

NOx Reduction Systems

▼ IN DIESER AUSGABE

EINFÜHRUNG **2**

VERBRENNUNG
UND ABGASE **2**

UMWELTSCHUTZ-
ZBESTIMMUNGEN **4**

MASSNAHMEN ZUR
REDUZIERUNG DER
SCHADSTOFFEMISSIONEN **6**

SELEKTIVE KATALYTISCHE
REDUKTIONSSYSTEME
SCR **8**

FOBEISPIELE FÜR
HERSTELLER, DIE DAS NO_x-
REDUKTIONSSYSTEM
MIT ADBLUE
EINSETZEN **15**

WARTUNG DER NOX-
REDUKTIONSSYSTEME
MIT ADBLUE **17**

EINFÜHRUNG

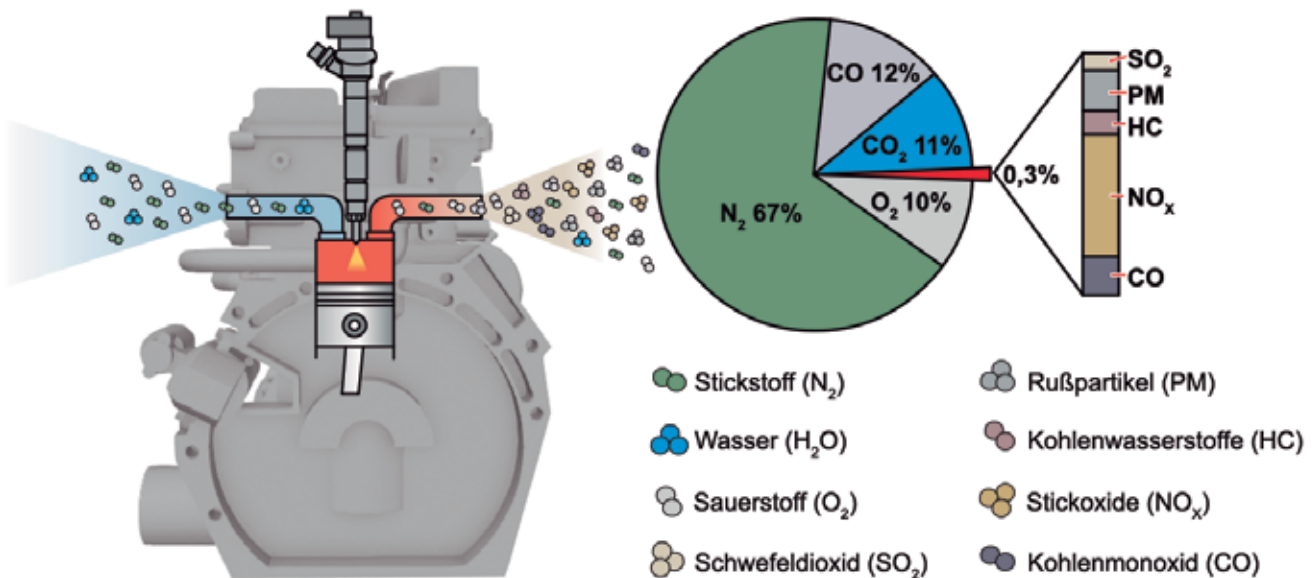
Einer der von Verbrennungsmotoren produzierten Stoffe, die sich am schädlichsten für Mensch und Umwelt auswirken sind **Stickstoffoxide und deren Derivate**. Gemäß den für Städte festgelegten Höchstwerten für die Umweltbelastung sollte Stickstoffdioxid NO_2 nicht den Wert von **200 mg/m^3** überschreiten.

Tatsächlich verdreifacht sich dieser Wert bei widrigen Wetterbedingungen oft und stellt somit eine ernsthafte Bedrohung für die öffentliche Gesundheit dar. Stickoxide entstehen hauptsächlich bei der Verbrennung von Dieselmotoren, wenn die Motordrehzahl niedrig und die Einspritzmenge gering ist. Da der Motor ohne Einschränkung der angesaugten Luft arbeitet, ist das Luft-Kraftstoff-Gemisch unter diesen Bedingungen eher mager, sodass viel Luft angesaugt wird, die nicht direkt an der Verbrennung beteiligt ist. Da die Luft hauptsächlich aus Stickstoff (78%) und Sauerstoff (21%) besteht, reagiert der Rest dieser Elemente, der nicht an der Verbrennung beteiligt ist, aufgrund der hohen Temperatur

in der Brennkammer und bildet demzufolge Luftverunreinigungen und Stickoxide (NO_x), die für die gravierenden Probleme im Zusammenhang mit der Verschmutzung in Großstädten verantwortlich sind.

Infolgedessen haben die Automobilhersteller verschiedene Lösungen zur Reduzierung, Umwandlung und Kontrolle der Stickoxidemissionen entwickelt. Eine dieser Lösungen ist die Verwendung des **Mittels AdBlue** zur Stickstoffreduzierung mittels Umwandlung.

AdBlue ist eine eingetragene Marke, unter der ein Produkt mit der technischen Bezeichnung AUS32 (Aqueous Urea Solution, 32,5% aus Harnstofflösung) vermarktet wird. Es hat die Aufgabe, die Stickoxidemissionen NO_x in Dieselmotoren zu reduzieren. Zu diesem Zweck wird ein Verfahren namens SCR (**S**elective **C**atalytic **R**eduction, selektive katalytische Reduktion) angewendet. Dieser Prozess wird in einem spezifischen Katalysator für die Speicherung und Reduzierung von NO_x durchgeführt.



VERBRENNUNG UND ABGASE

Die Verbrennung

Die Verbrennung ist eine kontinuierliche chemische Reaktion, bei der ein Brennelement, in diesem Fall Diesel, reagiert und sich mit einem anderen verbrennungsfördernden Element (Sauerstoff) verbindet. Bei der schnellen Verbindung von Brennstoff mit Sauerstoff wird Wärme- und Lichtenergie freigesetzt und gleichzeitig Oxid gebildet. Verbrennung ist eine exotherme Reaktion, da bei diesem Prozess Wärme freigesetzt wird. Die gebräuchlichsten Arten von Kraftstoffen sind organische Materialien, die Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten.

In einem Dieselmotor spricht man von **idealer Verbrennung** dann, wenn der gesamte Kraftstoff mit Sauerstoff reagiert und als einzige resultierende Produkte **Stickstoff** (N_2), **Kohlendioxid** (CO_2) und **Wasser** (H_2O) entstehen. Dies bedeutet, dass der Brennstoff vollständig oxidiert ist, also komplett verbrannt wurde. In Wirklichkeit kommt es jedoch



aufgrund der inhärenten Eigenschaften der Verbrennungsart und der Tatsache, dass es während der Verbrennung zu einer kontinuierlichen Veränderung des Verbrennungsluftverhältnisses kommt, in der Praxis **nicht zu einer idealen Verbrennung**.

