

## Die Abgasrückführung

Die ersten externen Abgasrückführungssysteme (AGR) kamen in den achtziger Jahren auf dem Markt und sind heute mehr denn je notwendig um die strengen Abgasnormen Euro 4, 5 und 6 zu erfüllen. Die neuesten Abgasrückführungen werden elektronisch gesteuert und sind meist zusätzlich mit einem Abgaskühler versehen.

Heutige Dieselmotoren haben im Vergleich zum Benzinmotoren einen 25 bis 35 % niedrigeren Kraftstoffverbrauch und einen 22 bis 31 % geringeren  $\text{CO}_2$ -Ausstoß. Jedoch stößt der Dieselmotor wesentlich mehr Russpartikel (PM) und Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) aus. Damit der Ausstoß an Schadstoffen begrenzt wird, hat der Gesetzgeber stufenweise Grenzwerte erlassen. In Europa wurden die ersten Grenzwerte für den Partikelausstoß im Juli 1992 mit der Euro 1 eingeführt. Der Grenzwert betrug damals 0,18 g/km und darf bei der heutigen Euro 4, maximal 0,025 g/km betragen. Mit Einführung der Euro 5 im September 2009 sinkt der Wert auf 0,005 g/km. Die Begrenzung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen wurde in Europa erst im Januar 2001 mit Einführung der Euro 3 eingeführt. Der Grenzwert betrug 0,50 g/km. Dieser Grenzwert beträgt heute 0,25 g/km und beträgt 0,180 g/km bei Einführung der Euro 5 (**Bild 1**).

Bild Decoster

Euronorm-Stufe	Einführung	$\text{NO}_x$ (g/km)	Partikel (g/km)
Euro 1	1992		0,18
Euro 2	1996		0,08
Euro 3	2000	0,50	0,05
Euro 4	2005	0,25	0,025
Euro 5	2009	0,180	0,005
Euro 6	2014	0,080	0,005

Bild 1 Abgasgrenzwerte für Pkw.

Die Problematik für die Motorentwickler besteht darin, eine Reduzierung aller Schadstoffe zu erreichen, obwohl ihre Entstehung durch unterschiedliche Ursachen hervorgerufen wird. Beispielsweise, hat eine bessere Verbrennung einen geringeren Partikelausstoß zur Folge, erhöht jedoch die  $\text{NO}_x$ -Emissionen (**Bild 2**). Einige innermotorische Veränderungen reduzieren gleichzeitig unter bestimmten Voraussetzungen diese beiden Schadstoffe: Optimierte Brennräume, verbesserte Kraftstoffeinspritzung und die Abgasrückführung.

Bild Decoster

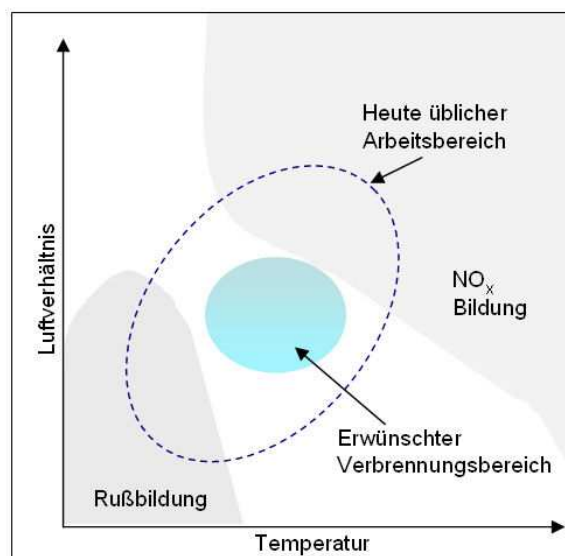


Bild 2 Gratwanderung: Nur in einem kleinen Verbrennungsbereich arbeiten Dieselmotoren auch ohne Nachbehandlung des Abgases recht umweltfreundlich.

Mit Einführung der Euro 3 wurde bei allen Pkw-Dieselmotoren die externe Abgasrückführung eingesetzt, reduziert sie doch sehr wirksam und ökonomisch die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Teillastbereich (**Bild 3**). AGR-Systeme wurden vorher meistens nur in Verbindung mit leistungsstarken Benzinmotoren verwendet.

