-Laststeuerung eine erheblich geringere Verlustarbeit entsteht.



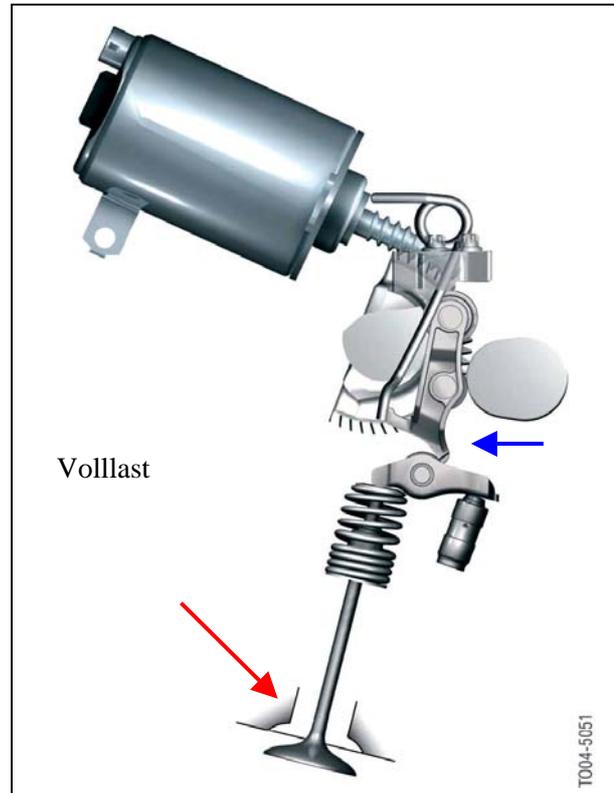
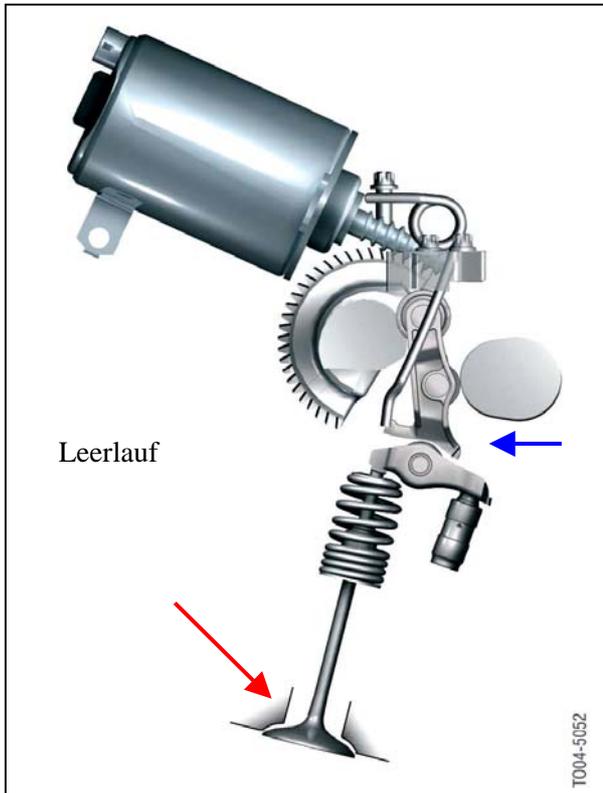
Für die Valvetronic ist ein entsprechender Verstellmechanismus erforderlich, auf den wir kurz mit einigen Bildern eingehen möchten. **Die genaue Funktion sehen wir uns mit einem Film an.**



- 1 VVT-Stellmotor
- 2 Schneckenwelle
- 3 Rückstellfeder
- 4 Kulissenblock
- 5 Einlassnockenwelle
- 6 Rampe am Zwischenhebel
- 7 HVA Einlass
- 8 Einlassventil
- 9 Auslassventil
- 10 Rollenschlepphebel Auslass
- 11 HVA Auslass
- 12 Rollenschlepphebel Einlass
- 13 Zwischenhebel
- 14 Exzenterwelle
- 15 Schneckenrad
- 16 Auslassnockenwelle



Stellung Zwischenhebel (blauer Pfeil) und Ventilhub (roter Pfeil) bei Leerlauf und Vollast



**Gleichverteilung:** Bei Leerlauf beträgt der Ventilhub nur ca. 0,3 mm. Bei Vollast 9,9 mm. Weil die Zylinderfüllung vom Ventilhub abhängt, ist die „Gleichverteilung“ für einen ruhigen Motorlauf ganz wichtig. Unter Gleichverteilung versteht man, dass alle 6 Zylinder möglichst die gleiche Luftmenge erhalten.

Weil die Bauteiltoleranzen hier eine entscheidende Rolle spielen, werden die am Ventilhub maßgeblich beteiligten Bauteile wie z.B. Zwischenhebel und Rollenschlepphebel in Toleranzklassen eingeteilt. In der Motormontage wird mit einer Vorrichtung die Gleichverteilung über den Luftdurchsatz gemessen. Liegt sie außerhalb der Toleranz ist ein Teiletausch erforderlich.

Geringe Ungenauigkeiten werden vom DME-Steuergerät durch eine zylinderindividuelle Ventilhubverstellung und Zündwinkelkorrektur (wirkt auf das Drehmoment der einzelnen Zylinder) ausgeglichen.