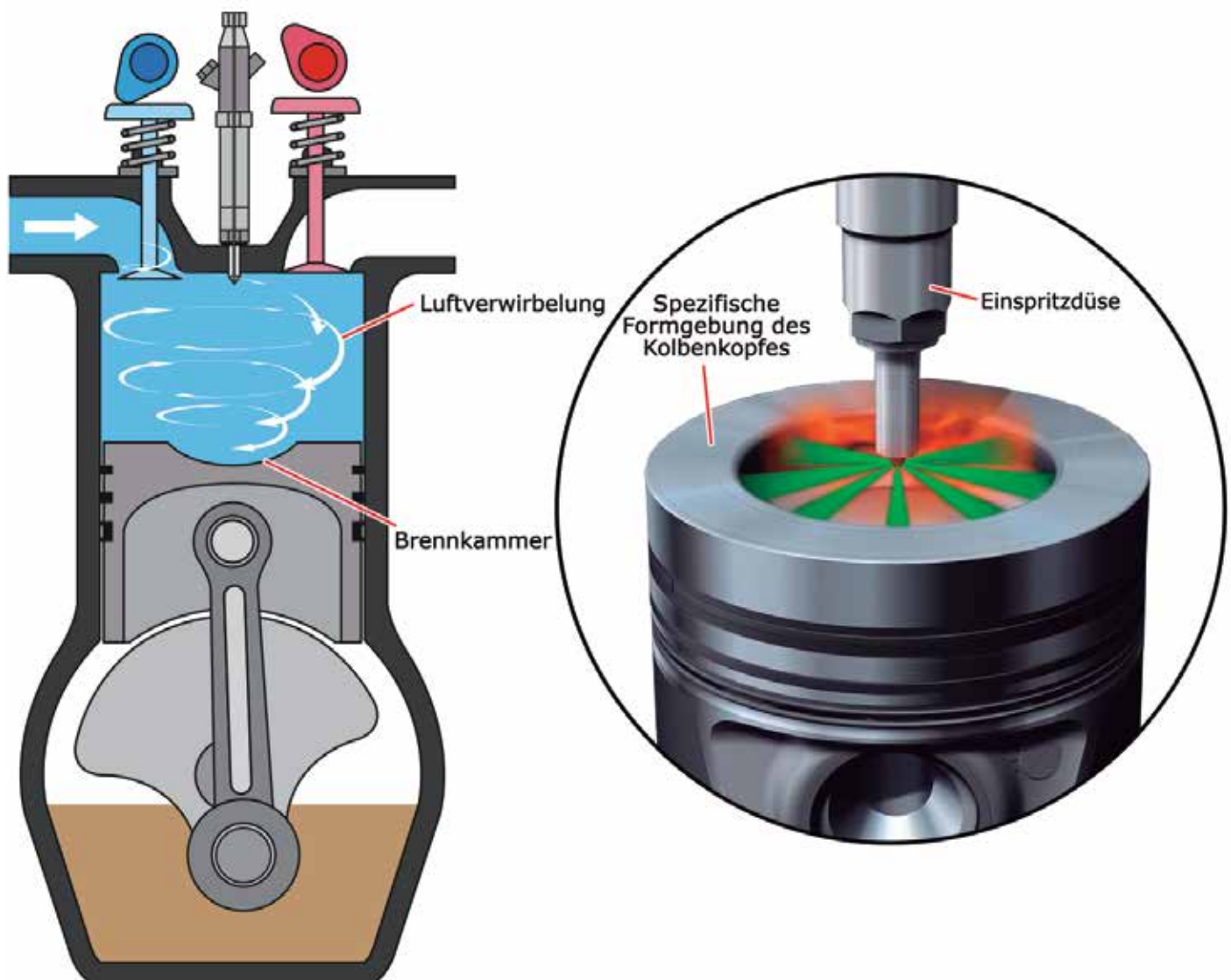
Die tatsächliche (unvollständige) Verbrennung führt neben **O₂**, **N₂**, **CO₂** und **H₂O** zu mehreren toxischen Nebenprodukten wie teilweise oxidiertem Kohlenstoff **PM** (Ruß), Kohlenmonoxid **CO**, unverbrannten Kohlenwasserstoffen **HC** und Stickstoffoxid **NO_x**, das aus der Oxidation von Stickstoff und Schwefeldioxid **SO₂** als Nebenprodukt einer teilweisen Verbrennung des im Dieseldieselfuel enthaltenen Schwefels hervorgeht.

Die Hersteller von Dieselmotoren haben die Zusammensetzung jeder direkt an der Verbrennung beteiligten Komponente untersucht und intensiv daran gearbeitet (innermotorische Änderungen), um eine möglichst ideale Verbrennung zu erzielen. Die am häufigsten untersuchten und optimierten mechanischen Komponenten und Verfahren sind: Brennkammern, Ventile, Kolben, Ansaug- und Abgaskrümmen, Abgasrückführungssysteme, Vorheizsysteme, Einspritzdüsen und Einspritzprozess. Mit dem Ergebnis dieser Arbeiten hat man es geschafft, die wichtigsten Einflussfaktoren beim Verbrennungsprozess zu verbessern:

- **Die Kraftstoffdosierung:** Je besser die Kraftstoffzerstäubung, umso besser die Verbrennung, da die Kraftstoffpartikel kleiner sind und mehr Kontaktfläche zwischen dem Kraftstoff und dem verbrennungsfördernden Element (Sauerstoff) vorhanden ist. Zu diesem Zweck hat man die Einspritzpumpen verbessert, die nun mehr als

2000 bar Druck leisten können. Auch die Einspritzdüsen wurden verbessert, indem die Anzahl der Einspritzbohrungen erhöht und die Ausrichtung der Einspritzstrahlen, die Anzahl der Einspritzungen, die Genauigkeit der Einspritzzeiten und die Einspritzdauer neu gestaltet wurden. All dies ist der schnellen Berechnung der elektronischen Einspritzsteuerung und der Entwicklung der für die Herstellung der Komponenten erforderlichen mechanischen Bearbeitungssysteme zu verdanken.

- **Die Verweilzeit:** Dies ist die Zeit, in der das Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Brennkammer verbleibt, die in den Kopf jedes Kolbens eingearbeitet ist. Während dieser Zeit muss das Gemisch sich so weit wie möglich mit Sauerstoff verbinden können. Dies steht in direktem Zusammenhang mit der Temperatur in der Brennkammer, dem Verdichtungsverhältnis und der Geometrie der Brennkammern.
- **Die Verwirbelung:** Sie ist einer der entscheidenden Faktoren für eine gute Verbrennung. Die Geschwindigkeit, mit der die Luft in den Brennraum gelangt, und ihre Wirbelbewegung sind entscheidend für eine gute Homogenisierung zwischen Luft und Kraftstoff. Dadurch wird sichergestellt, dass ein Maximum an Kraftstofftröpfchen von Frischluft umgeben ist. Die Hersteller versuchen, die Verwirbelung durch die Formgebung der Ventile und Einströmkanäle zu verbessern.....



Die Abgase

Trotz aller von den Herstellern eingeführten Maßnahmen zur Verbesserung der Einflussfaktoren und Verbrennungsbedingungen durch die Neugestaltung der erwähnten Komponenten ist es doch eine Tatsache, dass die Entwicklung der **tatsächlichen Verbrennung** noch weit von der **vollständigen idealen Verbrennung** entfernt ist.

Es gibt eine Vielzahl von Einflussgrößen, die nur in geringem Maße kontrolliert werden können: die Variation der Betriebstemperatur, die Variation der Motordrehzahl, die Qualität des Diesels, die Variation des Einspritzmenge in Abhängigkeit vom Drehmomentbedarf, etc. Infolgedessen erzeugt der Motor je nach Betriebsbedingungen schädliche Abgase:

Motoremissionen bei geringer Beschleunigung und geringer Last

Unter diesen Bedingungen gibt es viel Luft (O_2 und N_2) und wenig Diesel. Demzufolge gibt es überschüssigen Sauerstoff (O_2) und viel Stickstoff N_2 . Die maximale Verbrennungstemperatur bewirkt die Reaktion dieser Elemente unter Bildung von Stickoxiden NO_x . Da es nur wenig Diesel gibt, wird wenig CO produziert und wenig unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC).

