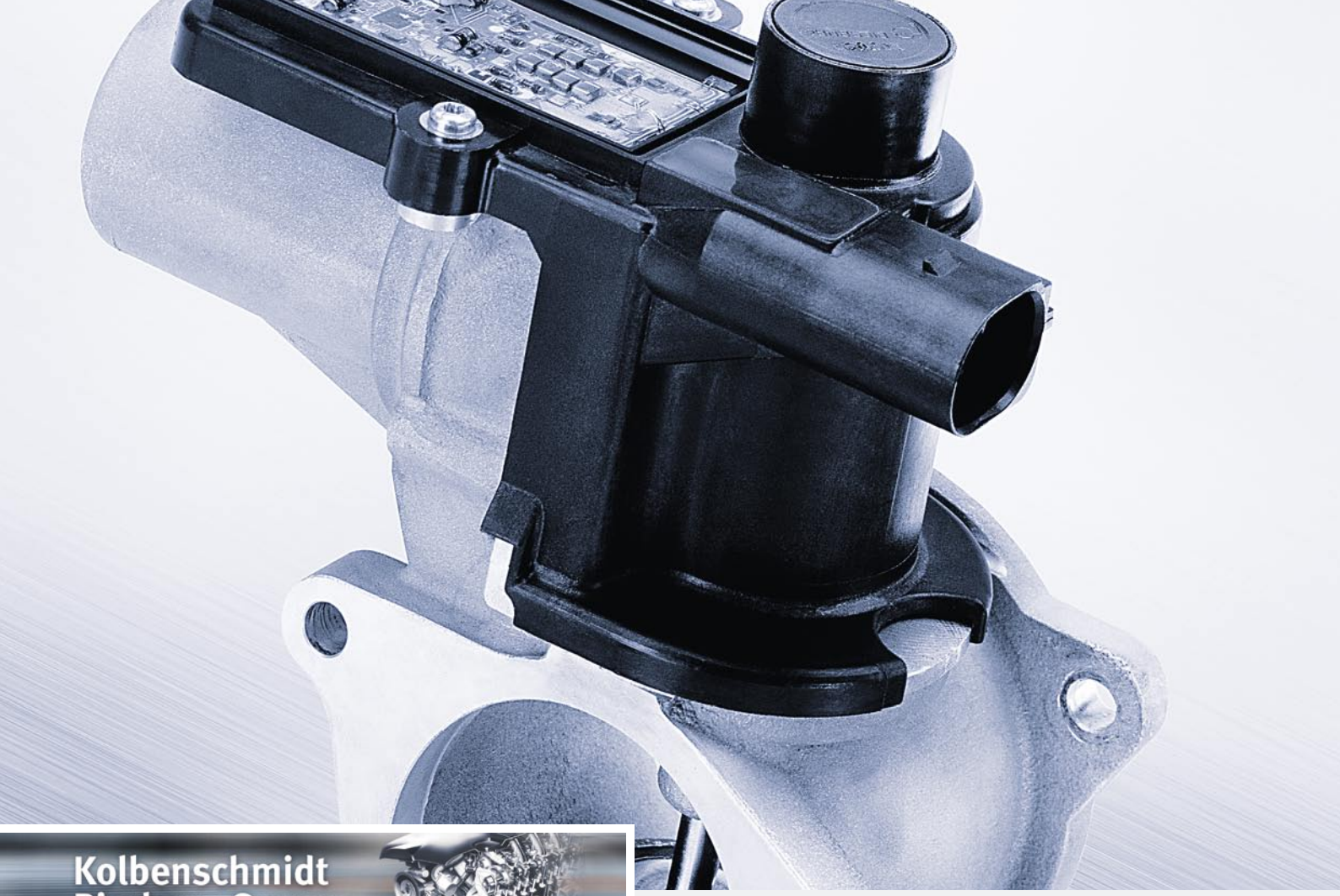


Kolbenschmidt
Pierburg Gruppe

AGR-Ventile

Schadstoffreduzierung mit Abgasrückführungssystemen

PIERBURG

Pierburg-Abgasrückführung – ein Beitrag für eine saubere Umwelt seit mehr als 30 Jahren

Pierburg fertigt seit über 30 Jahren AGR-Ventile in hohen Stückzahlen in Serie und verfügt daher über große Erfahrung bei deren Entwicklung und Herstellung. Im Laufe der Zeit sind pneumatisch betätigte AGR-Ventile von Pierburg zu robusten Komponenten gereift und werden von fast allen Motorenherstellern eingesetzt.