**Phasing:** Die Verbrennung wird weiter durch das sogenannte „Phasing“ verbessert. Darunter versteht man, dass die beiden Einlassventile eines Zylinders im Leerlauf- und im unteren Teillastbereich unterschiedlich weit öffnen. Die Einlassventile Nr. 1 aller Zylinder machen zunächst je nach Lastzustand um 0,2 bis 0,4 mm mehr Hub, als die Einlassventile Nr. 2. Ab ca. 5,0 mm Ventilhub öffnen dann beide Ventile pro Zylinder wieder gleich weit. Phasing erfolgt rein mechanisch, bedingt durch spezielle Nockenkonturen der Exzenterwelle.

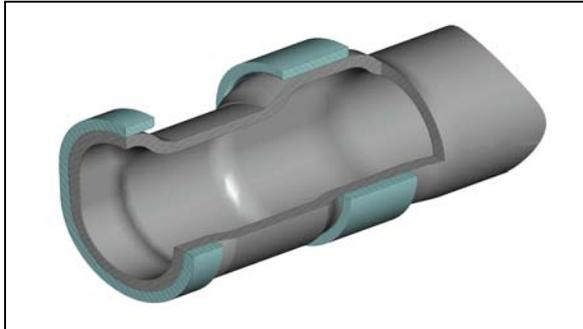
**Masking:** Unter „Masking“ versteht man einen einseitigen Spalt der durch eine spezielle Kontur des Zylinderkopfs im Bereich der Ventilsitze beim Öffnen der Einlassventile entsteht.

Phasing und Masking erhöhen bei kleinen Ventilhuben (Leerlauf und Teillast) die Turbulenz des in die Zylinder eintretenden Kraftstoff-Luftgemisches und wirken dadurch positiv auf die Gemischbildung.

**Wir schauen uns Phasing und Masking direkt an der Exzenterwelle und am Zylinderkopf an.**

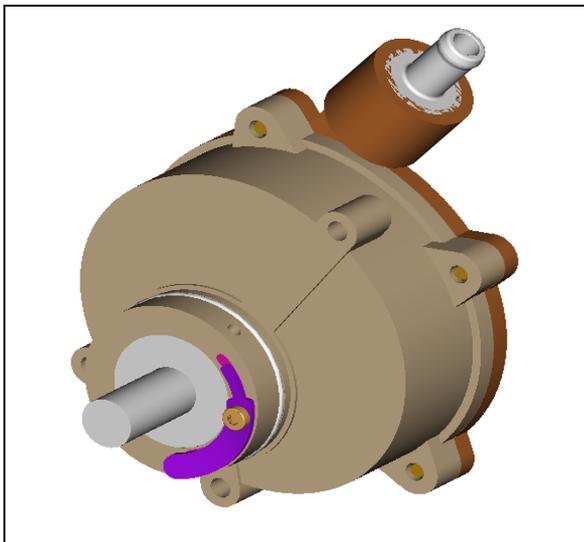


## Nockenwelle



Beim N52 Motor wird eine „gebaute“ Nockenwelle verwendet. Die NW besteht aus einem Stahlrohr, auf das die einzelnen Nocken aufgeschoben und exakt positioniert werden. Dann wird das Stahlrohr hydraulisch mit hohem Druck aufgeweitet und die Nocken sitzen fest. Dieses Fertigungsverfahren ist kostengünstiger und bringt gegenüber den gegossenen Nockenwellen vom Vorgänger M54 eine Gewichtseinsparung von ca. 1,5 kg/Motor.

## Vakuumpumpe



Beim N52 ist im Normalbetrieb die elektrisch betätigte Drosselklappe ganz offen. Es ist daher im Gegensatz zu einer herkömmlichen Laststeuerung mit Drosselklappe in der Sauganlage nur ein minimaler Unterdruck vorhanden. Man benötigt aber in einem PKW (z.B. für den Bremskraftverstärker und sonstige Unterdruckverbraucher) einen ausreichend hohen Unterdruck.

Die Vakuumpumpe ist in Fahrtrichtung links angebracht und wird zusammen mit der Ölpumpe über eine Kette direkt von der Kurbelwelle aus angetrieben.

Auch der N53 Saugmotor und der aufgeladene N54 haben eine Vakuumpumpe für die Versorgung der oben genannten Unterdruckverbraucher.



Das Bild links zeigt eine Vakuumpumpe mit abgenommenem Deckel.

Die Pumpe ist eine relativ einfach aufgebaute „Einflügel-Rotorpumpe“. Der Rotor ist stark exzentrisch im Gehäuse angebracht und trägt den „Flügel“ der Pumpe. Der Flügel wird im Gehäuse durch die Drehbewegung des Rotors entlang der Gehäusekontur zwangsgeführt. Die Feinabdichtung zwischen dem Gehäuse und dem Flügel erfolgt durch das Motoröl. Der Flügel saugt durch Raumvergrößerung aus dem Unterdruckkreis Luft ab und pumpt sie dann durch die sofort anschließende Raumverkleinerung der Zelle in das Kurbelgehäuse.

Vom Kurbelgehäuse gelangt die - mit etwas Öldunst angereicherte Luft - zusammen mit den Blowby-Gasen in die Kurbelgehäuseentlüftung und den Ölabscheider. Anschließend wird das vom Motoröl befreite Blowby-Gas über die Sauganlage in die Zylinder befördert und über die Verbrennung „entsorgt“.