Motoremissionen bei hohen Drehzahlen und Belastungen

Um zu beschleunigen, wird im Dieselmotor die eingespritzte Kraftstoffmenge erhöht, es wird mehr Wärme abgegeben und somit mehr Druck erzeugt, der mit mehr Kraft auf den Kolben drückt. Es gibt einen höheren Anteil an Diesel im Vergleich zur der in den Zylinder eintretenden Luft (N und O_2). Bei der Verbrennung wird fast der gesamte Sauerstoff (O_2) verbraucht, wodurch mehr Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und weniger Stickoxide (NO_x) entstehen, da praktisch kein Sauerstoff (O_2) aus der Verbrennung mehr übrig bleibt.

Die hohe Kraftstoffmenge und die kurze Zeit, die bei hoher Last und Motordrehzahl für die Verbrennung zur Verfügung steht, führen zur Bildung von Feststoffpartikeln. Diese Feststoffpartikel bestehen aus dem Kraftstoff, der keinen Sauerstoff angereichert hat. Der in Kohlenwasserstoffen enthaltene Wasserstoff spaltet sich vom Kohlenstoff ab und verbindet sich mit dem Sauerstoff in der Luft zu Wasser (H_2O), sodass der Kohlenstoff durch Gruppenbildung nun Konzentrationen in fester Form bildet, von denen ein kleinerer Teil sichtbare Partikel sind (10 - 20

%) und der Rest für das menschliche Auge unsichtbar ist.

Die Tatsache, dass der Anteil der gasförmigen Schadstoffe bei hohen und niedrigen Drehzahlen unterschiedlich ausfällt und ebenso bei hoher und niedriger Last, bedeutet, dass der Dieselmotor für jede Situation spezifische abgasreduzierende Zusätze benötigt, was die Abgasreinigungstechnologie wiederum komplexer macht.

Die Leistungssteigerung von Dieselmotoren in den letzten Jahren hat die Zusammensetzung der Abgase beeinflusst. Höherer Druck und höhere Temperaturen während der Verbrennung bedeuten eine höhere Produktion von NO_x .

NO_x entsteht durch eine kraftstoffarme Verbrennung mit einem Überschuss an Sauerstoff unter hohen Druck- und Temperaturbedingungen. Es handelt sich um toxische und sehr radioaktive Gase, deren Konzentration auf ein Maximum von 200 mg/m³ begrenzt ist.

Sie gehören zu den Gasen, die für den sauren Regen verantwortlich sind. Darüber hinaus produzieren sie in Großstädten den sogenannten „Sommersmog“. Dabei handelt es sich um einen braunen Nebel, der bei Menschen in nur kurzer Zeit verschiedene Effekte hervorruft, wie z. B. die Reizung der Atemwege und der Augen. Bei längerer Exposition führt er zu chronischen Erkrankungen der Atemwege, des Herz-Kreislauf-Systems und der Hirngefäße.



UMWELTSCHUTZBESTIMMUNGEN

Die europäische Gesetzgebung über Schadstoffemissionen ist das Regelwerk, das die zulässigen Grenzwerte für die von Verbrennungsmotoren ausgestoßenen Abgasemissionen festlegt. Alle in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union verkauften Neufahrzeuge müssen diese Normen erfüllen. Die Emissionsnormen werden in einer Reihe von Richtlinien definiert, die die Europäische Union schrittweise umsetzt und deren Beschränkungen aufgrund der ständig zunehmenden Umweltbelastung immer strenger werden.

Im Jahr 2001 startete die Europäische Kommission das sog. **CAFE-Programm (Clean Air For Europe)**. Eine der Schlussfolgerungen war die Notwendigkeit, die Emissionen des Transportsektors im Rahmen einer Gesamtstrategie zur Verbesserung der Luftqualität zu reduzieren. In diesem Sinne hat die Europäische Gemeinschaft ihren Mitgliedsländern in Form von Richtlinien verschiedene Anordnungen zur Erfüllung ihrer Verpflichtungen hinsichtlich der Schadstoffemissionen erteilt. Die

se Richtlinien wurden EURO I, EURO II, EURO III, EURO IV, EURO V und EURO VI genannt, wobei jede jeweils strenger als die vorherige ist.

Die Einhaltung der Vorschriften wird durch die Überwachung der Motorleistung in einem standardisierten Testzyklus vor der Vermarktung bestimmt. Die Emissionen von Stickoxiden (NO_x), Kohlenwasserstoffen (HC), Kohlenmonoxid (CO) und Rußpartikeln (PM) sind für die meisten Fahrzeuge geregelt, wobei je nach deren Eigenschaften unterschiedliche Normen zur Anwendung kommen.

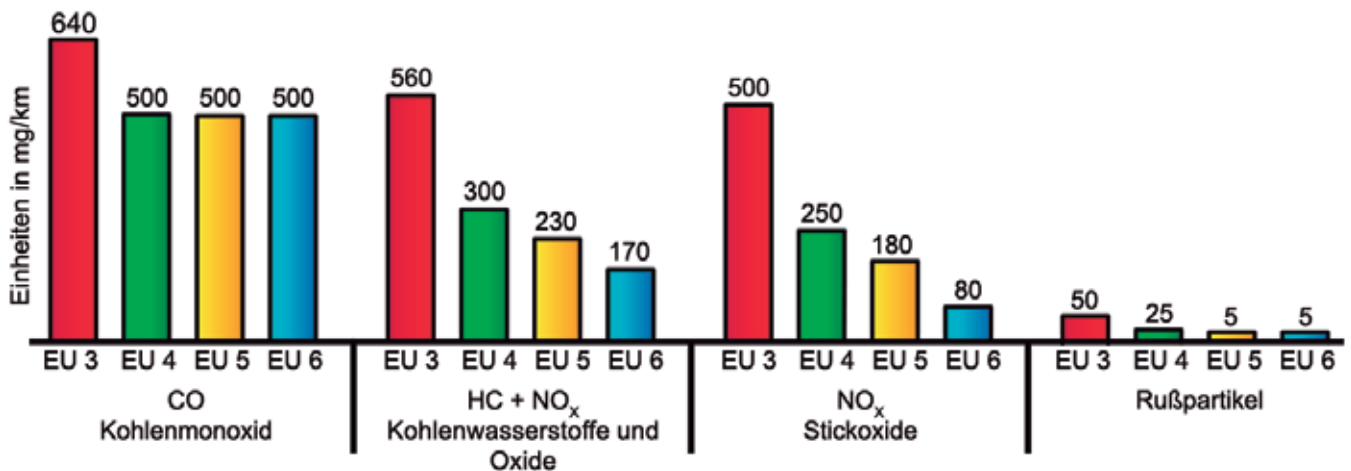
Die maximal zulässige Menge an Nebenprodukten, die bei den Abgasemissionen von Personenkraftwagen entstehen, ist in den folgenden Tabellen nach der Art des ausgestoßenes Gases, dem Datum des Inkrafttretens der Verordnung und der entsprechenden Schadstoffklasse, je nachdem, ob es sich um Benzin- oder Dieselmotor handelt, in Gramm pro km zusammengefasst:

DIESEL						
Typ	Datum	CO	HC	HC + NOx	NOx	PM
Euro 1	Juli 1992	2,72	-	0,97	-	0,14
Euro 2	Januar 1996	1	-	0,7 (*) - 0,9 (**)	-	0,08 (*) - 0,10 (**)
Euro 3	Januar 2000	0,64	-	0,56	0,50	0,050
Euro 4	Januar 2005	0,50	-	0,30	0,23	0,025
Euro 5	September 2009	0,50	-	0,23	0,18	0,005
Euro 6	September 2014	0,50	-	0,17	0,08	0,0045