Die AGR-Ventile von Pierburg sind nach einem Baukastenprinzip aufgebaut. Dies ermöglicht unter Beibehaltung des elektrischen und pneumatischen Antriebs Anpassungen an die individuellen, kundenspezifischen Einbauverhältnisse. Pierburg hat mit diesem Prinzip die Voraussetzung für unterschiedlichste Adaptionen sowie die Möglichkeit zur Integration der AGR-Ventile in Drosselklappenstutzen und Saugrohre zwecks flexibler Applikation für eine große Palette von Motorenkonzepten geschaffen.

Um künftige Emissionsgrenzwerte erfüllen zu können, sind enge Toleranzen des AGR-Systems erforderlich, die mit gesteuerten AGR-Systemen nicht erreichbar sind. Daher kommen künftige AGR-Systeme ausschließlich im geschlossenen Regelkreis zum Einsatz. Bei Dieselmotoren wird zwischen Lage- und Luftmassenregelung unterschieden, während bei Ottomotoren mit Saugrohreinspritzung generell Lageregelung verwendet wird.

Bei Ottomotoren mit Direkteinspritzung bieten sich infolge der hohen Abgasrückführraten und der damit verknüpften starken Beeinflussung von Motorparametern durch die Abgasrückführung zusätzliche Regelstrategien und Diagnosemöglichkeiten mithilfe eines Saugrohrdrucksensors oder Luftmassenmessers an.

Stand der Abgastechnik bei modernen Ottomotoren ist eine elektronisch geregelte Gemischbildung, die in allen Betriebszuständen ein Kraftstoff-Luft-Gemisch von $\lambda=1$ einhält.

Der nachgeschaltete, geregelte 3-Wege-Katalysator reduziert die Schadstoffe in höchstem Maße. Die Abgasrückführung ist beim Ottomotor eine sehr wirkungsvolle, motorinterne Maßnahme, um die NO_X-Emissionen schon bei der Entstehung zu minimieren. Abgasrückführung bewirkt durch geringere Ladungswechselverluste einen geringeren Kraftstoffverbrauch und führt somit zur Verringerung aller Schadstoffkomponenten, insbesondere auch der maßgeblich am Treibhauseffekt beteiligten Kohlendioxidemissionen.

Da der Magerbetrieb von Ottomotoren mit Direkteinspritzung den Einsatz von 3-Wege-Katalysatoren ausschließt, sind zur Reduzierung der Stickoxid-Rohemissionen möglichst hohe AGR-Raten notwendig. Durch Abgasrückführung werden die Stickoxide im Rohabgas bis zu 70 % abgesenkt, aber auch der Luftdurchsatz wird erheblich reduziert. Die somit erhöhte Abgastemperatur bewirkt ein besseres Konvertierungsverhalten des Katalysators und somit eine weitergehende Schadstoffreduzierung. Die infolge der geringeren Rohemissionen verminderte Spülhäufigkeit des DeNO$_x$-Katalysators hat einen zusätzlichen indirekten Verbrauchsvorteil zur Folge.

Bei Dieselmotoren werden heute elektronisch gesteuerte Einspritzsysteme eingesetzt, wobei Oxidationskatalysatoren zur Reduzierung von Kohlenwasserstoffen und Partikelemissionen beitragen. Zur NO$_x$-Reduzierung steht bei den Dieselmotoren neben motorischen Maßnahmen wie der Spritzbeginnverstellung die Abgasrückführung als einzige praktikable Lösung zur Verfügung. Die AGR-Kühlung unterstützt durch eine deutliche Absenkung der Temperatur des zurückgeführten Abgases die Effekte der Abgasrückführung und bewirkt somit eine weitere Stickoxidreduzierung.