**Hinweis:** Eine interne Abgasrückführung lässt sich durch Ventilüberschneidung mit verstellbaren Nockenwellen realisiert.

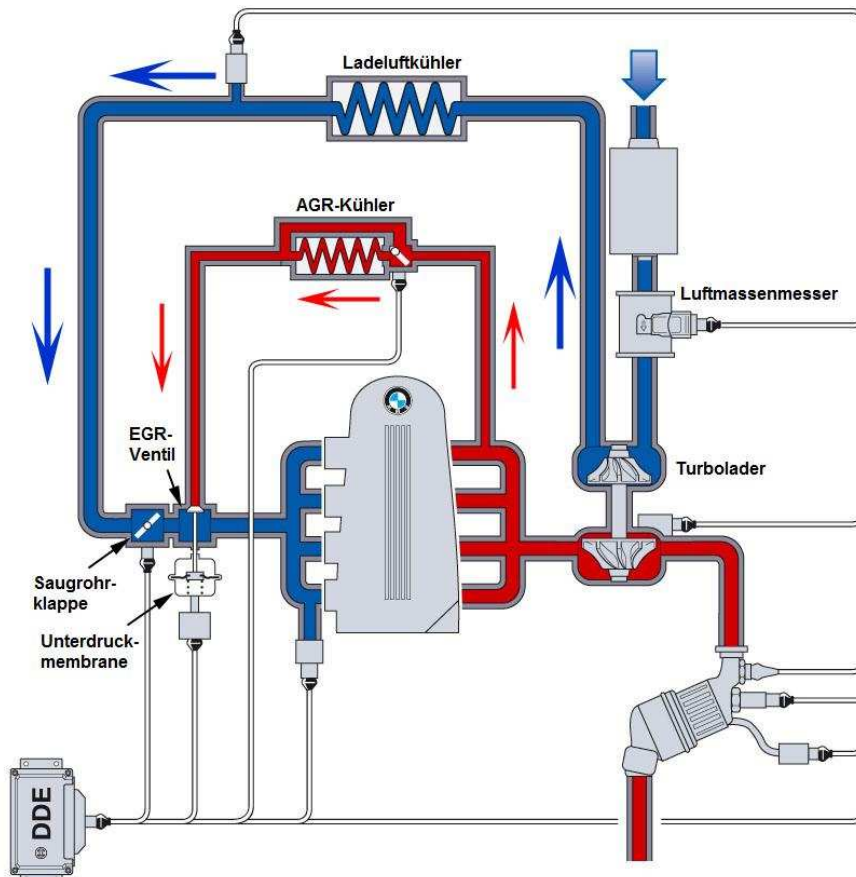
**Bild Mercedes**



**Bild 3** AGR-Ventil eines Mercedes 280 von 1985. Die Abgasrückführung ist eine erprobte und bewährte Methode zur Schadstoffreduzierung.

Das AGR-System leitet einen Teil der Auspuffgase zum Ansaugkrümmer zurück. Sie besteht aus mindestens einem Verbindungsrohr aus rostfreiem Stahl und ein Ventil, dass das Öffnen und Schließen der Rückführungsverbindung im Vollastbereich begrenzt (**Bild 4**). Die im Folgenden beschriebenen anderen Einrichtungen ergänzen das System.

**Bild BMW**



**Bild 4** Schema einer Abgasrückführung beim BMW 2;0 Diesel (N47).

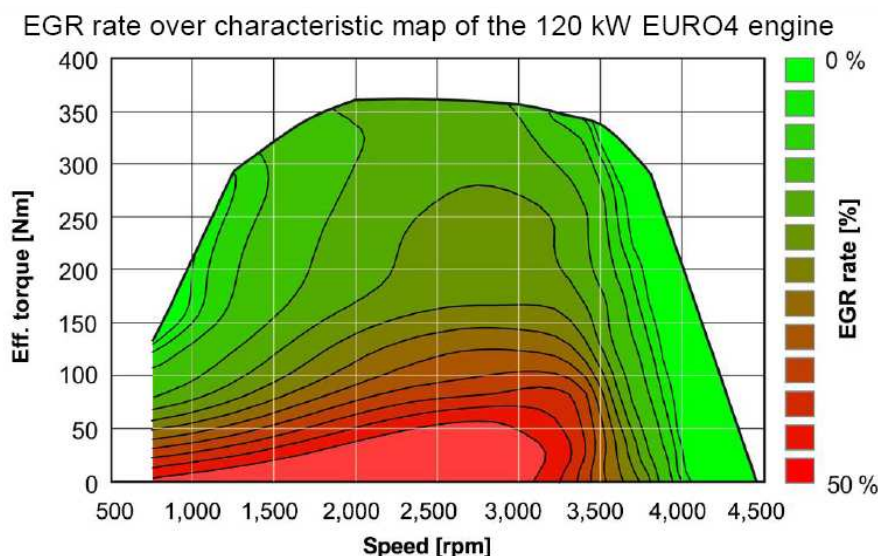
## Funktion der Abgasrückführung beim Dieselmotor

