

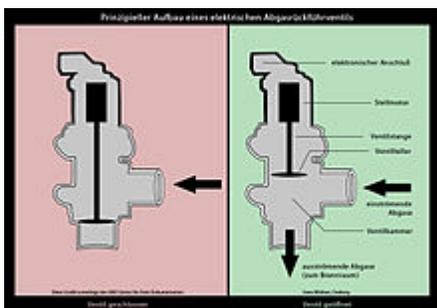
Abgasrückführung

Inhaltsverzeichnis

- [1 Zielsetzung](#)
- [2 Systematik](#)
 - [2.1 Dieselmotoren](#)
 - [2.2 Ottomotoren](#)
- [3 Funktionsweise](#)
 - [3.1 Hochdruck-Abgasrückführung \(HD-AGR\)](#)
 - [3.2 Niederdruck-Abgasrückführung \(ND-AGR\)](#)
 - [3.3 Abgasrückführung bei Ottomotoren](#)
 - [3.4 Steuerung der Abgasrückführung](#)
- [4 Verbreitung](#)
- [5 Zielkonflikte und Problemlösungen](#)
- [6 Mechanische Probleme](#)

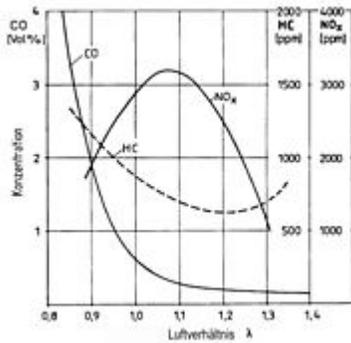
Die Abgasrückführung (AGR, engl. EGR Exhaust Gas Recirculation) bezeichnet die Rückführung von Abgasen in den Verbrennungskreislauf. Sie dient der Emissionsminderung von Stickoxiden (NO_x), die bei der Verbrennung von Kraftstoff in Ottomotoren, Dieselmotoren, Gasturbinen, Heizkesseln usw. entstehen. Mit der Abgasrückführung werden Stickoxide bereits während der Verbrennung vermindert, denn alleine mit Maßnahmen der Abgasnachbehandlung (selektive katalytische Reduktion, NO_x-Speicherkatalysator), die zu einer chemischen Reduktion der Stickoxide führen, sind die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte nicht oder nur mit hohem Aufwand einhaltbar. Das gilt insbesondere seit Einführung der Euro-VI-Grenzwerte für PKW im September 2014. Bei Dieselmotoren ist die Abgasrückführung eine der wichtigsten Maßnahmen zur Senkung der Stickoxidemissionen. Bei Ottomotoren trägt die Abgasrückführung außerdem zu einer Senkung der Ladungswechselperluste bei und reduziert damit zusätzlich noch den Kraftstoffverbrauch im Teillastbereich. Bei der geschichteten AGR wird das rückgeführte Abgas bewusst inhomogen – außerhalb des Kerzen- oder Einspritzventil-Bereichs – verteilt, um im Kernbereich der Verbrennung nur einen geringen Abgasanteil zu haben.[1]

Im Zusammenhang mit Großanlagen wird das Verfahren als [Rauchgasrezirkulation](#) bezeichnet.



Aufbau eines Abgasrückführventils

1 Zielsetzung



Verlauf der Schadstoff-Konzentration im Abgas als Funktion der [Luftzahl](#) ? bei einem [Ottomotor](#)

Bei hohen Verbrennungstemperaturen entstehen im Motor umweltschädliche Stickoxide. Je höher die Verbrennungstemperaturen im Zylinder sind und je länger der Zeitraum oberhalb 2300 K Verbrennungstemperatur, desto höher ist auch der Anteil von Stickoxiden im Abgas. Dieser Zusammenhang wird in den Gleichungen des [Zeldovich-Mechanismus](#) beschrieben. Ein entscheidendes Kriterium ist dabei das [Verbrennungsluftverhältnis](#), wie man nebenstehender Grafik entnehmen kann. Unterhalb eines [stöchiometrischen](#) Luftverhältnisses $\lambda = 1$ (also bei *fetten* Gemischen) ist der NO_x-Anteil sehr gering, weil die Sauerstoffmoleküle für die Oxidation der Kohlenstoff- und Kohlenwasserstoffmoleküle benötigt werden. Bei Luftverhältnissen oberhalb $\lambda = 1$ (also bei zunehmend *mageren* Gemischen) steigen zunächst die Stickoxidemissionen deutlich an, da das Angebot an freiem Sauerstoff wächst. Je größer das Luftverhältnis λ eingestellt ist, desto größer ist auch das Sauerstoffangebot, allerdings sinkt die Verbrennungstemperatur bei weiter steigendem Luftverhältnis. Das Maximum der Stickoxidbildung ist in der Grafik bei $\lambda = 1,1$ erreicht. Wird in diesem Beispiel der Motor noch magerer betrieben, fallen die Stickoxidanteile aufgrund der sinkenden Verbrennungstemperatur wieder.