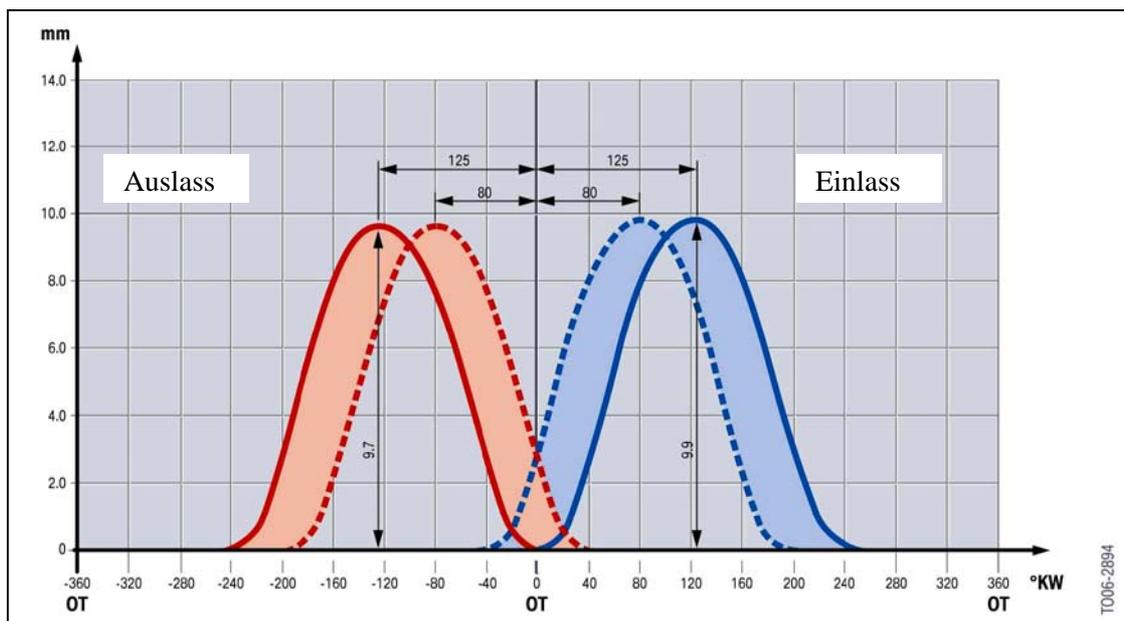
## 7.7 Die Abgasrückführung des N53 Motors

Im Magerbetrieb des N53 können die beiden motornahen Katalysatoren prinzipbedingt das Stickoxid (NO<sub>x</sub>) aus der Verbrennung nicht mehr ausreichend umwandeln. Die Kats bräuchten dazu eine Gemischzusammensetzung von ca. Lambda 1. Im Magerbetrieb kann aber ein Lambdawert von bis zu 2,5 auftreten. Also sehr mager. Es sind daher Maßnahmen erforderlich, die bereits die NO<sub>x</sub>-Rohemissionen im Brennraum so niedrig wie möglich halten. Eine Möglichkeit dazu ist die Abgasrückführung (AGR). Die AGR senkt die Verbrennungstemperatur und vermindert damit die Bildung von NO<sub>x</sub>.

Bei der AGR unterscheidet man zwischen einer **inneren** und einer **äußeren** AGR.

**Die innere AGR** ergibt sich beim Gaswechsel zwischen Auspuff- und Ansaugtakt. Mit einer entsprechenden Gestaltung der Ventilüberschneidung und des Ansaug- und Auspuffsystems kann der Restanteil von Abgas im Zylinder beeinflusst werden. Mit der Verstellung der Steuerzeiten durch Doppel-VANOS ergeben sich weitere Freiheitsgrade in der Beeinflussung der inneren AGR.

Die Grafik zeigt die VANOS-Verstellbereiche beim N53. Einlass- und Auslassnockenwelle sind jeweils um 45 Grad verstellbar.

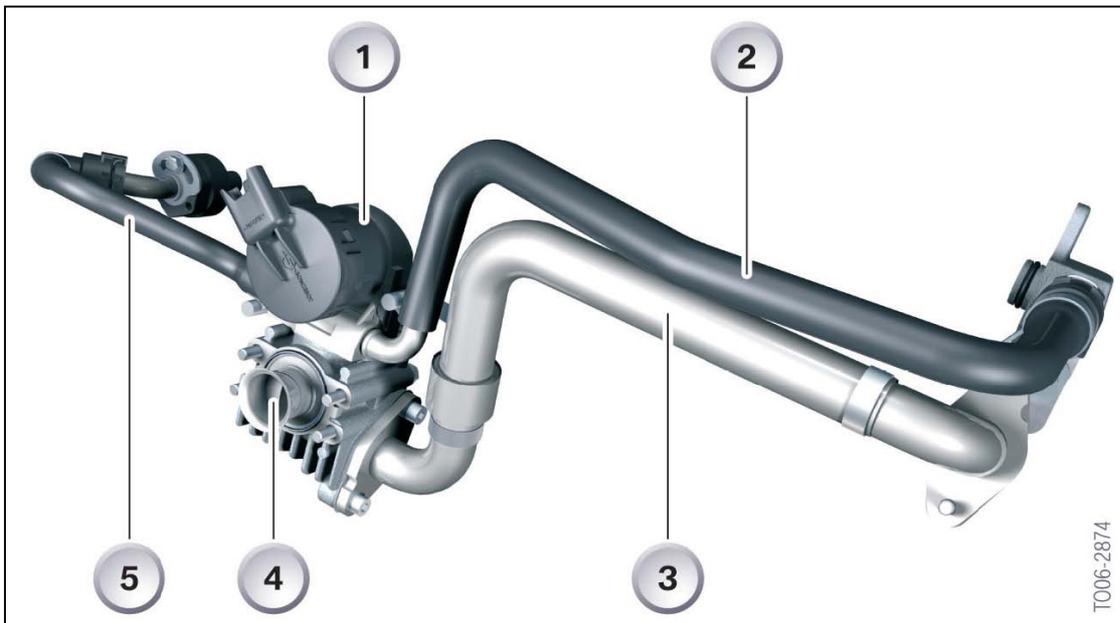


**Die äußere (externe) AGR** zweigt Abgas aus dem Auspuffkrümmer ab und führt es dem Motor auf der Frischluftseite wieder zu. Die Abgasmenge wird vom Motorsteuergerät vorgegeben und von einem AGR-Ventil dosiert.