Wirkungen der Abgasrückführung

Bei hohen Verbrennungstemperaturen entstehen im Brennraum des Motors Stickoxide. Abgasrückführung vermindert durch Absenkung der Verbrennungstemperaturen die Stickoxidemissionen sowohl bei Otto- als auch bei Dieselmotoren schon bei der Entstehung. Bekanntlich werden AGR-Systeme bei Dieselmotoren schon lange als wirksames Instrument zur Stickoxidreduzierung genutzt. In erster Linie wird bei Ottomotoren die Abgasrückführung zur Entdrosselung des Motors im Teillastbereich eingesetzt, um damit eine Verbrauchssenkung zu erzielen. Erst in zweiter Linie wird sie zur Reduzierung der Stickoxidemissionen genutzt. Bedingt durch den Magerlauf betragen die AGR-Raten von Dieselmotoren ein Vielfaches der AGR-Raten von Ottomotoren mit Saugrohreinspritzung.

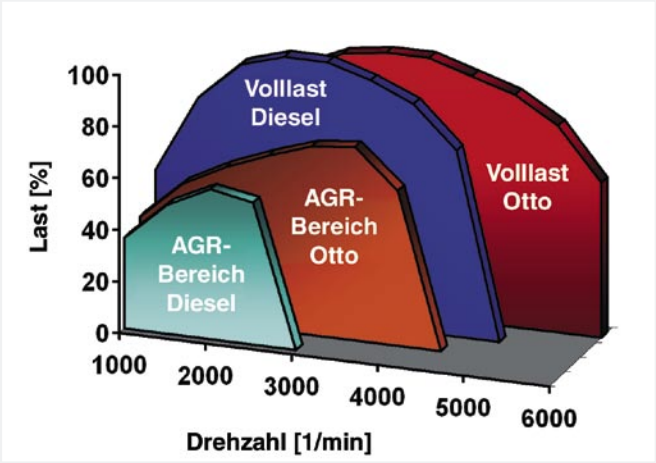


Abb. 1: Die Abbildung zeigt die AGR-Bereiche von konventionellen Otto- und Dieselmotoren

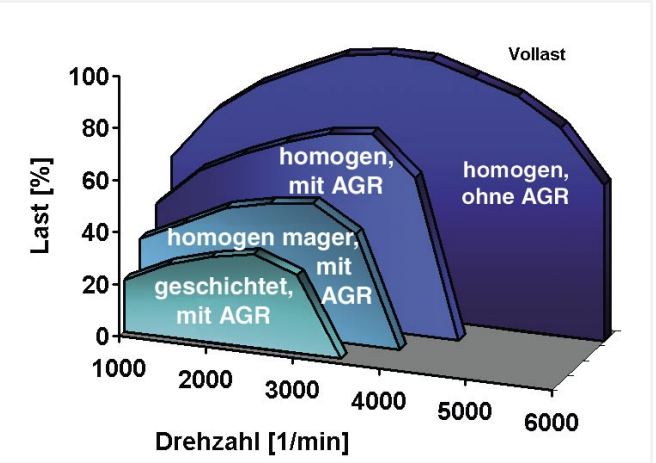
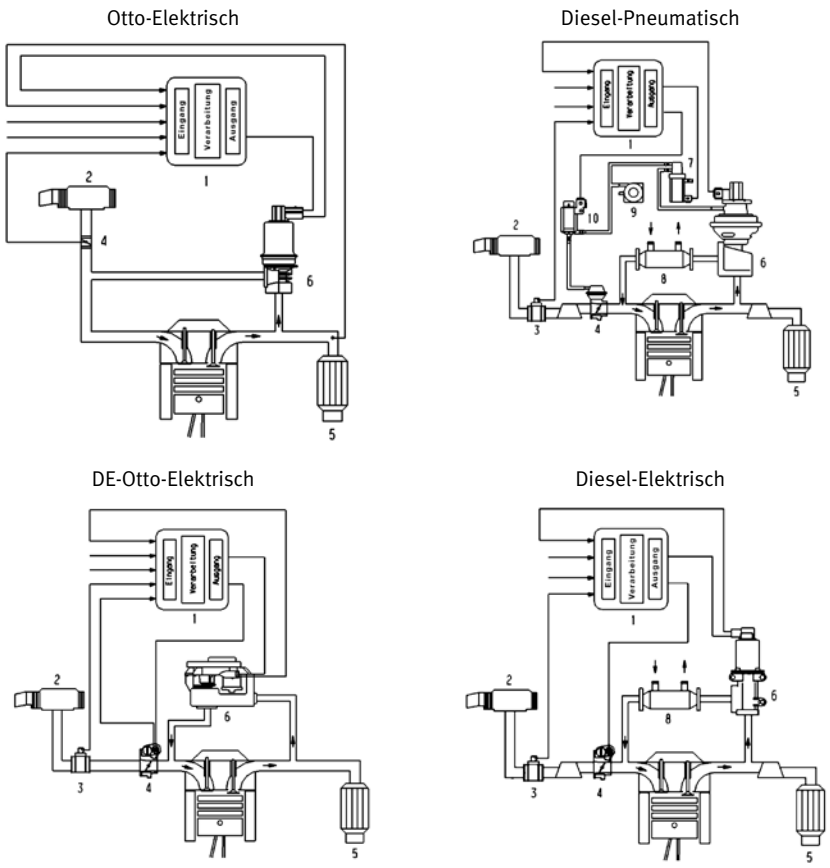