Bei der Beschreibung der Zielsetzung muss zwischen Otto- und Dieselmotoren unterschieden werden. Grundsätzlich jedoch gilt folgender Zusammenhang: Bei der Verbrennung eines [Kraftstoff](#)-Luft-Gemisches im [Brennraum](#) eines Verbrennungsmotors werden die Kohlenwasserstoff-Moleküle des eingesetzten Kraftstoffs mit Luftsauerstoff oxidiert. Der eingesetzte Sauerstoff wird beim [Ottomotor](#) vollends aufgebraucht ([stöchiometrische Verbrennung](#)), so dass sich im Abgas nahezu keine Sauerstoff-Moleküle mehr befinden.

Nach dem [Zeldovich-Mechanismus](#) steigt die Stickoxidbildung exponentiell mit der Verbrennungstemperatur. Wird der eingesetzten Reinluft Abgas zugemischt, sinkt die Sauerstoffkonzentration des Gemisches. Aufgrund der so verursachten geringeren Sauerstoffkonzentration wird weniger [Kraftstoff](#) eingespritzt, um diesen trotzdem vollständig zu verbrennen. Dadurch sinken sowohl die Heizenergie des Gemisches sowie Reaktionsgeschwindigkeit und Verbrennungstemperatur (und infolgedessen auch die Motorleistung). Daher bilden sich weniger Stickoxide; Kühlen des rückgeführten Abgases verstärkt den Effekt.

2 Systematik

- Interne [AGR](#): Das [Auslassventil](#) bleibt – geregelt über die [Nockenwellenverstellung](#) – während des [Ansaugtakts](#) zeitweise geöffnet, wodurch Abgas direkt in den Zylinder zurückgesaugt wird.

- Externe [AGR](#): Das Abgas wird aus dem Abgastrakt entnommen und über eine Leitung, einen Kühler und ein Ventil dem Ansaugtrakt zugeführt.

Man unterscheidet bei externen [AGR](#):

- Niederdruck-[AGR](#): Die Entnahme erfolgt nach der Abgasnachbehandlung, die Einleitung vor dem [Turboverdichter](#).
- Hochdruck-[AGR](#): Die Entnahme erfolgt vor der Turbine des Turboladers und der Abgasnachbehandlung, die Einleitung nach dem [Ladeluftkühler](#) und der [Drosselklappe](#).
- Mehrweg-[AGR](#): Dabei handelt es sich um eine Kombination aus Nieder- und Hochdruck-[AGR](#). Sie wird beispielsweise beim [Mercedes-Benz-OM651](#)-Motor für die Fahrzeugbaureihe A 220 CDI eingesetzt.

2.1 Dieselmotoren

Die Anwendung der [AGR](#) beim Dieselmotor ist seit jeher geprägt von dem Zielkonflikt, geringe Stickoxidemissionen bei gleichzeitiger Minimierung der Partikelemissionen zu gewährleisten. Hohe Abgasrückführaten ziehen geringe Stickoxidemissionen nach sich, fördern jedoch die Bildung von Rußpartikeln während der Verbrennung. Da beides durch die bestehenden [Abgasnormen](#) – beispielsweise die zurzeit in Europa gültige Norm Euro 6 – limitiert ist, gilt es hier genau abzuwägen, wie viel Abgas der Verbrennung wieder zugeführt werden kann. Bei steigender Motorlast nimmt die Neigung des Dieselmotors zur Emission von Rußpartikeln zu. In solchen Betriebszuständen ist also dafür Sorge zu tragen, dass die zusätzlich rußfördernde hohe Rückführrate zurückgenommen wird, um sichtbare Rußausstöße – etwa bei einer Beschleunigung des Fahrzeugs – zu vermeiden. Hierfür ist das Motormanagement verantwortlich. Eine schnelle Erfassung des jeweiligen [Motorbetriebspunktes](#) und eine schnelle Ansteuerung des Rückführventils ermöglichen eine zeitgerechte Anpassung der Rückführrate. Dies ist nur möglich, wenn die Konstruktion des Rückführventils solch schnelle Reaktionen ermöglicht. Mit einer pneumatischen Ansteuerung, wie sie früher üblich war, oder einer elektromagnetischen Betätigung ist man möglicherweise nicht schnell genug. Will man trotzdem auf ein solches Konzept bauen, etwa aus Kostengründen, muss man generell die Höhe der Rückführaten begrenzen und versuchen, die Stickoxide mit anderen Maßnahmen zu begrenzen.