Details dazu sehen wir uns später im Kapitel 8 „Abgastechnik für Otto- und Dieselmotoren“ noch genauer an. Bei den Dieselmotoren mit der ausgeprägten „mageren“ Verbrennung wird die AGR schon lange zur Verminderung der Stickoxide eingesetzt.



Die Bauteile der externen AGR vom N53



- |                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| 1 AGR-Ventil       | 4 Anschlussstutzen Sauganlage |
| 2 Kühlmittelzulauf | 5 Kühlmittelrücklauf          |
| 3 Abgasrohr        |                               |

Die AGR allein reicht noch nicht, um im Magerbetrieb die NO<sub>x</sub>-Werte soweit abzusenken, dass nach den beiden motornahen Katalysatoren die gesetzlichen NO<sub>x</sub>-Grenzwerte absolut sicher eingehalten werden können. In der Abgasanlage im Fahrzeug befindet sich daher hinter den motornahen Kats noch je ein spezieller **NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator**, der die restlichen Stickoxide zwischenspeichert und in unschädliche Abgaskomponenten umwandelt.

Die Funktion der beiden NO<sub>x</sub>-Speicherkats wird mit einem Abgastemperaturfühler vor und einer NO<sub>x</sub>-Sonde nach den Kats überwacht und vom Motorsteuergerät durch Eingriffe in die Gemischbildung gesteuert.

Die Funktion ist relativ kompliziert und hat nur am Rand mit dem Motor zu tun, daher verzichten wir hier aus Zeitgründen auf eine detaillierte Erläuterung.