Abb. 2: Bei Ottomotoren mit Direkteinspritzung sind im Schichtbetrieb und im homogen-mageren Betriebsbereich zur Stickoxidreduzierung sowie bei $\lambda = 1$ zur Wirkungsgradverbesserung möglichst hohe AGR-Raten erwünscht

	Diesel-AGR-System	DE-Otto-AGR-System	Otto-AGR-System
Grund für AGR	Stickoxidreduzierung Geräuschreduzierung	Verbrauchs- und Stickoxidreduzierung	Verbrauchs und Stickoxidreduzierung
Max. AGR-Rate	50 %	50 % (30 %, homogen)	20 %
Max. Abgastemperatur im AGR-relevanten Betriebs-vergleich	450 °C	450 °C (650-20 °C, homogen)	650 °C
Sonstiges	Bei Fahrzeugen höherer Gewichtsklasse AGR-Kühlung erforderlich	AGR-Kühlung in Diskussion	
Anforderungen	• hohe Dynamik (langsames Schließen -› Rauchfahne bzw. träges Ansprechverhalten) • gute Dosierbarkeit	• hohe Dynamik • gute Dosierbarkeit (insbesondere bei homogenem Betrieb) • dezentrale AGR-Zufuhr	• Realisierung hoher AGR-Raten bei hoher Last (-› el. AGR-Ventile notwendig)

Tab. 1: Die tabellarische Übersicht zeigt die prinzipiellen Unterschiede der AGR-Systeme für verschiedene Anwendungen

Abb. 3: AGR-Systeme
1. Steuergerät
2. Luftfilter
3. Luftmassensensor
4. Drosselklappe
5. Katalysator
6. AGR-Ventil
7. Elektropneumatischer Wandler
8. AGR-Kühler
9. Vakuumpumpe
10. Elektroumschaltventil



Elektrische Otto-AGR-Ventile

Um die künftigen ökologischen und ökonomischen Herausforderungen mit modernen Verbrennungsmotoren bestehen zu können, benötigen diese im Motorenkennfeld abgestimmte Abgasrückführsysteme. Die externe Abgasrückführung dient nicht nur zur Stickoxidminimierung, sondern beim Ottomotor auch zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs. Hierdurch werden zusätzliche Anforderungen an moderne AGR-Ventile gestellt. Basierend auf der langjährigen Erfahrung mit AGR-Ventilen hat Pierburg elektrische AGR-Ventile entwickelt, die sich gegenüber pneumatischen durch folgende Eigenschaften auszeichnen:

- hohe Dynamik zur schnellen Anpassung des Betriebspunkts
- gute Dosierbarkeit im gesamten Durchsatzbereich
- lineare Kennlinie
- große AGR-Raten
- einfache, direkte Ansteuerung
- hohe Zuverlässigkeit und Laufleistung
- keine Servoenergie (Pneumatik entfällt)
- geringe NO_x-Emissionen
- Senkung des Kraftstoffverbrauchs beim Ottomotor
- geringes Bauvolumen und Gewicht

AGR-Ventil mit Proportionalmagnet

Als Absperrorgan dient bei diesem AGR-Ventil ein Ventilteller, der gegen die Strömungsrichtung des Abgases geöffnet wird. Die Anpassung des Durchflusses an bestimmte Betriebszustände des Ottomotors erfolgt durch eine Änderung des Tastverhältnisses, das mittels des Proportionalmagneten einen entsprechenden Hub des Ventiltellers bewirkt. Kombiniert mit einem Wegsensor zur Lagerückmeldung des Ventilstößels mit exakter Positionierung bei guter Reproduzierbarkeit, ist dieses Ventil geeignet für den Einsatz in einem AGR-System mit geschlossenem Regelkreis. Bei vergleichsweise geringem Bauvolumen und Gewicht sowie niedrigen Systemkosten wird diese robuste Konstruktion allen Anforderungen gerecht, die an ein modernes AGR-Ventil gestellt werden.