* Motor mit indirekter Einspritzung ** Direkteinspritzmotor

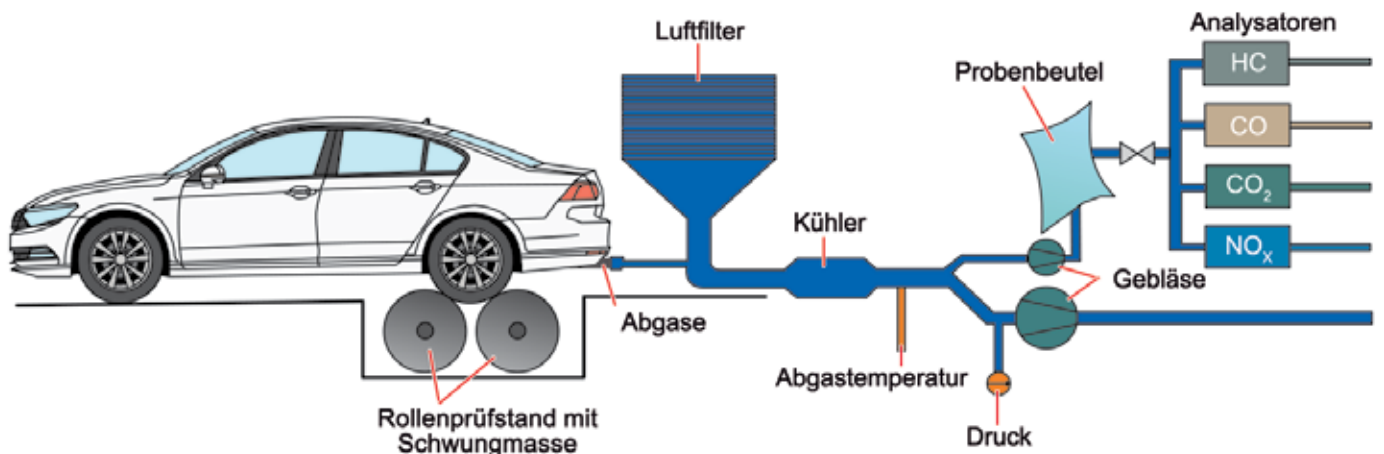
PETROL						
Type	Date	CO	HC	HC + NOx	NOx	PM
Euro 1	July 1992	2.72	-	0.97	-	-
Euro 2	January 1996	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	January 2000	2.3	0.2	-	0.15	-
Euro 4	January 2005	1	0.1	-	0.08	-
Euro 5	September 2009	1	0.1	-	0.06	0.005
Euro 6	September 2014	1	0.1	-	0.06	0.0045

Die Grafik zeigt die progressive Reduzierung je nach Abgasart und geltender Euro-Richtlinie.



Um die Emissionen eines auf der Straße fahrenden Fahrzeugs zu simulieren, wird ein **Rollenprüfstand** verwendet, mit dem versucht wird, die **realen Betriebsbedingungen** zu reproduzieren.

Dank dieses Tests erhält man repräsentative Messungen der umweltschädlichen Komponenten. Zu diesem Zweck wurde ein Fahrzyklus erstellt, der die normalen Betriebsbedingungen des Fahrzeugs simuliert.



Zur Analyse der Abgasemissionen gibt es mehrere Hersteller, die verschiedene Gasanalysatoren für Benzin- und Dieselmotoren verkaufen.

Die gebräuchlichsten für **Benzinmotoren** sind Gasanalysatoren für **vier oder fünf Gase**, die mit einer am Ausgang des Endschall-

dämpfers angeschlossenen Sonde Emissionstests ermöglichen und die Richtigkeit der Schadstoffwerte überprüfen.

Für **Dieselmotoren** wird zudem ein **Trübungsmessgerät** verwendet, das als **Opazimeter** bezeichnet wird.

MASSNAHMEN ZUR REDUZIERUNG DER SCHADSTOFFEMISSIONEN

Aus den bisher erläuterten Informationen lässt sich zusammenfassen, dass die Hersteller zwei Arten von Maßnahmen zur Reduzierung gas-

förmiger Schadstoffe umsetzen. Diese können in außermotorische und innermotorische Maßnahmen eingeteilt werden.

Außermotorische Maßnahmen

Darunter versteht man technische Modifikationen und Einbauten, die auf die äußeren Elemente des Motors angewendet werden. Die wichtigsten sind im Folgenden beschrieben:

Oxidationskatalysator

Ihre Hauptfunktion besteht darin, das Kohlenmonoxid (CO) zu oxidieren und es in Kohlendioxid (CO₂) umzuwandeln und die unverbrannten Kohlenwasserstoffe (HC) in Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O). Deshalb werden sie als (CO + HC) „**Zwei-Wege-Oxidationskatalysatoren**“ bezeichnet. Es gibt auch „**Drei-Wege-Oxidationskatalysatoren**“ (meist in Benzinmotoren eingebaut), die neben der Umwandlung von CO und HC auch Stickoxide (NO_x) in Sauerstoff und Stickstoff umwandeln. Allerdings werden in Dieselmotoren nur Zwei-Wege-Kata-

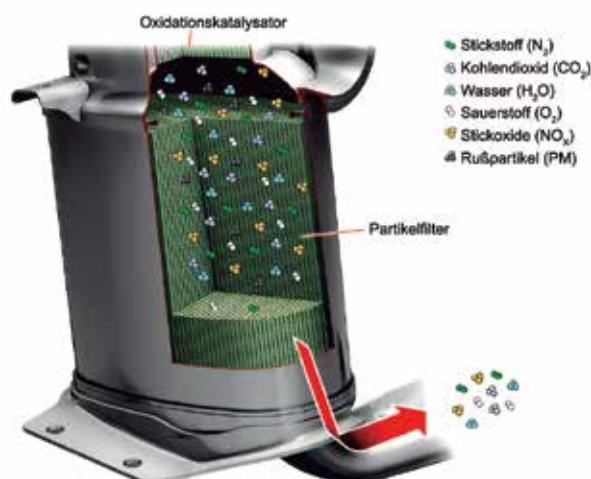
lysatoren verwendet, da Dieselmotoren mit einem Überschuss an Luft arbeiten und daher Abgase mit einer hohen Sauerstoffkonzentration (O₂) ausstoßen, was die Reduktion von Stickoxiden zu Stickstoff (N₂) und Sauerstoff (O₂) verhindert.

Um NO_x in Dieselmotoren zu reduzieren, haben die Hersteller daher einen **speziellen Katalysator namens SCR entwickelt, der die Stickoxide ansammelt und umwandelt.**

Dieselpartikelfilter, DPF

Er hat die Aufgabe, **die Rußpartikel** (Feststoffpartikel) aus den von den Dieselmotoren erzeugten Abgasen zurückzuhalten. Wenn das Partikelvolumen ausreichend groß ist, entfernt er sie, indem er den in seinem Filter vorhandenen Ruß mittels Regenerationszyklen verbrennt. Einige Hersteller verwenden **Additive**, um die Temperatur der Partikelfilter auf die erforderliche Betriebstemperatur zu erhöhen (+450°C), damit die Partikel oxidiert werden können, sodass sie in CO₂ (Gas) umgewandelt werden.

Eine weitere Lösung besteht darin, den Partikelfilter zusammen mit dem Oxidationskatalysator unmittelbar hinter dem Abgaskrümmen und dem Turbinenrad des Turboladers zu platzieren. Dadurch entfällt der Einsatz von Additiven, da die für die Verbrennung der Rußpartikel erforderliche Temperatur durch die Nähe zu den Brennkammern erreicht wird. Andererseits **fördert** ein Temperaturüberschuss im Abgas und in der Brennkammer **die Bildung von NO_x**.