Stickoxide entstehen in großer Menge bei Sauerstoffüberschuss und hohen Verbrennungstemperaturen (oberhalb 1800 °C). Die Rückführung von sauerstoffarmem und kohlendioxidhaltigem Abgas verdrängt Frischluft im Ansaugrohr und senkt den Sauerstoffanteil der Frischgase, wodurch die Verbrennungsgeschwindigkeit abnimmt. Die höhere Wärmekapazität des Abgases gegenüber Frischluft senkt die Verbrennungstemperatur, da das vorhandene Kohlendioxid ein Teil der Verbrennungswärmemenge absorbiert. Durch das Verkleinern des Sauerstoffanteils und das Absenken der Verbrennungstemperatur reduzieren sich die Verbrennungstemperatur und damit die Abgastemperatur von den üblichen 700°C bis auf 500°C. Durch die Absenkung der Verbrennungstemperatur entsteht ein großer Teil der Stickoxide gar nicht mehr.

Was die anderen Schadstoffemissionen anbelangt, kann eine hohe Abgasrückführungsrate den Anteil an Kohlenmonoxid (CO) und an unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) im Abgas durch Luftmangel im Zylinder ansteigen lassen. Dieser zusätzliche Anteil kann durch die Behandlung in einem Oxydationskatalysator reduziert werden. Die Abgasrückführung hat auch einen direkten Einfluss auf die Entstehung von Russpartikeln. Der Motorentwickler muss entweder einen Kompromiss zwischen der Bildung von NO<sub>x</sub> und Partikeln finden, oder den Einbau eines Dieselpartikelfilters akzeptieren damit ein optimierter Verbrennungsablauf den NO<sub>x</sub> Anteil bestmöglich reduziert.

Die Abgasrückführung erfolgt im Teillastbereich bis etwa 3000 1/min wobei ein hoher Luftüberschuss vorhanden ist. Die Abgasrückführung erfolgt auch manchmal im Leerlauf, jedoch mit begrenzter Dauer. Eine Rückführung der Abgase bei Vollast würde wegen des erzeugten Luftmangels zur Schwarzrauchbildung und zu Leistungsverlust führen (**Bild 5**). Die Rückführungsphasen werden durch das Öffnen und Schließen des AGR Ventils, das durch das Motorsteuergerät geregelt wird, bestimmt.

### Bild VW



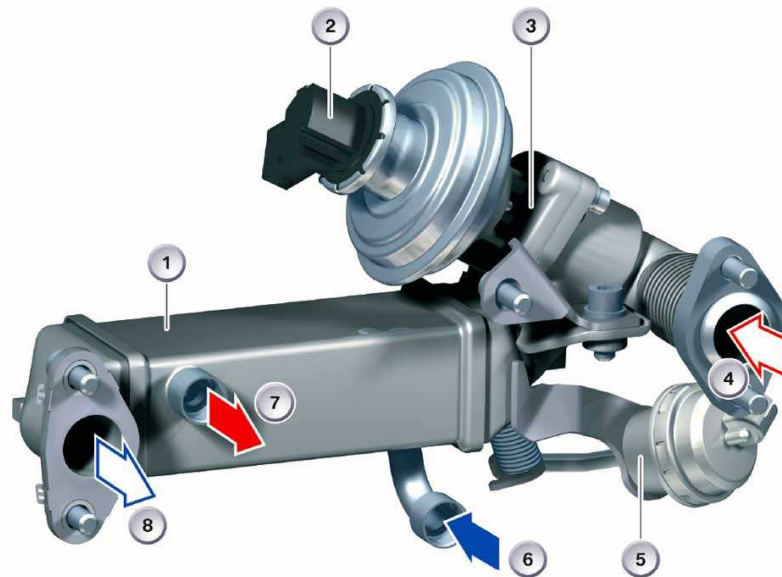
**Bild 5** Abgasrückführungsrate bei einem 5-Zylinder-Motor TDI von Volkswagen.