AGR-Ventile für Ottomotoren mit Direkteinspritzung

Im Homogenbetrieb der Ottomotoren mit Direkteinspritzung entspricht die Nutzung der Abgasrückführung der konventioneller Ottomotoren. Aufgrund höherer AGR-Toleranz sind die AGR-Raten jedoch auch bei Homogenbetrieb höher. Im Schichtbetrieb sind mit Dieselmotoren vergleichbare AGR-Raten erreichbar.

Funktionell sind elektrisch betätigte AGR-Ventile für DE-Otto-Anwendungen mit AGR-Ventilen für Ottomotoren mit Saugrohreinspritzung bzw. Dieselmotoren identisch. Charakteristisch sind die größeren Querschnitte sowie hinsichtlich hoher thermischer Beanspruchung und Verschmutzungsunempfindlichkeit weiterentwickelte Komponenten.

Abb. 4: Elektrisches AGR-Ventil für Ottomotoren mit Wasserkühlung

Abb. 5: AGR-Ventil mit Proportionalmagnet

Durch Einsatz der Abgasrückführung in den verschiedenen Betriebsmodi der Ottomotoren mit Direkteinspritzung ergibt sich für diese AGR-Systeme folgendes Anforderungsprofil:

- hohe Dynamik
- gute Dosierbarkeit
- hoher AGR-Durchsatz
- hohe Temperaturbeständigkeit
- geringe Leckage
- gute Gleichverteilung
- Verschmutzungsunempfindlichkeit
- Dauerhaltbarkeit
- Diagnosefähigkeit
- geringe Systemkosten

Bei zentraler AGR-Zufuhr erfolgt die Einleitung des zurückgeführten Abgases unmittelbar hinter der Drosselklappe in das Saugrohr. Als Steuerorgan kommen elektrisch betätigte AGR-Ventile mit Gleichstromantrieb zum Einsatz.

Eine dezentrale oder „zylinderindividuelle“ AGR-Zufuhr wird dem eingangs erwähnten Anforderungsprofil vollständig gerecht. Hierbei erfolgt die AGR-Einleitung in unmittelbarer Nähe der Einlassventile des Motors in die Schwingrohre bzw. Saugkanäle. Die dezentrale Zuteilung des zurückgeführten Abgases erfolgt über einzelne AGR-Kanäle (entsprechend der Zylinderzahl des Motors). Eine einfache Aufteilung der AGR-Leitungen und Zufuhr des Abgases in die Saugkanäle führt durch Kurzschluss der Schwingrohre über die AGR-Leitungen infolge Beeinflussung der Ansaugdruckpulsationen zwischen den einzelnen Zylindern bei Vollast zu Füllungsverlusten. Um diesen unerwünschten Effekt zu vermeiden, ist eine konsequente Trennung der einzelnen AGR-Kanäle bei inaktiver Abgasrückführung notwendig. Die Umgehung des Sammlers bei dezentraler AGR-Zufuhr führt neben einer geringeren thermischen Belastung der Komponenten des Saugmoduls zu besseren Wirkungsgraden bei Ladungswechseln unmittelbar nach Lastsprüngen. Darüber hinaus wird eine Verschmutzung der bei konventionellen AGR-Systemen in der Nähe der AGR-Einleitung angeordneten oder nachgeschalteten Komponenten (Drosselklappe, Saugrohr, Elemente zur Drall- oder Tumble-Steuerung) weitgehend vermieden. Aus Funktions- und Kostengründen kommen Drehschieberventile zum Einsatz, die über eine entsprechende Anzahl von Steuerquerschnitten mit gemeinsamer Betätigung über ein Stellglied verfügen. Mittels geeigneter Auslegung der Geometrie der Steuerquerschnitte ist im Gegensatz zu z. B. Tellerventilen eine nahezu beliebige Durchflusscharakteristik und somit gute Dosierbarkeit auch bei relativ großen Querschnitten darstellbar. Die Regelung des dezentralen AGR-Systems erfolgt analog zu konventionellen AGR-Ventilen mit Hilfe einer Lagerückmeldung.