Innere motorische Maßnahmen

Darunter versteht man technische Modifikationen und Einbauten, die auf die inneren Elemente des Motors angewendet werden, um die Pro-

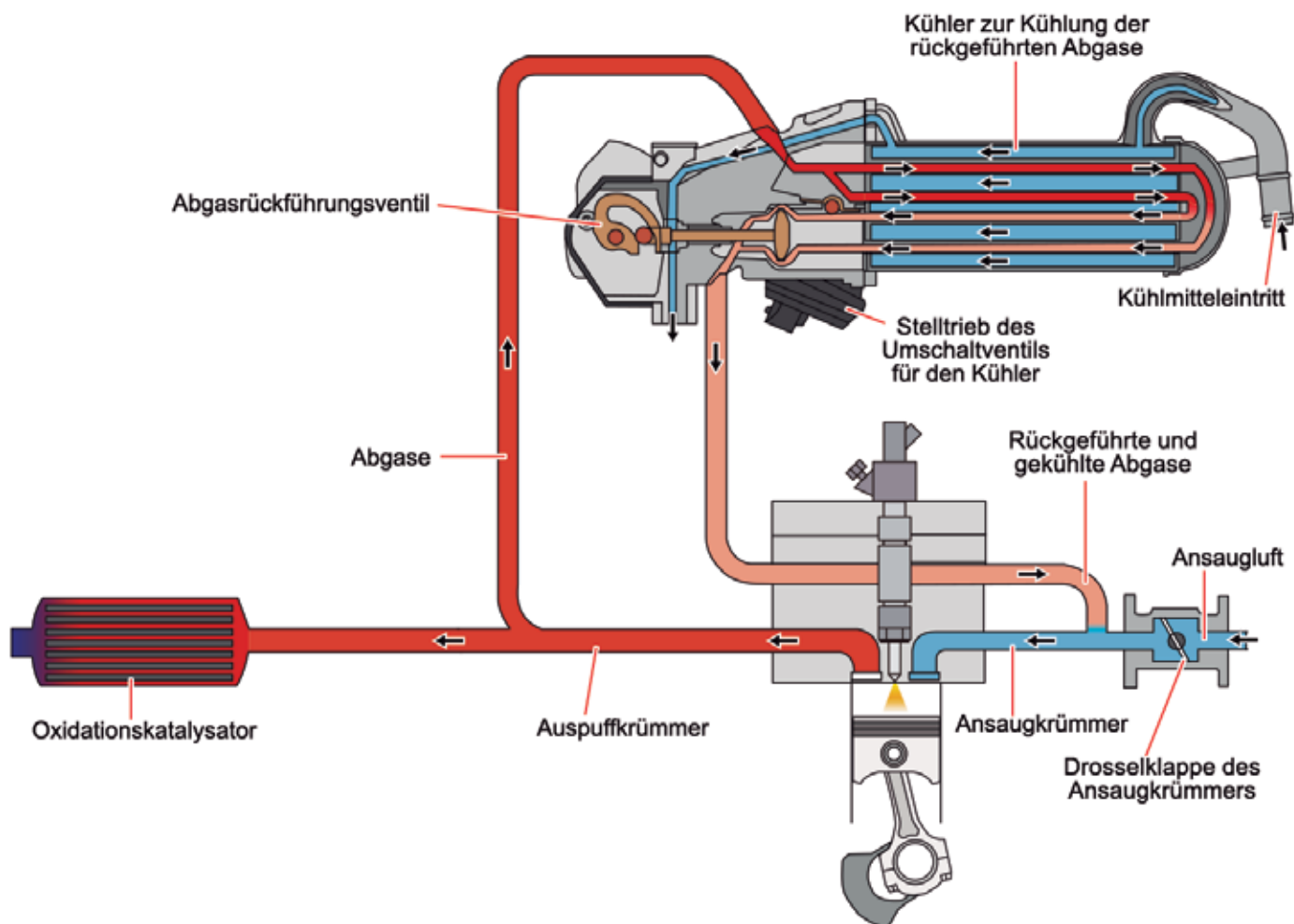
duktion von Schadstoffen zu vermeiden. In Dieselmotoren sind folgende die relevantesten:

Abgasrückführung (AGR)

Hauptzweck dieses Systems ist die Reduzierung des effektiven Füllvolumens der Luft in den Zylindern, wodurch die Menge an überschüssigem Sauerstoff bei der Verbrennung und die Spitzentemperatur während der Verbrennung reduziert werden. Damit ist es möglich, **die Bildung von Stickoxid (NOx) beträchtlich zu verringern**, jedoch nur bei geringer Motorlast.

Um die Leistung des Abgasrückführungssystems zu verbessern, wird zur Reduzierung der Temperatur ein **Wärmetauscher** eingebaut. Die gekühlten Gase nehmen bei der Verbrennung mehr

Wärme auf, was die maximale Verbrennungstemperatur verringert. Dieses Rückführungssystem hat jedoch einige **Nachteile**. Durch die Erhöhung der rückgeführten Abgasmenge verringert sich die Menge der Abgase, die das Turbinenrad des Turboladers erreichen, sodass sich wiederum dessen Leistung verschlechtert. Dadurch fällt der Ladedruck geringer aus als der für eine korrekte Motorleistung erforderliche Ladedruck. Darüber hinaus gelangen die verschmutzten Abgase direkt in den Einlass des Ansaugkrümmers, wodurch sich im Ansaugsystem Ruß ansammelt.



Hoch- und Niederdruck-Abgasrückführung

Im Hinblick auf die **Euro VI Umweltschutzbestimmungen** haben einige Hersteller sich dafür entschieden, in ihre Fahrzeuge ein umfangreicheres Abgasrückführungssystem zu integrieren, das durch die Kom-

bination der Abgasrückführung auf zwei verschiedene Arten betrieben werden kann:

Hochdruck-Abgasrückführung

In diese Betriebsart werden die aus dem Abgaskrümmer stammenden Gase, ähnlich wie bei herkömmlichen Rückführungssystemen, über eine externe Leitung zum Ansaugkrümmer zurückgeleitet, jedoch mit dem Unterschied, dass hier kein Abgaskühler eingebaut werden muss, da bei zu hoher Temperatur die **Niederdruck-** Abgasrückführung zum Einsatz kommt. Ein von einem Servomotor betätigtes und von Senso-

ren überwachtes Ventil steuert je nach den Betriebsbedingungen des Motors den Abgasstrom **bei hohem Druck** (in einigen Fällen wird dieses Ventil durch Kühlmittel gekühlt).