Bei einem Saugmotor ist der Druck der Abgase beim Verlassen des Zylinders im Verhältnis höher als auf der Ansaugseite (Unterdruck) wodurch keine Durchflussprobleme verursacht werden. Bei aufgeladenen Motoren ist der Abgasdruck im Auspuff manchmal im Teillastbereich unzureichend. Es ist deshalb notwendig zwischen dem Lader und dem Einströmen der rückgeführten Abgase, den Ansaugkanal durch eine Saugdrossel teilweise zu verschließen (Bild 4). Eine andere Möglichkeit wäre, den Ladedruck zu senken.

## Gekühlte Abgasrückführung

Gekühltes Abgas senkt die Verbrennungstemperatur und erhöht die Dichte des Abgases, wodurch Abgasrückführungsraten von 60 % möglich sind. Der AGR-Kühler hat sich mit Einführung der Euro 4 bei Dieselmotoren durchgesetzt. Die Abgastemperatur die beim Eintritt, je nach Lastzustand des Motors, zwischen 400°C und 700°C beträgt, kann so bei den leistungsfähigsten Systemen auf 150 °C abgekühlt werden (**Bild 6**).

**Bild BMW**



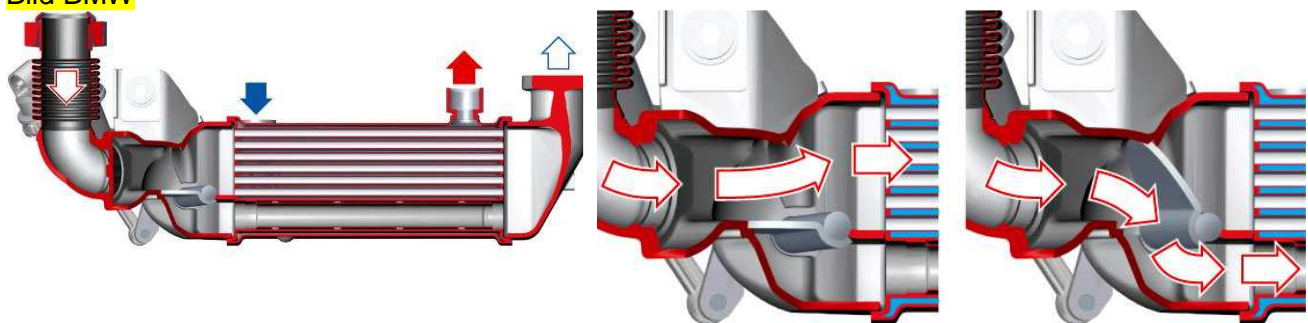
**Bild 6** AGR-Einheit mit Bypasskanal eines BMW 2,0 Diesel. Das Abgas wird vor dem Eintritt in das Ansaugrohr mit Kühlmittel gekühlt. 1 = AGR-Kühler; 2 = Stellungssensor; 3 = AGR-Ventil; 4 = Heißes Abgas; 5 = Unterdruckdose der Umschaltklappe; 6 = Einströmen der Kühlflüssigkeit; 7 = Ausströmen der Kühlflüssigkeit; 8 = Gekühltes Abgas.

Der Wärmeaustauscher verwendet das Kühlsystem des Motors. Die Kühlmittelpumpe lässt das Kühlmittel durch den Kühlmantel zirkulieren, der die Auspuffgase umschließt.

In Verbindung mit der Euro 4 werden immer mehr geschaltete AGR-Kühler verwendet. Dies ist notwendig, um bei kaltem Motor einen schnelleren Anstieg der Katalysatortemperatur zu erreichen und so die CO- und HC-Werte schneller umzuwandeln. Parallel zum AGR-Kühler gibt es einen Bypass der durch eine unterdruckgesteuerte Klappe komplett geöffnet oder verschlossen wird (**Bild 7**).