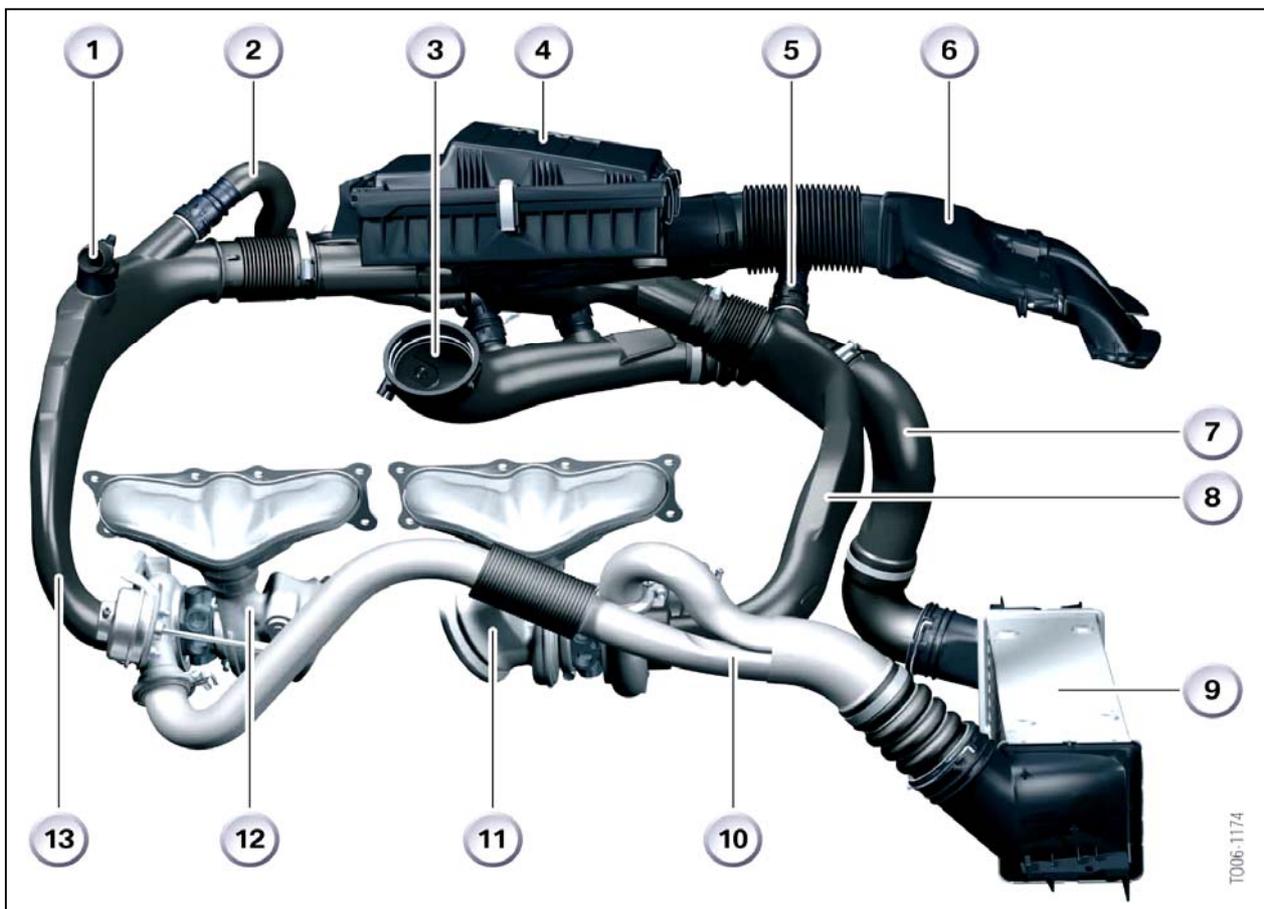


## 7.8 Die Bi-Turboaufladung des N54 Motors

Für die Aufladung werden 2 parallelgeschaltete, relativ kleine Turbolader verwendet, die vom gesammelten Abgas aus jeweils 3 Zylindern des Motors angetrieben werden. Die Ladeluft geht von den Ladern über eine Sammelleitung, den Ladeluftkühler und die Drosselklappe zum Motor.

Die kleinen Lader haben den Vorteil, dass sie beim schnellen Gasgeben sofort auf Drehzahl gehen und den Ladedruck aufbauen. Das bewirkt ein verzögerungsfreies, äußerst dynamisches Ansprechen auf einen Beschleunigungswunsch des Fahrers.

Die Ansaugluftführung des N54 Motors mit Bi-Turboaufladung



- |   |  |
|---|--|
| 1 Blowby-Heizung                            | 8 Ladeluftsaugleitung Bank 1 (Zyl. 1 bis 3)  |
| 2 Schub-Umluftführung Bank 2 (Zyl. 4 bis 6) | 9 Ladeluftkühler                             |
| 3 Anschluss Drosselklappe                   | 10 Ladeluftsammler                           |
| 4 Ansauggeräuschkämpfer Luftfilter          | 11 Turbolader Bank 1 (Zyl. 1 bis 3)          |
| 5 Schub-Umluftführung Bank 1 (Zyl. 1 bis 3) | 12 Turbolader Bank 2 (Zyl. 4 bis 6)          |
| 6 Ansaugluftschornchel                      | 13 Ladeluftsaugleitung Bank 2 (Zyl. 4 bis 6) |
| 7 Ladeluftleitung zur Drosselklappe         |  |



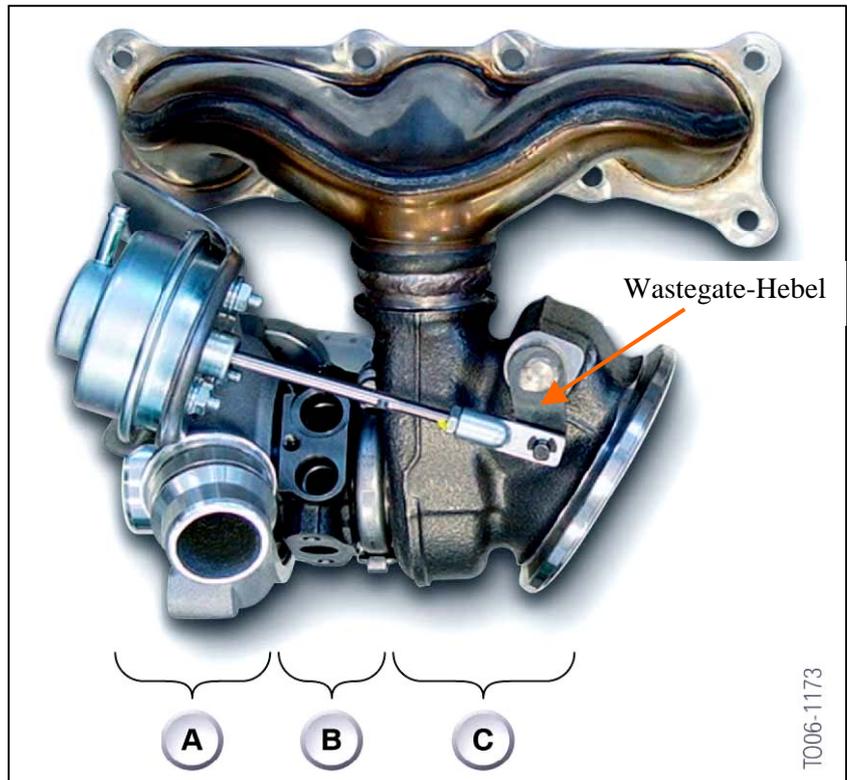
Zur Begrenzung des Ladedrucks und damit die Lader im oberen Drehzahlbereich nicht Überdrehzahl bekommen, sind sie mit einer Wastegate-Klappe ausgerüstet, die bei Erreichen des vorgegebenen Ladedrucks öffnet und einen Teil des Abgasstroms an der Turbine vorbei leitet. Wir gehen kurz in das Kapitel 9.3 zur Aufladung der Dieselmotoren, dort ist die Funktion einer einfachen Wastegate-Klappe beschrieben.

Das Bild zeigt den Lader an Zylinder 4 bis 6. Der Abgaskrümmmer und der Lader sind eine kompakte Einheit. Der Krümmer ist ein geschweißtes Blechteil.

A ist der Verdichter

B ist das Lagergehäuse mit Kühlmittel und Motoröl-Anschluss

C ist die Turbine. Zu sehen ist die Wastegate-Betätigung durch die große Unterdruckdose, die Druckstange und den Hebel am Turbinengehäuse



Die Ölversorgung der beiden Turbolader ist entscheidend für einen störungsfreien Betrieb. Die Welle des Laderlaufzeugs „schwimmt“ auf einem Ölfilm in den Lagerbuchsen. Die volumenstromgeregelte Ölpumpe sorgt für die bedarfsgerechte Ölzufuhr.