Diesel-AGR-Systeme

Pneumatisch betätigte Pierburg-AGR-Systeme heben sich durch folgende Eigenschaften von anderen Systemen ab:

- Robustheit
- Flexibilität beim Package
- geringer Energieverbrauch
- geringes Gewicht
- geringe Kosten

Die Steuerung der AGR-Ventile erfolgt pneumatisch. Eine Unterdruckdose betätigt die Ventilstange in der Weise, dass der Öffnungsquerschnitt des Ventils beliebig variiert werden kann. Die dazu notwendige Modulation des Unterdrucks erfolgt mit dem elektropneumatischen Wandler (EPW).

Abb. 6: Elektromotorisches (EM) AGR

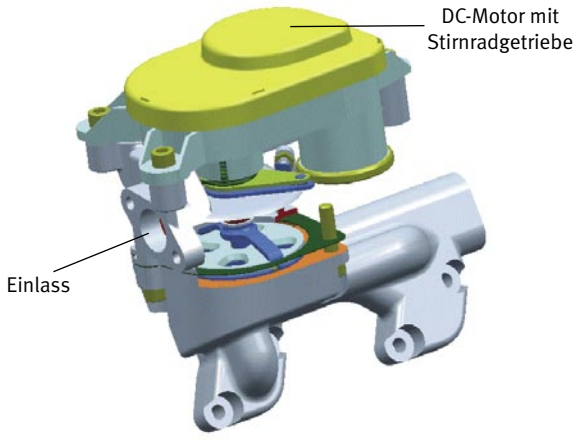


Abb. 7: Drehschieber AGR-Ventil

Abb. 8: Pneumatisches Diesel-AGR-Ventil

Zur Steuerung der Abgasrückführraten werden als Führungsgrößen im AGR-System verschiedene Sensoren eingesetzt. Mittels eines Hubsensors kann im Motorsteuergerät eine Lageregelung realisiert werden. Alternativ dazu bietet eine Luftmassenregelung den Vorteil der Erfassung eines direkt von der AGR-Rate abhängigen Signals. Um eine ausreichende Signalauflösung in weiten Betriebsbereichen zu erzielen, d.h. Reaktionen des LMS-Ausgangssignals auch auf kleine Änderungen der AGR-Rate zu erfassen, ist dabei der Einsatz pulsationskompensierter Luftmassensensoren mit linearisierter Kennlinie besonders vorteilhaft.

Für die Diagnose des AGR-Systems werden neben Druck- auch Temperatursensoren zur Detektierung von möglichen Fehlfunktionen im System herangezogen.

Abb. 9: Standard-AGR-Ventil mit Laderückmeldung

In Diesel-AGR-Systemen werden teilweise Klappensteller zur Drosselung der Ansaugluft und damit zur Erhöhung der Druckdifferenz eingesetzt, um hohe AGR-Raten zu gewährleisten. Die Ansteuerung der Drosselklappe erfolgt heute überwiegend pneumatisch. Die pneumatische Betätigung der Drosselklappe wird jedoch zunehmend durch einen elektromotorischen Antrieb ersetzt. Beide Ausführungen können auf Wunsch mit Sensoren zur Lagerückmeldung ausgestattet werden.

Abb. 10: Elektropneumatischer Wandler

Abb. 11: Luftmassensensor

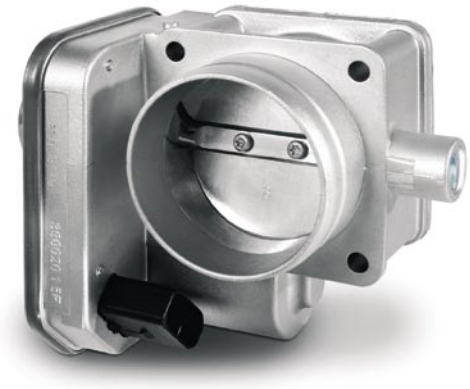


Abb. 12: Elektrische Drosselklappe

Elektrisches Diesel-AGR-Ventil mit Druckkompensation

Das AGR-Ventil muss beim Dieselmotor sicher gegen Abgasgegendruck und Ladedruck dichten sowie bei einer Lasterhöhung sehr schnell schließen. Anderenfalls treten sog. Rauchstöße auf bzw. ist mit einem erhöhten Partikelausstoß zu rechnen.