**Hinweis:** Durch die AGR-Kühlung besteht eine neue Schnittstelle zwischen Abgas und Kühlmittel, wodurch Kühlmittel im Abgasstrom gelangen könnte oder Abgase in den Kühlmittelkreislauf.

**Bild BMW**

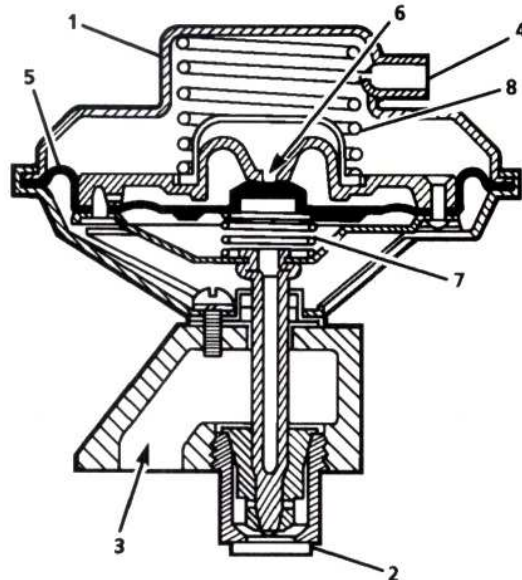


**Bild 7** Funktionsprinzip eines geschalteten AGR-Kühlers. Ab 60 °C Kühlmitteltemperatur schaltet die Klappe um.

## Ansteuerung Abgasrückführungsventil

Die Steuerung der ersten Abgasrückführungsventile erfolgte pneumatisch oder elektromagnetisch. Ein elektrisches Magnetventil steuert den Unterdruck zu einer membranbetätigten Unterdruckdose (**Bilder 8**). Diese Ausführung isolierte den elektrischen Teil von dem mit hohen Temperaturen ausgesetztem AGR-Ventil.

### Bild Renault



**Bild 8** AGR-Ventil eines Renault Scenic 1,9 dCi. 1 = Gehäuse; 2 = Eingang Abgase; 3 = Ausgang Abgase; 4 = Unterdruckanschluss; 5 = Membrane; 6 = Sekundärkammer; 7 = Kontaktfeder; 8 = Rückhaltefeder.

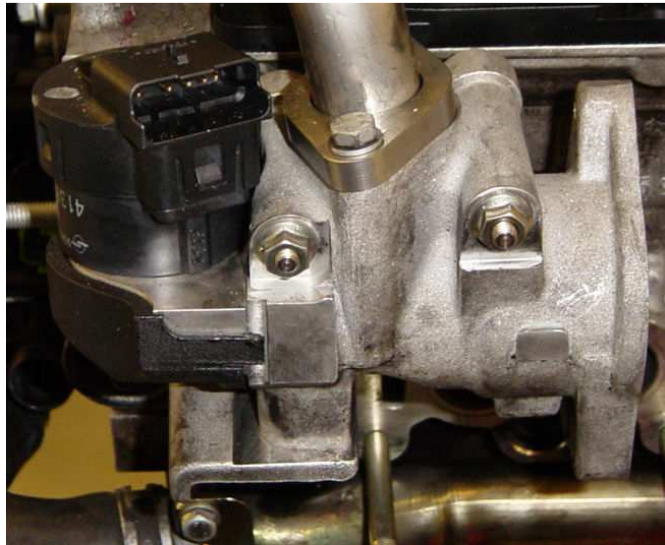
Das Magnetventil erhält ein pulsweitenmoduliertes Signal (PWM). Das AGR ist geschlossen bei einem Tastverhältnis von 10% und offen bei einem Tastverhältnis von 90%. Ebenso ist es möglich eine bestimmte Rückführrate der Auspuffgase einzustellen. Im Fehlerfall, bei Kabelbruch oder bei fehlendem Unterdruck ist das AGR-Ventil durch die Rückhaltefeder verschlossen. Im weiteren Verlauf wurden auch AGR-Ventile mit einem Positions-Sensor versehen, wodurch ein geschlossener Regelkreis möglich war, dies führte zu einer genaueren Abgasrückführrate.