Die beiden Turbolader arbeiten bei Vollast speziell auf der Turbinenseite mit hohen Temperaturen. Sie werden daher vom Kühlmittel gekühlt. Ein Vorteil dabei ist, dass die Kühlung auch nach dem Abstellen des Motors noch in Betrieb ist, weil die Elektro-Kühlmittelpumpe bei heißem Motor noch eine Zeitlang weiterläuft.

Die **Laderdrehzahl** geht bei Vollast und hohen Motordrehzahlen in den Bereich von 200.000 U/min.

Der maximale **Ladedruck** beträgt 0,8 bar. Die Ladereintrittstemperatur kann bei Vollast über 900° C liegen.

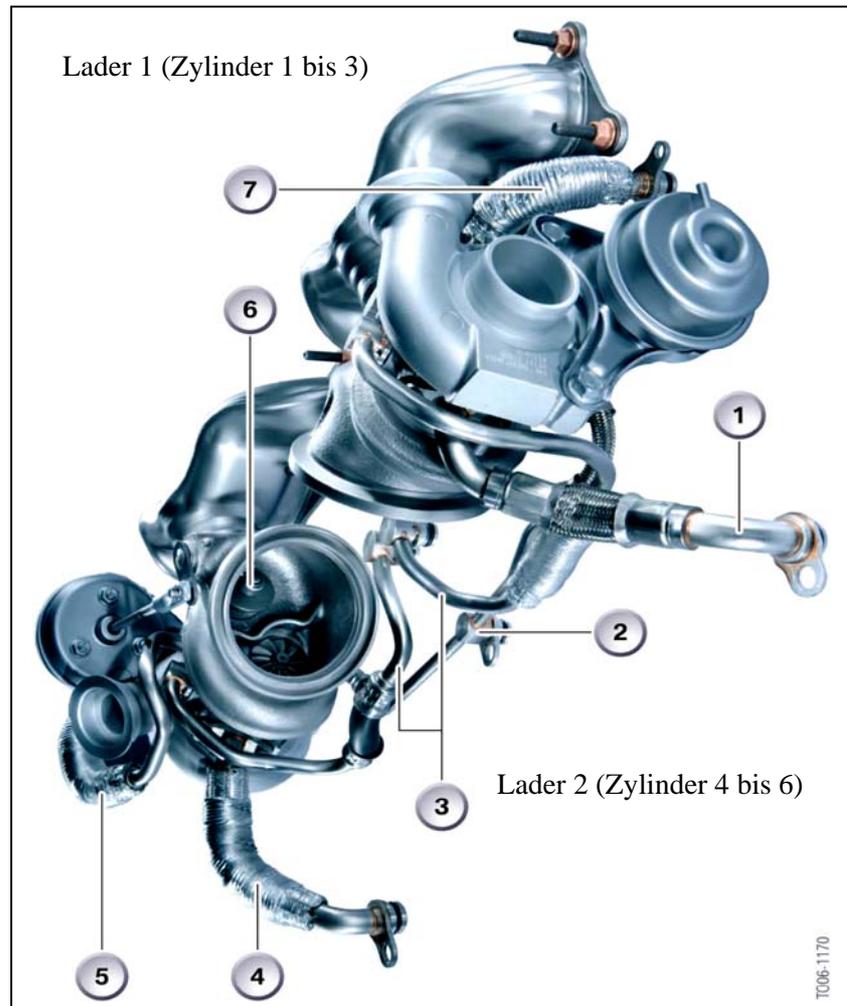
**In die Ladedruckregelung vom N54 fließen folgende Größen ein:**

- Drosselklappenstellung
- Motordrehzahl
- Druck vor der Drosselklappe
- Druck im Saugrohr
- Ansauglufttemperatur



Die beiden Turbolader des N54 Motors noch einmal in einer anderen Ansicht

- 1 Ölrücklauf (vorderer) Lader 1
- 2 Ölzulauf
- 3 Zulauf Kühlmittel
- 4 Ölrücklauf (hinterer) Lader 2
- 5 Rücklauf Kühlmittel Lader 2
- 6 Wastegate-Klappe
- 7 Rücklauf Kühlmittel Lader 1