Eine hohe Dynamik des AGR-Ventils wurde mit Hilfe eines Proportionalmagneten realisiert. Aufgrund ihrer druckkompensierenden Konstruktion (Doppeltellerventil) zeichnen sich elektrisch betätigte Pierburg-AGR-Ventile durch einen sehr hohen Gasdurchsatz sowie durch Pulsationsunempfindlichkeit, sicheres Dichten gegen erhöhten Abgasgegendruck und gute Ansteuerbarkeit aus.

Optimale Stickoxidreduzierung bei teilweiser Partikel- und Kohlenwasserstoffminimierung ist hiermit erzielbar. Vorteile hinsichtlich der Akustik ergeben sich zusätzlich, da ein durch Abgaspulsationen erzeugtes Ventilsitzprellen im Öffnungsbereich des Ventils vermieden wird.

Die Anpassung des Durchflusses an bestimmte Betriebszustände des Dieselmotors erfolgt durch die Vorgabe des Tastverhältnisses im Dieselsteuergerät (EDC), das mittels des Proportionalmagneten einen entsprechenden Hub des Ventiltellers bewirkt. Kombiniert mit einem Weggeber zur Lagerückmeldung des Ventilstößels mit exakter Positionierung bei guter Reproduzierbarkeit, wird dieses Ventil in einem hubgeregelten AGR-System eingesetzt. In einem AGR-System mit geschlossenem Regelkreis, in dem ein Luftmassensensor als Führungsgröße dient, findet das elektrische AGR-Ventil ohne zusätzliche Lagerückmeldung Anwendung.

Abb. 14: Elektromotorisches Diesel AGR-Ventil

Abb. 15: AGR-Kühler Modul

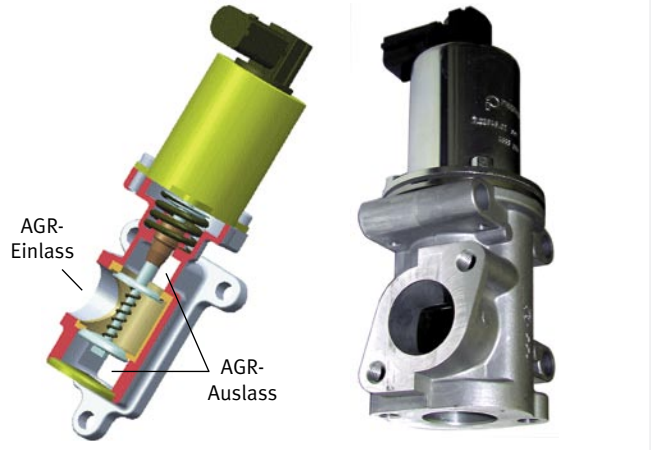


Abb. 13: Elektrisches Diesel-AGR mit Lagerückmeldung

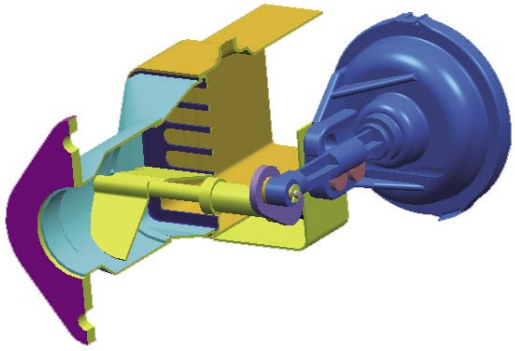


Abb. 16: Kühlerbypass-Klappe

Elektromotorisch angetriebenes AGR-Ventil für Otto- und Dieselmotoren mit Direkteinspritzung