Seit Euro 3 wird vermehrt die Funktion des AGR-Ventils vom Motorregelungssystem überprüft (Geschlossener Regelkreis). In den meisten Fällen verwendet das Motorsteuergerät dazu das Signal des Luftmassenmessers und/oder wie oben beschrieben einen Weggeberpotentiometer. Die gemessene Luftmasse dient als Rückmeldesignal. Bei geöffnetem AGR-Ventil wird ein Teil der normalerweise angesaugten Frischluft durch Abgase ersetzt, wodurch die zu messende Luftmasse entsprechend absinkt. Das AGR-Ventil wird so angesteuert, dass je nach Betriebszustand des Motors (Ladedruck, Drehzahl und Einspritzmenge) der Sollwert des Luftmassenmessers laut AGR-Kennfeld erreicht wird.

**Hinweis:** Bei defektem Luftmassenmesser wird meist ein zu geringer Luftmassenstrom gemeldet. Für den AGR-Regelkreis sieht das so aus, als wenn das AGR-Ventil schon etwas geöffnet wäre. Im Ergebnis wird die Abgasrückführrate daher um den Betrag reduziert, den der Luftmassenmesser zuwenig meldet.

Mit Einführung der Euro 4 wurde vermehrt eine elektrische Ansteuerung verwendet. Die einfachste Ausführung besteht aus einem simplen Elektromagneten der eine Drehscheibe betätigt. Das Verlangen der Motorentwickler nach noch genaueren Steuerungen der Abgasrückführungsrate, führte jedoch dazu, dass das unterdruckgesteuerte Magnetventil durch einen elektrischen Antrieb ersetzt wurde. Der elektrische Antrieb wandelt durch ein inneres Getriebe die Drehbewegung in eine Längsbewegung um (**Bilder 9 + 10**).