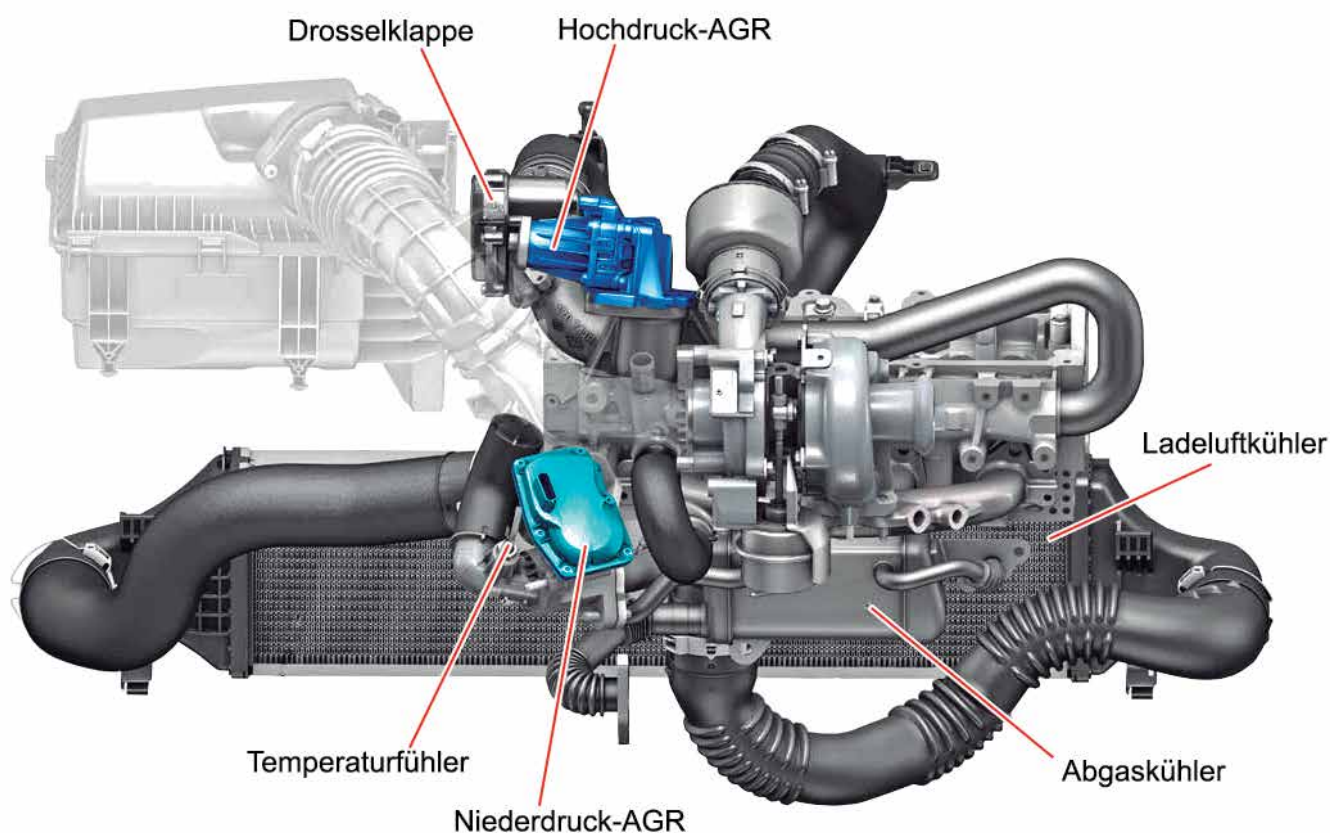
Diese Betriebsart wird hauptsächlich angewendet, wenn die Abgastemperatur nicht allzu hoch ist und der Motor im Leerlauf oder unter niedriger Last läuft.

Niederdruck-Abgasrückführung

In dieser Betriebsart werden die aus dem **Partikelfilter kommenden** Gase extern in den **Ansaugbereich des Turboladers** zurückgeleitet. Dazu strömen sie zunächst durch einen mit Kühlmittel gekühlten Wärmetauscher, der sich am Ausgang des DPF befindet. Ein von einem Servomotor betriebenes und von Sensoren überwacht Ventil steuert dann je nach den Betriebsbedingungen des Motors das Ansaugen der Abgase **bei niedrigem Druck**. Die unverbrannten Abgase mit reduziertem Sauerstoffgehalt werden zur Ansaugseite des Turboladers zurückgeführt, um mit der Ansaugluft vermischt und im Ladeluftkühler erneut gekühlt zu werden (der manchmal Kühlmittel zur Reduzierung der Abgastemperatur verwendet). Schließlich kontrolliert eine Drosselklappensteuereinheit den gesamten Luftstrom plus die in den Ansaugkrümmer eingeleiteten Abgase.

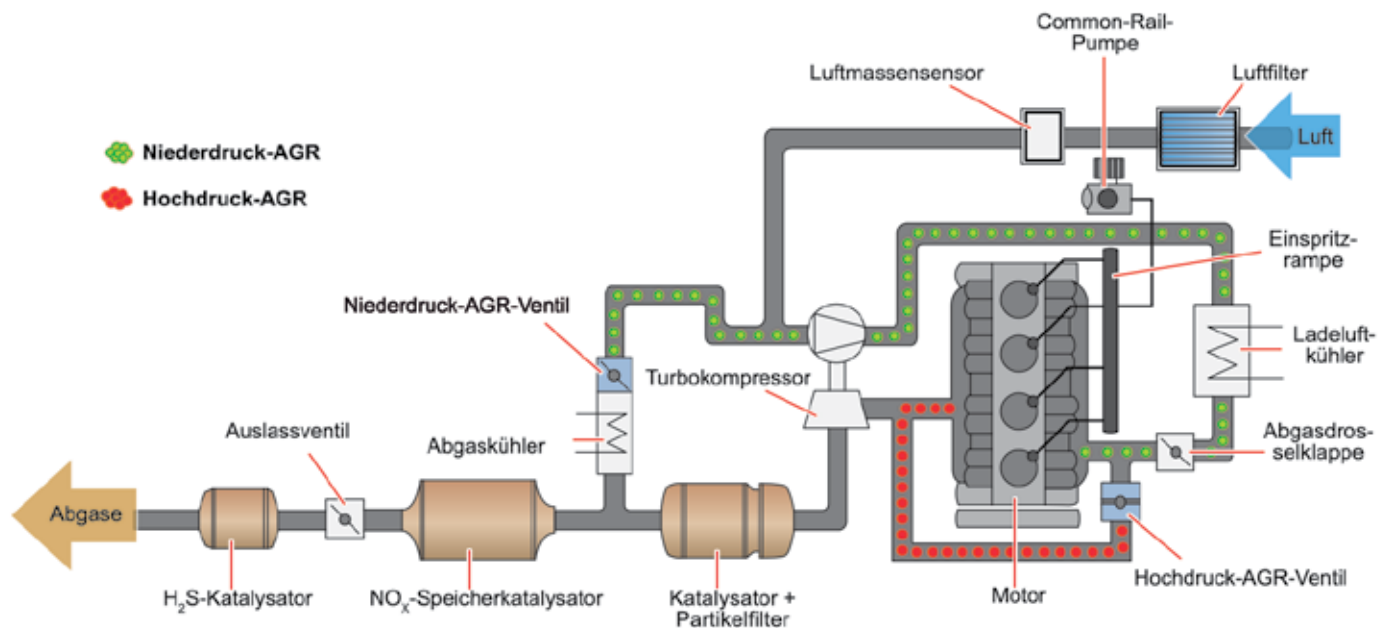
Vorteile:

- Die Abgase sind frei von Feststoffpartikeln und werden mit einer niedrigeren Temperatur zurückgeführt.
- Der Abgasstrom im Turbolader wird nicht verringert, sodass der Motor in Situationen mit hoher Abgasrückführung und hohen Ladedrücken besser reagiert.
- Die dem Turbolader zurückgeführten Abgase tragen dazu bei, seine Drehzahl bei Motorlaständerungen aufrechtzuerhalten und enthalten weniger Sauerstoff als im Katalysator kombiniert wurde.



Das Motorsteuergerät entscheidet, die Abgasrückführung aus den von der Motordrehzahl, dem Drehmomentbedarf, der Abgastemperatur und dem Abgasdruck im Reinigungsmodul eingehenden Signalen sowie den Informationen der Lambdasonden zu kombinieren. Auf diese Weise ist es in der Lage, **überschüssigen Sauerstoff aus der Verbrennung zu reduzieren und die Temperatur der Brennkammern zu**

senken und zwar in einem breiteren Motorbetriebsbereich im Vergleich zu herkömmlichen AGR-Systemen. Somit ist die Abgasrückführung nicht nur unter Motorbetriebsbedingungen bei niedrigen Lasten oder im Leerlauf, sondern auch bei mittleren Lasten mit mittelhohen und hohen Drehzahlen möglich.