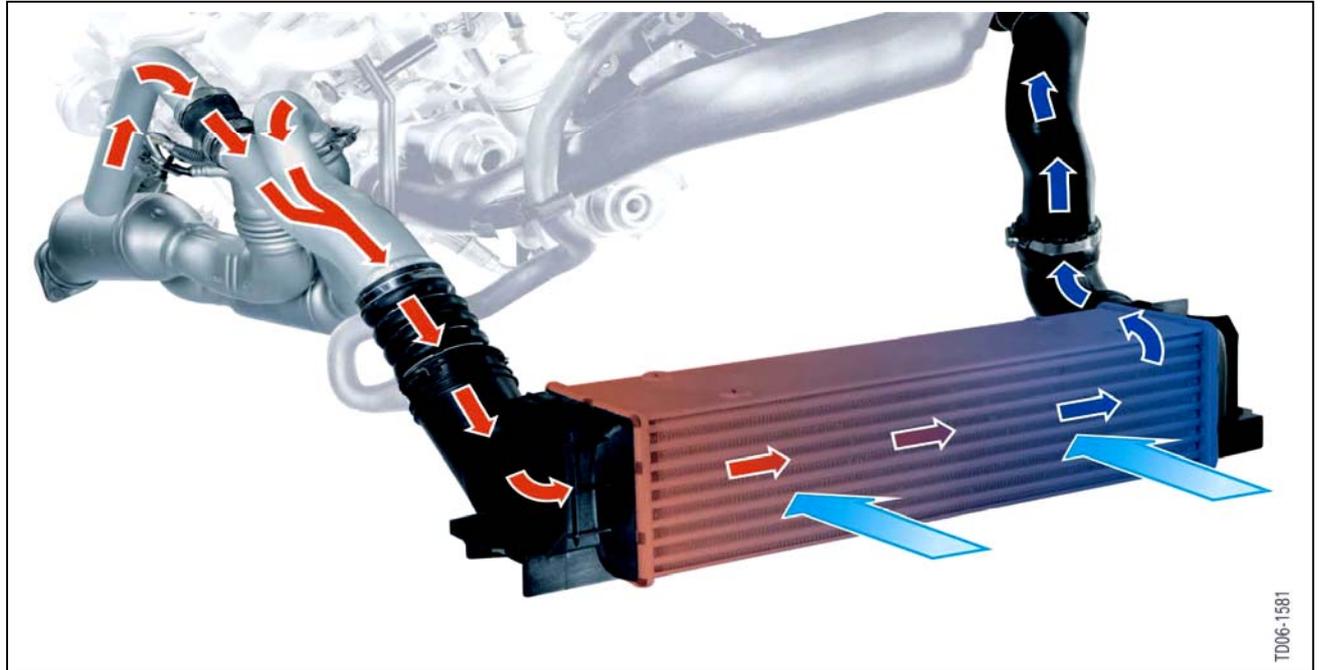


Die Ladeluft aus den beiden Turboladern wird bei Vollast durch die heißen Bauteile und die Verdichtungsarbeit aufgeheizt. Damit sinkt aber die Luftdichte und die Zylinderfüllung wird schlechter. Das wäre negativ für die optimale Leistungsentfaltung, einen günstigen Kraftstoffverbrauch und niedrige Abgasemissionen. Eine hohe Ladelufttemperatur würde außerdem auch die Klopfgrenze ungünstig beeinflussen.

Daher führt man die Luft über einen **Ladeluftkühler**. Der befindet sich im Fahrzeug vor dem Wasserkühler und wird vom Fahrtwind durchströmt. Dadurch wird der Ladeluft Wärme entzogen. Im LLK erfolgt eine Rückkühlung der heißen Luft um bis zu 80° C.



Ansicht des LLK und der Ladeluftführung des N54 Motors



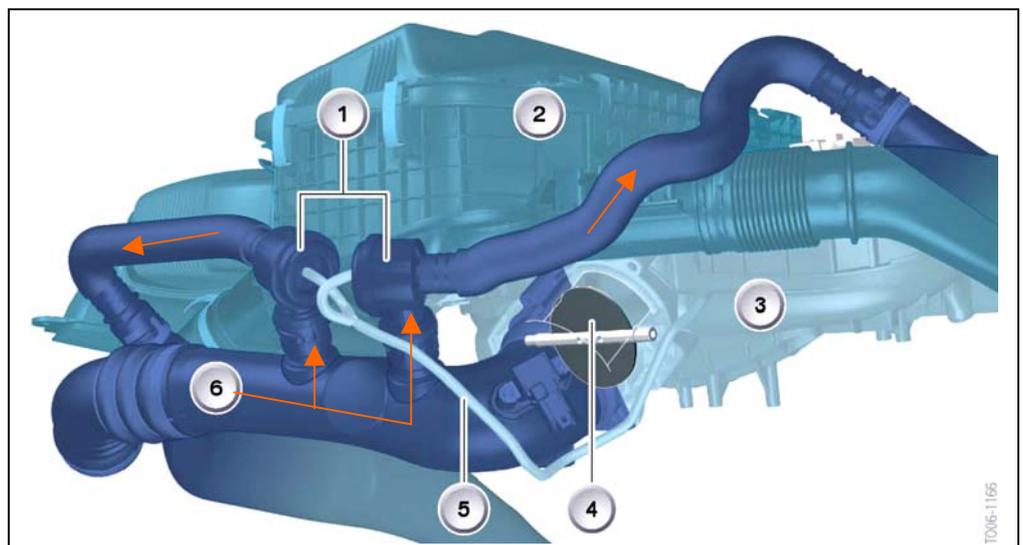
TD06-1581

## Schub-Umluftsteuerung

In der Ansaugluftführung des N54 befinden sich Schub-Umluftleitungen, die von mechanischen Ventilen gesteuert werden. Nimmt der Fahrer schnell „Gas“ weg, dann schließt die Drosselklappe. Es entsteht sofort ein Luftstau und hohe Ladedruckspitzen, weil die beiden Lader wegen der geschlossenen Drosselklappe die Luft nicht mehr zum Saugrohr des Motors liefern können. Das würde zu einem wahrnehmbaren, störenden Geräusch führen und wäre auch eine unerwünschte druckmäßige Belastung des ganzen Aufladesystems.

Die Schub-Umluftventile werden vom Saugrohrdruck gesteuert und lassen bei geschlossener Drosselklappe die verdichtete Ladeluft zurück zur Saugseite der beiden Lader abströmen. So wird der Ladedruck sofort abgebaut.