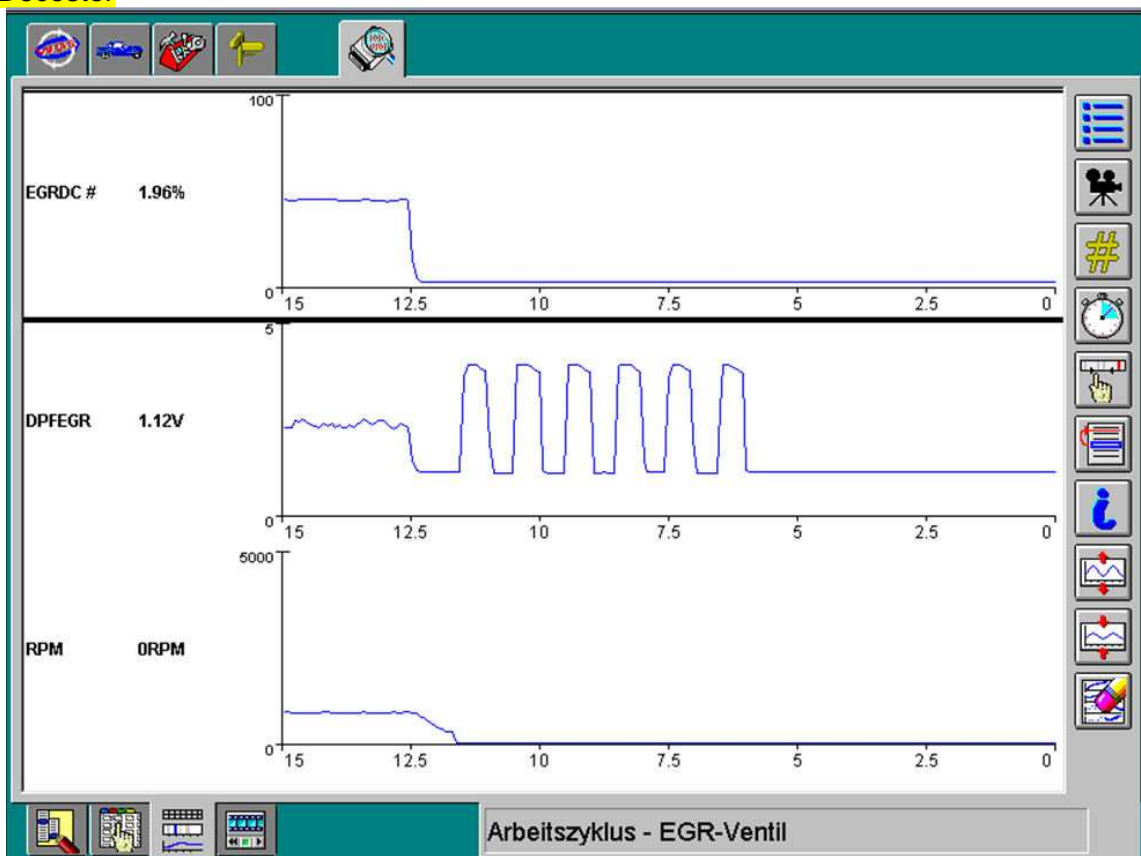
## Bild Mahle/Decoster



**Bilder 9 + 10** Elektrisches AGR-Ventil (links). Das elektrisch angesteuerte AGR-Ventil ist beim DW-10 Motor von PSA direkt am Zylinderkopf angeflanscht (rechts).

Bei den elektrisch angesteuerten AGR-Ventilen wird mitunter nach jedem Abstellen des Motors vom Motorsteuergerät ein Reinigungsmodus aktiviert, wobei das AGR-Ventil (durch maximale Ansteuerung des Gleichstrommotors) von vollständig geöffneter in vollständig geschlossener Position gefahren wird (**Bild 11**).

## Bild Decoster



**Bild 11** Man sieht deutlich den eingeleiteten Reinigungszyklus (DPFEGR) nach Abstellen des Motors (RPM = 0 1/min), der verhindert soll das sich AGR-Ventil festsetzt und dient gleichzeitig zur Adaptierung des Schließpunktes.

Mit steigender Betriebszeit des Motors ist es dennoch möglich, dass sich durch vorbeiströmenden Abgase Reststoffe am Ventilsitz des AGR-Ventils anlagern wodurch sich der mechanische

Schließpunkt des AGR-Ventils verschieben könnte. Aus diesem Grund wird der Schließpunkt in regelmäßigen Abständen neu adaptiert.

**Hinweis:** Wird ein neues AGR-Ventil eingebaut, muss das Motorsteuergerät meist auf das neue Ventil angelernt werden. Dies geschieht mittels eines Diagnosegerätes im Arbeitsmodus Anpassung oder Grundeinstellung.

### **Mechanische, thermische und chemische Belastungen**

Das AGR-Ventil befindet sich in einem Bereich, in dem es hohen thermischen, mechanischen oder chemischen Belastungen ausgesetzt ist. Die häufigsten Beanstandungen werden durch ein festhängendes Ventil verursacht (**Bild 12**). Dies entsteht in den meisten Fällen durch eine Anhäufung von Kohlenstoff (Verkokung), hervorgerufen durch Öldämpfe (Ölverlust im Bereich des Zylinderkopfes oder des Turbolasers, verschlissene Kolbenringe, zu hoher Ölstand, ...).

**Bild Decoster**



**Bild 12** Das Bild zeigt die Auswirkungen eines blockierten AGR-Ventils im voll geöffneten Zustand. Verbrennen die Kohlenwasserstoff im Kraftstoff unvollständig, entsteht der unerwünschte Dieselfuß.

Ein hoher Russanteil in den Abgasen kann ebenfalls das Ventil blockieren. Eine andere Ursache ist das Phänomen, dass sich eine „Lackschicht“ bildet, die sich auf allen Oberflächen absetzt, höchstwahrscheinlich hervorgerufen durch niedrige Verbrennungstemperaturen und die Anwesenheit von Wasser oder bei bestimmten Temperaturen ausdampfende und beim Erkalten erstarrende Motoröladditive (**Bild 13**). Kraftstoff minderwertiger Qualität kann die Korrosion beschleunigen.

**Hinweis:** Wenn das AGR-Ventil dauernd offen bleibt, sinkt die angesaugte Frischluftmasse durch den hohen Abgasanteil. Das Steuergerät nimmt daraufhin die Einspritzmenge und damit die Motorleistung zurück.



**Bild 13** Eingeschränkte Arbeitsweise eines elektromotorisch angesteuerten AGR-Ventils. AGR-Ventil mit starken Ablagerungen (rechts), im Neuzustand (links) und bei normalem Einsatz (mitte).

Eine andere Beanstandung, welche durch das AGR hervorgerufen werden kann ist ein Beschleunigungsloch. Dies entsteht durch ein verzögertes Schließen des Ventils, wodurch weniger Abgase die Turbine des Turboladers durchströmen. Mitunter wird auch ein mechanisches Klickgeräusch des Ventils festgestellt, das durch eine falsche Ansteuerung verursacht wird.