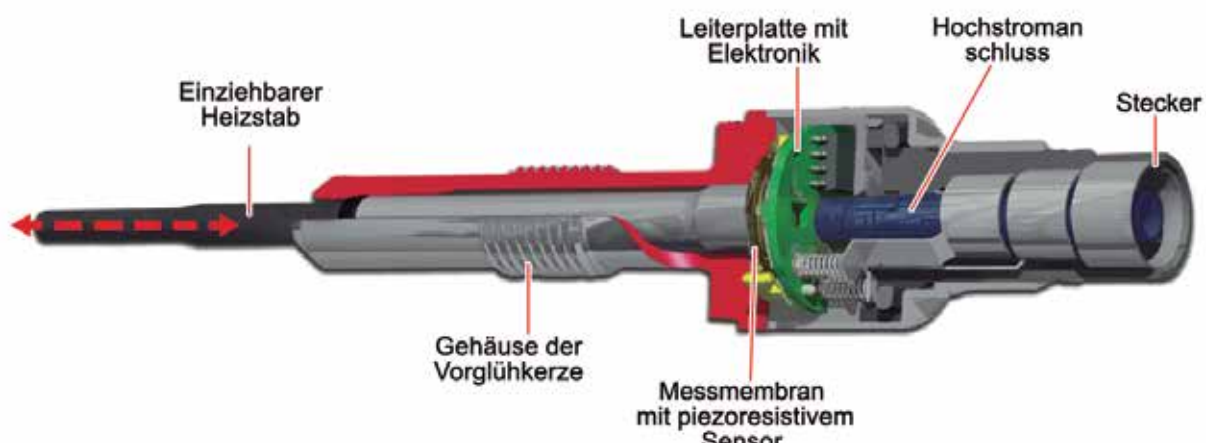
Kurz gesagt, dieses komplexe Abgasrückführungssystem ermöglicht in hohem Maße die Reduzierung von Stickoxiden (NO_x), da es die vom Motor angesaugte Luftmenge (N₂ + O₂) quantitativ verringert.

Vorglühkerzen mit Drucksensor

Es handelt sich um Elemente, die im Brennraum von Dieselmotoren angeordnet sind, um den Kaltstart zu erleichtern. Neben der Beheizung der Brennkammer sind mit einem Drucksensor ausgestattete Vorglühkerzen auch in der Lage, den in der Brennkammer vorherrschenden Druck zu messen, um die Bildung von Schadstoffemissionen zu verhindern.

Die Heizfunktion wird mit einem Widerstand erreicht, der im kalten Zustand und wenn eine schnelle Erwärmung erforderlich ist einen hohen elektrischen Fluss ermöglicht.

Die Besonderheit des mechanischen Aufbaus dieser Glühkerze ist ein integrierter einziehbarer Heizstab. Dieser Stab oder diese Elektrode ist an einem Ende der Brennkammer ausgesetzt, sodass er sich je nach dem im Zylinder vorherrschenden Druck zurückzieht. Am anderen Ende des Heizstabes, im Innern der Glühkerze, erfasst ein piezoresistiver Sensor in Echtzeit den in der Brennkammer vorherrschenden Druck durch Verformung einer Messmembran, welche die Bewegung des bereits erwähnten Heizstabes aufnimmt.



Die von diesem Sensor entsprechend gefilterten Informationen werden an das Motorsteuergerät übertragen, damit es die Einspritzmenge und den Einspritzzeitpunkt über den gesamten Drehzahlbereich des Motors reguliert. Auf diese Weise wird der Verbrennungsprozess optimiert, um

die Bildung von **Stickstoffpartikeln und -oxiden** in den Abgasen zu vermeiden und damit die Regenerationsdauer des Partikelfilters zu verlängern.

SELEKTIVE KATALYTISCHE REDUKTIONSSYSTEME SCR

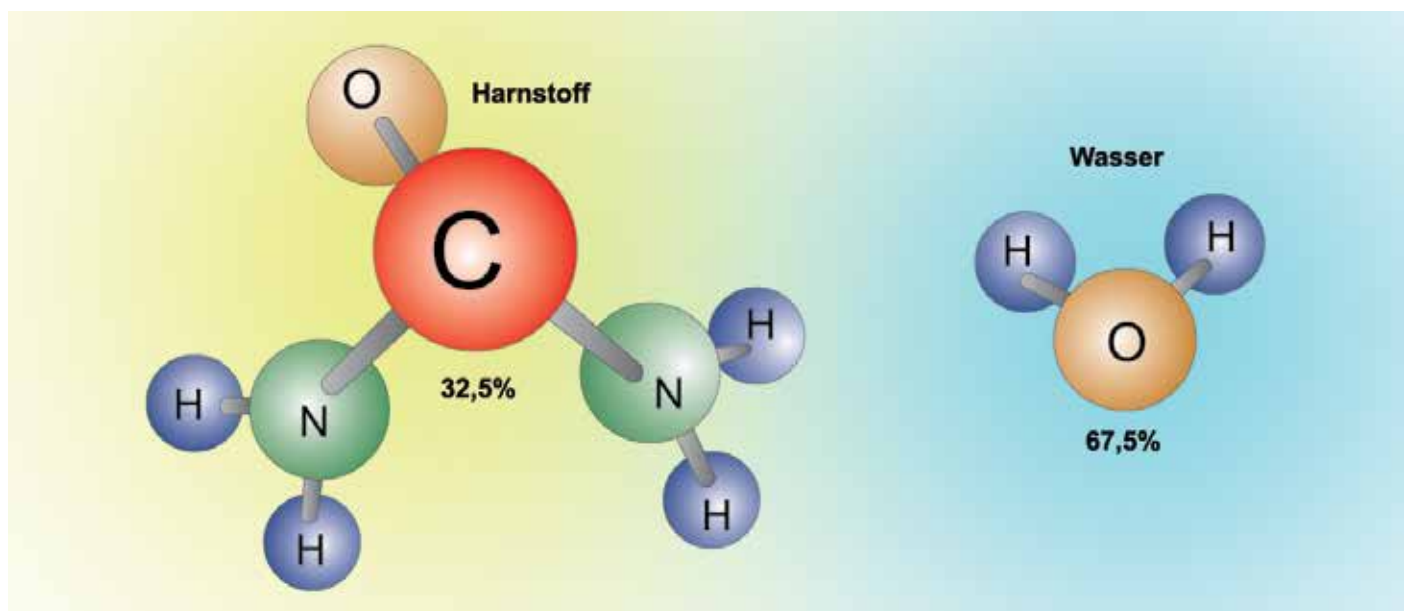
Zur weiteren Reduzierung der in den Abgasen von Dieselmotoren vorhandenen **Stickoxide (NO_x)** werden diese in harmlose Stoffe umgewandelt. Zu diesem Zweck setzt man einen **Katalysator** ein, der **ausschließlich die Aufgabe hat**, das NO_x zu reduzieren. Die Bezeichnung **SCR** verweist auf die englische Abkürzung (Selective Catalytic Reduction) Selektive Katalytische Reduktion. Der SCR-Katalysator

wandelt die Stickoxide der Abgase in Stickstoff (N₂) und Wasser (H₂O) um. Um dies zu erreichen, wird vor dem Reduktionskatalysator ein Reduktionsmittel in den Abgasstrom eingeleitet. Als Reduktionsmittel wird eine wässrige Harnstofflösung verwendet, die bei der Kombination mit den Stickoxiden in Ammoniak (NH₃) umgewandelt wird. Sie sorgt für Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in den Abgasen.