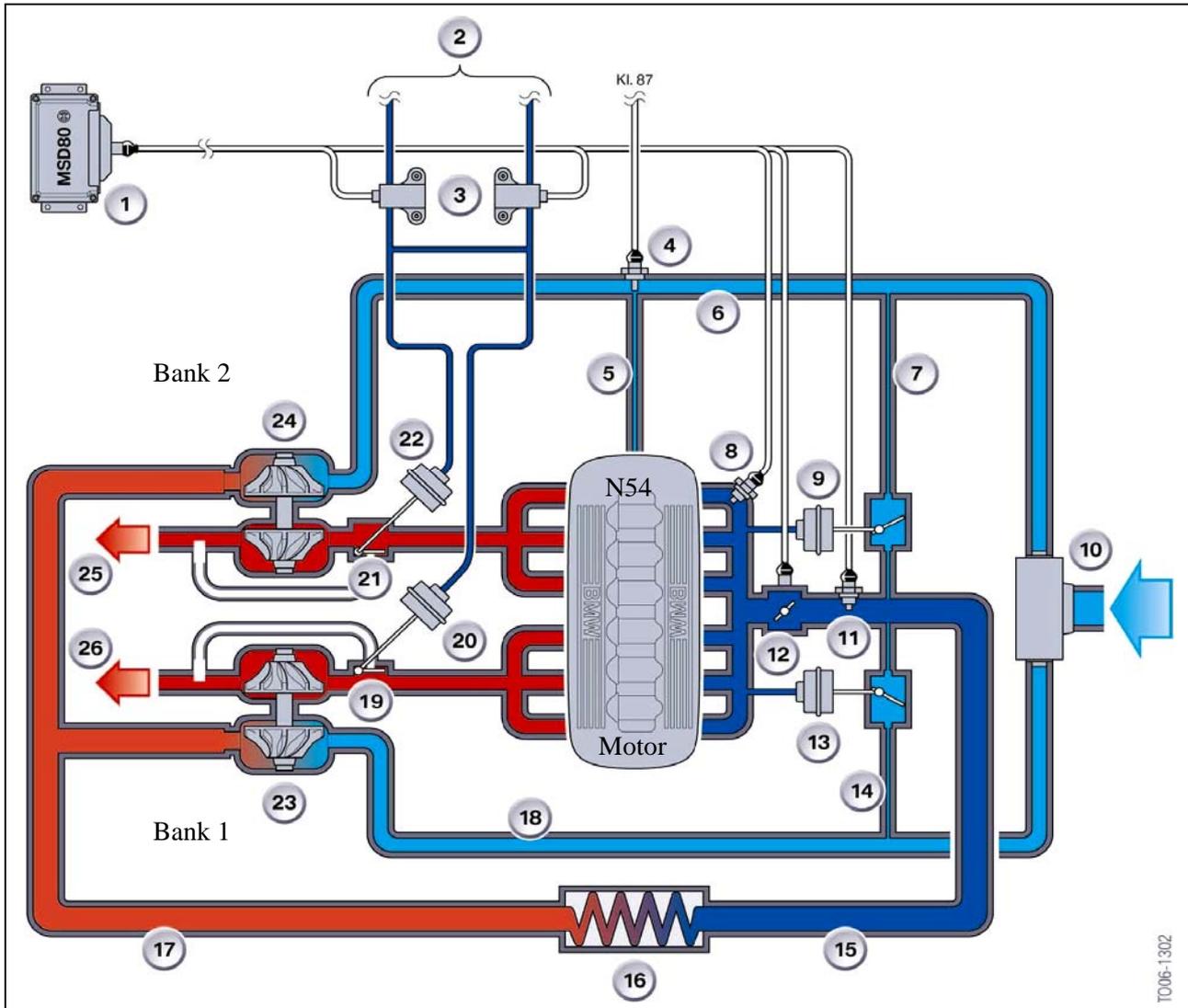
- 1 Schub-Umluftventile
- 2 Ansaugeräuschkämpfer
- 3 Saugrohr
- 4 Drosselklappe
- 5 Steuerleitung Schub-Umluftventile
- 6 Ladeluftleitung



TD06-1166



Schema Abgas- und Ladeluftführung N54 Motor



- |   |  |
|---|--|
| 1 Motorsteuergerät MSD80                  | 14 Schub-Umluftleitung Bank 1                  |
| 2 Leitungen zur Unterdruckpumpe           | 15 Ladeluftleitung vom LLK zur Drosselklappe   |
| 3 Elektropneumatische Druckwandler (EPDW) | 16 Ladeluftkühler                              |
| 4 PTC-Heizer Blowby Gase                  | 17 Ladeluftsammelleitung von Bank 1 und Bank 2 |
| 5 Blowby-Leitung                          | 18 Ladeluft-Saugleitung Bank 1                 |
| 6 Ladeluftsaugleitung Bank 2              | 19 Wastegate-Klappe Bank 1                     |
| 7 Schub-Umluftleitung Bank 2              | 20 Wastegate-Unterdruckdose Bank 1 (Steller)   |
| 8 Saugrohrdrucksensor                     | 21 Wastegate-Klappe Bank 2                     |
| 9 Schub-Umluftventil Bank 2               | 22 Wastegate-Unterdruckdose Bank 2 (Steller)   |
| 10 Ansaugeräuschkämpfer mit Luftfilter    | 23 Turbolader Bank 1                           |
| 11 Ladedruck- und Lufttemperatursensor    | 24 Turbolader Bank 2                           |
| 12 Drosselklappe                          | 25 zum motornahen Katalysator Bank 2           |
| 13 Schub-Umluftventil Bank 1              | 26 zum motornahen Katalysator Bank 1           |



Notizen