Zwei Konzepte stehen zur Öffnung des Ventils zur Auswahl: entweder entgegen der Gasflussrichtung (wie bei einem Auslassventil), oder in Gasflussrichtung.

	Ventil mit Öffnung in Gasflussrichtung	Ventil mit Öffnung entgegen der Gasflussrichtung
Vorteile	Geringe Verschmutzung des Ventilschaftes. Geringe Füllungsverluste. Geringere Neigung zur Verkrustung.	Das Ventil schließt unter dem Druck der Abgase.
Nachteile	Verlangt eine höhere Kraft zum Schließen, wegen des Abgasdrucks.	Verschmutzung des Ventilschaftes. Füllungsverluste die den maximalen Durchfluss, durch Anwesenheit des Ventilschaftes, begrenzen.

Auch bei Kurzstreckenfahrer, die ihr Fahrzeug meist nur im Teillastbereich betreiben, kann es im Laufe der Zeit problematisch werden. Die im Ansaugtrakt zurückgeleitete Russmenge aus den Abgasen vermischt sich mit den normalen Öldämpfen aus der Kurbelgehäuseentlüftung zu einer schmierigen schwarzen Masse, die sich im Ansaugkrümmer und auf den Einlassventilen absetzt, den Ansaugquerschnitt erheblich verengen und dadurch die Motorleistung verringern kann. Wenn dies zwischen den Zylindern ungleichmäßig geschieht, kann zudem "relativer Luftmangel" einzelner Zylinder entstehen, die dann verstärkt Ruß produzieren, was das Anwachsen von Ablagerungen im Ansaugtrakt noch weiter beschleunigen kann.

Stellt das Motorsteuergerät Störungen im AGR-System fest, wird die Abgasrückführung abgeschaltet und ein Fehler im Fehlerspeicher abgelegt was nicht dazu führen muss, dass die Motorleuchte aufleuchtet. Ab Euro 4 (2006) muss ein gesetzter Fehlercode die MIL-Leuchte aktivieren.



## Überprüfung der Abgasrückführung

**Allgemeine Prüfung:** Bei einigen Systemen wird die Position des AGR-Ventils durch das Motorsteuergerät gemessen. Mit einem Diagnosegerät kann man über das Auslesen der Parameter bei laufendem Motor, die einwandfreie Funktion des Ventils überprüfen. Ein festhängendes Ventil wird so relativ schnell festgestellt.

Durch das Auslesen der Parameter kann der prozentuale Anteil der AGR-Steuerung und die gemessene Luftmasse (Falls möglich Soll- und Istwert) miteinander verglichen werden und Aufschluss über die einwandfreie Funktion des AGR-Ventils geben. Wird das AGR-Ventil angesteuert muss eine kleinere Luftmasse gemessen werden.

**Sichtprüfung:** Wird das AGR-System über Unterdruck gesteuert, können die Unterdruckleitungen durch eine Sichtprüfung kontrolliert werden. Bei elektrischen Ansteuerungen müssen die Steckverbindungen und Leitungen überprüft werden.

Das mechanische AGR-Ventil kann lediglich im ausgebauten Zustand einwandfrei geprüft werden ob es nicht fest hängt oder gebrochen ist.

**Stellglieddiagnose:** Durch die Stellglieddiagnose können die elektrischen Umschaltventile oder die elektrisch angesteuerten Stellmotoren z.B. durch fühlen oder hören überprüft werden. Schaltet es nicht hör- oder fühlbar, ist es auf innere Verschmutzung, Undichtigkeiten und elektrische Funktion hin zu prüfen. Anschließend wird die Unterdruckversorgung des Druckwandlers mit dem Manometer gemessen.

**Hinweis:** Falls man vermutet, dass das AGR-Ventil sporadisch fest hängt, kann man bei älteren Systemen (Euro 3), ein geeignetes selbstangefertigtes Blechstück am Flansch zwischen dem AGR-Ventil und dem Ansaugkrümmer einbauen. Tritt die Beanstandung bei der anschließenden Probefahrt nicht mehr auf, müssen die Teile des AGR-Systems gereinigt werden und das AGR-Ventil auf Verkokung geprüft werden.