2.2 Ottomotoren

Beim [Ottomotor](#) ist die Zielsetzung für den Einsatz eines Abgasrückführsystems eine andere. Hier steht nicht die Minimierung des Schadstoffausstoßes im Vordergrund, sondern die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs. Dieser wird, insbesondere bei Teillast, durch die Ladungswechselverluste beeinflusst.

Im Teillastbetrieb eines konventionellen Ottomotors erzeugt die Drosselklappe einen Unterdruck im Ansaugkanal, wodurch die angesaugte Luftmasse sinkt und die Motorleistung demzufolge reduziert ist. Gleichzeitig nimmt die Ladungswechselarbeit zu. Das ist seit jeher das Prinzip der Leistungsregulierung beim [Ottomotor](#). Durch Zumischung von Abgas wird für eine gegebene Kraftstoffmenge die Drosselung der Reinluft verringert, folglich werden die zugehörigen Verluste ([Ladungswechselverluste](#)) reduziert.

Handelt es sich um einen [Ottomotor](#) mit direkter Einspritzung in den [Brennraum](#) und [Ladungsschichtung](#), verbrennt im Teillastbetrieb der [Kraftstoff](#) von vorneherein bei Luftüberschuss, d. h. mit weit geöffneten Drosselklappe. Hierdurch sind die Drosselverluste kleiner, der Verbrauch bereits reduziert. Ein zündfähiges Gemisch befindet sich nur rings um die [Zündkerze](#). In diesen Betriebszuständen hat die [AGR](#) eine ähnliche

Wirkung wie beim Dieselmotor: die Verbrennungstemperatur wird abgesenkt und die Stickoxidemissionen verringert.

3 Funktionsweise



Abgasrückführventil des Opel Astra H ([CDTI](#))

Durch Zuführen eines [inerten](#) Gases wird die Entstehung von Stickoxiden gesenkt. Ein solches inertes Gas ist beispielsweise Abgas, von dem ein kleiner Teil zurück in den [Brennraum](#) geleitet wird. Die schnelle Oxidation von Kraftstoffmolekülen wird durch das Vorhandensein von Abgasmolekülen behindert. Die Temperaturspitzen und die NO_x -Emissionen werden somit abgesenkt. Unterstützt wird dieser Effekt durch die höhere Wärmekapazität der Hauptbestandteile des Abgases Kohlendioxid und Wasser (in gasförmigem Zustand).^[2]

Das [Abgas](#) wird in den Ansaugraum zurückgeführt, indem ein Teil über ein [Rohr](#) der angesaugten Frischluft zugemischt wird. Der Anteil des zurückgeführten Abgases darf aber auch nicht zu hoch werden, da ansonsten die Partikelemission ([Ruß](#)) zu stark ansteigt. Die Grenze ist dabei von Last und Drehzahl des Motors abhängig. Die Regelung der Rückführung übernimmt ein außerhalb des Motors angebrachtes Abgasrückführventil (externe Abgasrückführung). In gewissen Grenzen regelbar wird zudem systembedingt bei allen 4-Takt-Motoren das Abgas während des Ansaugtaktes durch ein offenes Auslassventil wieder angesaugt (interne Abgasrückführung).

3.1 Hochdruck-Abgasrückführung (HD-[AGR](#))

Da die rückgeführten Abgase der sogenannten heißen bzw. HD-[AGR](#) hohe Temperaturen aufweisen (bis zu 400 °C), würde es durch die Zumischung des inerten Abgases zur Frischluft im Saugrohr zu verringerten Luftmassen kommen. Dies hat zur Folge, dass die Füllung abnimmt, der Motor mit geringerem Luftverhältnis arbeitet und zudem die mittlere Temperatur der [Frischladung](#) zunimmt. Dies wäre kontraproduktiv. Euro-3-Konzepte verfügten noch über eine nicht gekühlte [AGR](#). Fahrzeuge ab Euro 4 besitzen meist eine gekühlte

[AGR](#)-Strecke. Dies gilt vor allem für schwerere Fahrzeuge. Mittlerweile existieren aber weitaus aufwendigere [AGR](#)-Konzepte.