Elektromotorisch angetriebene AGR-Ventile, kurz EM-AGR, kommen bei Otto- und Dieselmotoren mit Direkteinspritzung zum Einsatz. Das Absperrorgan dieses AGR-Ventils ist ein Ventilteller, der gegen die Strömungsrichtung des Abgases geöffnet wird. Als Antrieb dient hierbei ein Gleichstrommotor mit nachgeschaltetem Planetengetriebe, wobei die rotatorische Bewegung mittels eines desmodromischen Exzenterantriebes in eine Linearbewegung umgesetzt wird. Durch Umkehrung der Drehrichtung des Gleichstrommotors wird eine motorische Schließkraftunterstützung und somit ein schnelles, sicheres Schließen bei geringer Leckage erreicht. Im Vergleich zu Doppeltellerventilen mit Hubmagnet zeichnen sich EM-AGR-Ventile durch hohe Verstelldynamik bei zugleich hohen Stellkräften und robuster, verschmutzungsunempfindlicher Eintellerventiltechnik mit hohem Durchsatz aus. Bei mit dem Proportionalmagneten vergleichbarem Bauvolumen können mit dem EM-AGR höhere Stellkräfte realisiert werden, die große Ventilquerschnitte und damit hohe Durchsatzraten ermöglichen. Dieses Ventil zeichnet sich durch kompakte Bauweise bei geringem Gewicht aus.

Pierburg EM-AGR-Ventile werden optional mit einer CAN-Busfähigen, integrierten Elektronik angeboten, welche die Leistungselektronik sowie eine Lage-Regelung enthält. Diese Elektronik führt zu höherer Regelgenauigkeit, verbesserter Dynamik und zu geringerem Applikationsaufwand beim Kunden.

Die Steuerung der Abgasrückführung und Kühlung legt konstruktiv eine weitgehende Integration des AGR-Systems nahe. Die fachgerechte Integration des AGR-Systems, auch der AGR-Leitungen, mit allen Komponenten zur Abgasrückführung, d.h. AGR-Ventil, AGR-Kühler und Kühlerbypass in ein Modul, ermöglicht eine kostengünstige und dauerhaft haltbare Lösung bei optimaler Funktionalität. Durch die frühzeitige Einbindung eines Entwicklungspartners, der über entsprechendes Know-how auf dem Gebiet der Abgasrückführung verfügt, ist die Entwicklung eines optimalen AGR-Moduls gewährleistet.

Merkmal	Elektr. Otto-AGR-Ventil	Elektr. Drehschieberventil	Pneu. Diesel-AGR-Ventil	Diesel-AGR-Ventil mit Hubmagnet	EM-AGR Diesel / Otto-DE
Durchsatz	‹ 60 Kg/h (Δp=200 hPa)	‹ 200 Kg/h (Δp=200 hPa)	‹ 180 Kg/h (Δp=50 hPa)	‹ 180-20 Kg/h (Δp=50 hPa)	‹ 180 Kg/h (Δp=50 hPa)
Ventilleckage, Δp=600 hPa	‹ 0,3 Kg/h	‹ 1-20 Kg/h	‹ 0,7 Kg/h	‹ 1-20 Kg/h	‹ 0,5 Kg/h
max. Umgebungstemperatur	- 40...150 °C	- 40...150 °C	- 40...150 °C	- 40...150 °C	- 40...150 °C
max. Temperatur am Steller	200 °C	180 °C	200 °C	200 °C	200 °C
zul. Abgastemperatur am AGR-Einlass	150...650 °C	150...650 °C	150...650 °C	150...550 °C	150...550 °C
nominelle Stromaufnahme	1 A	1,8 A	1 A (EPW)	1,2 A	1,5 A
Schwingfestigkeit axial / radial	20 / 30 g	30 / 30 g	30 / 30 g	10 / 30 g	30 g
Gewicht [Kg], ca.	0,7 Kg	0,8 Kg	0,6 Kg	0,9 Kg	0,7 Kg
Ansteuerfrequenz	100...150 Hz	140 Hz	250 Hz (EPW)	100...150 Hz	› 1000 Hz
Lagerückmeldung (Potentiometer / berührungslos)	ja	ja	optional	optional	ja,optional integrierte Ansteuerung
Anbaulage - vertikal	± 85°	± 45°	± 85°	± 85°	± 85°

Tab. 2: Technische Daten der AGR-Ventile

www.kolbenschmidt-pierburg.com

Pierburg GmbH
Alfred-Pierburg-Straße 1
D-41460, Neuss
Telefon: +49 (0) 21 31 520-1
Fax: +49 (0) 21 31 520-6 45

Änderungen vorbehalten. Gedruckt in Deutschland. A|IX|e