3.2 Niederdruck-Abgasrückführung (ND-[AGR](#))

ND-[AGR](#) wird weiter hinten, nach dem [Dieselpartikelfilter](#) (DPF) aus dem Abgasstrang entnommen und vor dem [Turbolader](#) wieder zugeführt, was mit kühlerer und partikelarmer [AGR](#) einige Vorteile gegenüber HD-[AGR](#) bietet:

- Ansaugluft wird nicht durch heißes Abgas erwärmt, was den [Liefergrad](#) verbessert.
- der Abgasmassenstrom wird erst nach der Turbine des Abgasturboladers (ATL) reduziert, der so effektiver arbeitet und besser auf Lastwechsel anspricht

Ein technisch zu lösendes Problem der ND-[AGR](#) ist, dass durch [Taupunktüberschreitung](#) der Abgase Kondensat ausfallen und [Korrosion](#) besonders am Verdichter verursachen kann.

Es sind auch Euro-6-Motorkonzepte angedacht, die eine gekühlte ND-[AGR](#)-Strecke und aufgrund von dynamischen und Kaltstart-Aspekten zusätzlich eine ungekühlte HD-[AGR](#)-Strecke aufweisen.

3.3 Abgasrückführung bei Ottomotoren

Bei Ottomotoren wird die Abgasrückführung bewusst zum Absenken des spezifischen Kraftstoffverbrauchs im Teillastbereich eingesetzt. Das Hinzufügen nicht brennbaren Gases ermöglicht es, bei gleicher gewünschter Motorleistung, die [Drosselklappe](#) weiter zu öffnen und die Strömungsverluste an dieser Stelle zu verringern. Bei gezieltem Einsatz einer Abgasrückführung kann so der Verbrauch eines Ottomotors in Teillast mit nur geringen Nachteilen in der Fahrbarkeit abgesenkt werden.

3.4 Steuerung der Abgasrückführung

Die Abgasrückführung findet überwiegend im Teil- und Mittellastbereich statt. Je schwerer das Fahrzeug, desto höher das Lastspektrum; schwere Nutzfahrzeuge verwenden [AGR](#) auch bei Volllast. Auch neue [Ottomotor](#)-Konzepte nutzen Volllast-[AGR](#) als Alternative zur Anfettung. Die maximalen Abgasrückführungsraten betragen bei Dieselmotoren etwa 60 %, bei Direkteinspritzer-Otto-Motoren etwa 50 % und bei konventionellen Saugrohr-Ottomotoren etwa 20 %.

Die interne [AGR](#) (allein Ottomotoren) wird heute über [verstellbare Nockenwellen](#) gesteuert. Bei älteren Nockenwellenantrieben ohne Verstellung ist die interne [AGR](#) – soweit überhaupt vorhanden – konstruktiv festgelegt.

Zur [AGR](#)-Regelung werden entsprechende Einrichtungen nötig. Die Lagerückmeldung dient dabei zur reinen Vorsteuerung der [AGR](#)-Rate, die eine Funktion von Druck und Temperatur am Einlass ist. Zur tatsächlichen Regelung der Luftmasse braucht es stets einen Luftmengen- oder Luftmassenmesser ([HFM](#)) und/oder gute

Luftmassenmodelle, die eine Steuerung ermöglichen.

Bei Fahrzeugen mit [On-Board-Diagnose](#) (OBD) erfolgt die Überwachung der Abgasrückführung (je nach Fahrzeughersteller) über HFM (Luftmengenabweichung), über die Lagerückmeldung des [AGR](#)-Ventils und zum Teil über weitere Druck- und Temperatursensoren im Saugrohr, so vorhanden. Die Sensoren melden dem [Steuergerät](#), ob das System regelt und aktuiert. Bleibt die Rückmeldung aus, wird vom Motormanagement bzw. vom Motorsteuergerät die MIL = ([Malfunction Indicator Light](#) = [Motorfehlerkontrollleuchte](#)) im Kombiinstrument aktiviert.

4 Verbreitung

Viele PKW mit Euro-3-, die meisten mit Euro-4- und zwingend alle PKW mit Euro-5-[Abgasnorm](#) verfügen über ein System zur Abgasrückführung.

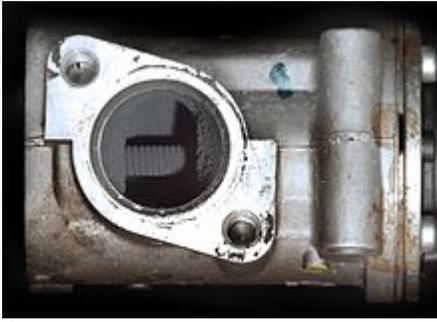
Im [Nutzfahrzeugbereich](#) ist bis zur Euro-3-Norm eine gekühlte [AGR](#) der Standard. Ab Euro 4, welche im Oktober 2005 für neu entwickelte Fahrzeugtypen zur Pflicht wurde, gibt es die gekühlte [AGR](#) zum Teil noch bei [MAN](#) und [Scania](#). Andere Hersteller setzten auf das aufwendigere Prinzip der [selektiven katalytischen Reduktion](#) (SCR), bei der zusätzlich die wässrige Harnstofflösung [AUS 32](#) getankt werden muss.

5 Zielkonflikte und Problemlösungen

Generell besteht ein Zielkonflikt zwischen geringen Ruß- und Stickoxid-Emissionen. Erstere entstehen vermehrt bei geringen Brennraumtemperaturen, während sich bei hohen Temperaturen deutlich mehr NO_x bildet. Auch die Leistung wird durch [AGR](#) negativ beeinflusst, die höchstmögliche Leistung kann mit Rücksicht auf die Stickoxid-Emissionen nicht erreicht werden.

Aus dem Einsatz niedriger Verbrennungstemperaturen folgt zudem ein Anstieg an [Kohlenmonoxid](#), Ruß und an unverbrannten [Kohlenwasserstoffen](#) im Abgas. Eine [Lambdasonde](#), welche die Sauerstoffkonzentration im Abgas misst und entsprechend die Kraftstoffzufuhr regelt, kann diesen unerwünschten Effekt in Verbindung mit einem [Fahrzeugkatalysator](#) weitestgehend minimieren. Um diesen Zielkonflikt völlig zu umgehen und um die zukünftigen Abgasnormen zu erfüllen, werden bei modernen PKW vermehrt NO_x -Speicher-katalysatoren eingebaut. Die meisten Nutzfahrzeughersteller, zunehmend auch PKW-Hersteller, setzen hingegen auf die [selektive katalytische Reduktion](#) (engl.: SCR). Dabei wird der Motor auf maximale Leistung und minimale Rußbildung optimiert, was beides nur bei hohen Verbrennungstemperaturen möglich ist. Das dadurch entstandene Stickoxid wird dann in einem zweiten Schritt im SCR-Katalysator zu [Stickstoff](#) und [Wasser](#) reduziert.

6 Mechanische Probleme



Starke Verrußung führte zum Defekt des [AGR](#)-Ventils

Vermehrte Rußansammlung im Abgasrückführventil führt häufig zum Defekt. Schlechte Gasannahme und schließlich starker Leistungsverlust oder erhöhter Verbrauch können dann die Folge sein, je nachdem, in welcher Position das Ventil stehen bleibt. Ein weiterer Nebeneffekt ist das Verrußen der Luftzuführungssysteme (Ansaugbrücke) bis hin zu den Ventilen, was entweder eine gründlichen Reinigung oder gar Tausch dieser Systeme erfordert. Die meisten Fahrzeuge, die mit einem [AGR](#)-System ausgestattet sind, zeigen den Defekt aber auch durch Aufleuchten von Motorkontroll- oder Werkstattlampe und durch Speichern eines Fehlercodes an. Um weiterhin die Abgasgrenzwerte der entsprechenden Euro-Norm zu erfüllen, ist auf jeden Fall eine Reparatur nötig.

Nachweise/Links

Weblinks

[Commons: Abgasrückführung](#) – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

Einzelnachweise

1. [Abgasschichtung an einem Ottomotor mit BDE und strahlgeführtem Brennverfahren](#). Die Schichtung von zurückgeführtem Abgas bietet großes Potenzial zur Senkung der Stickoxidemissionen insbesondere beim [Ottomotor](#) mit [Direkteinspritzung](#) und strahlgeführtem Brennverfahren. Institut für Kolbenmaschinen – [KIT](#), archiviert vom [Original](#) am 14. März 2014; abgerufen am 14. Oktober 2016.
2. K. Borgeest: *Elektronik in der Fahrzeugtechnik*. Vieweg, 2. Aufl., 2010.

Zitatangabe

Zitatangabe

Seite „Abgasrückführung“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 10. April 2021, 19:24 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/ind...3%BChrung&oldid=210797719> (Abgerufen: 28. Juni 2021, 23:58 UTC)