AdBlue Reduktionsmittel

Es handelt sich um ein Reduktionsmittel, das aus einer 32,5%igen, in **Wasser H₂O** verdünnten Lösung aus **Harnstoff CO (NH₂)₂ AUS32** (Aqueous Urea Solution 32,5%) besteht. Während des Reduktionsprozesses im Katalysator wird der Harnstoff in CO₂ und Ammoniak NH₃ umgewandelt. Dies ist schließlich das Element, das den

NO_x tatsächlich in N₂ und H₂O verwandelt. Die Verwendung von in Wasser verdünntem Harnstoff dient dazu, einen sichereren Wirkstoff für die Handhabung von Ammoniak zu erreichen, da es die Haut und die Schleimhäute reizt. AdBlue kann somit die Normen DIN 70070 und ISO 22241 erfüllen.



Hauptmerkmale des Reduktionsmittels AdBlue

- Es gefriert ab -11 °C.
- Es zerfällt zwischen 70 °C und 80 °C und produziert dabei Ammoniak, das Geruchsbelästigungen verursacht.
- Es kann sich durch das Vorhandensein von Verunreinigungen oder Bakterien verschlechtern.
- Die elektrischen Anschlüsse müssen geschützt werden, da es sehr ätzend ist.
- Beim Verschütten kann der darin enthaltene Harnstoff kristallisieren und weiße Flecken auf Oberflächen erzeugen.

Verwendungs- und Handhabungshinweise des Reduktionsmittels AdBlue

- Verwenden Sie nur Reduktionsmittel aus Behältern, die den anerkannten Vorschriften entsprechen.
- Das Reduktionsmittel nicht einatmen oder einnehmen.
- Wenn es einmal aus dem Behälter entnommen wurde, darf das Reduktionsmittel nicht wiederverwendet werden, da es sich zersetzen kann.
- Verwenden Sie zum Be- oder Nachfüllen des Reduktionsmittelbehälters die vom Hersteller zugelassenen Behälter und Adapter.
- Bei Kontakt mit dem Reduktionsmittel wird empfohlen, die betroffene Stelle sofort mit viel Wasser zu waschen, da es zu Reizungen an Haut, Augen und Atemwegen kommen kann.
- Sollte es ausgelaufen sein ist es mit einem feuchten Tuch und viel kaltem Wasser aufzuwischen. Wenn sich das Mittel kristallisiert hat, ist es mit einem Schwamm und heißem Wasser zu reinigen.

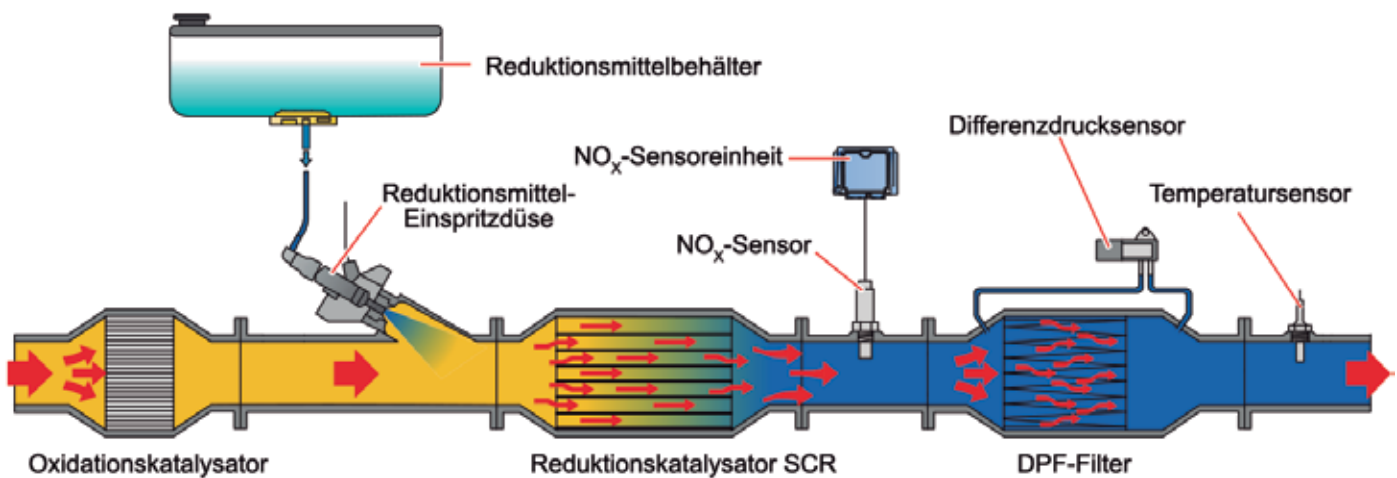
Aufbau des Abgassystems mit SCR-Katalysator

Die Einführung des SCR-Katalysators in das Auspuffsystem hat dazu geführt, dass sich die Hersteller für verschiedene Kombinationen entscheiden, wenn es darum geht, ihn mit den übrigen Komponenten des Abgasreinigungssystems zu platzieren. Dadurch ergeben sich drei unterschiedliche Abgasreinigungsstufen, deren Kombination und Anordnung variieren kann:

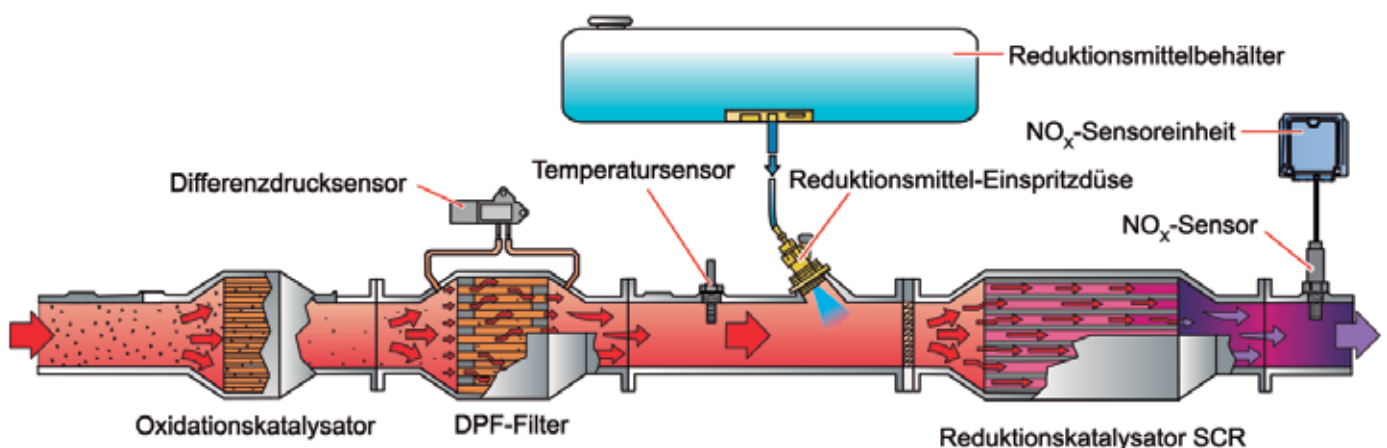
- Oxidationskatalysator
- Partikelfilter
- Reduktionskatalysator SCR

Mit der Einführung des SCR-Systems zur Reduktion von Stickoxiden wurde ein Reduktionskatalysator in das Abgassystem integriert. Je nach Fahrzeughersteller wird dieser Katalysator vor oder nach dem Partikelfilter angeordnet.

System mit Anordnung des Katalysators vor dem Partikelfilter



System mit Anordnung des Katalysators nach dem Partikelfilter



Komponenten des SCR-Systems

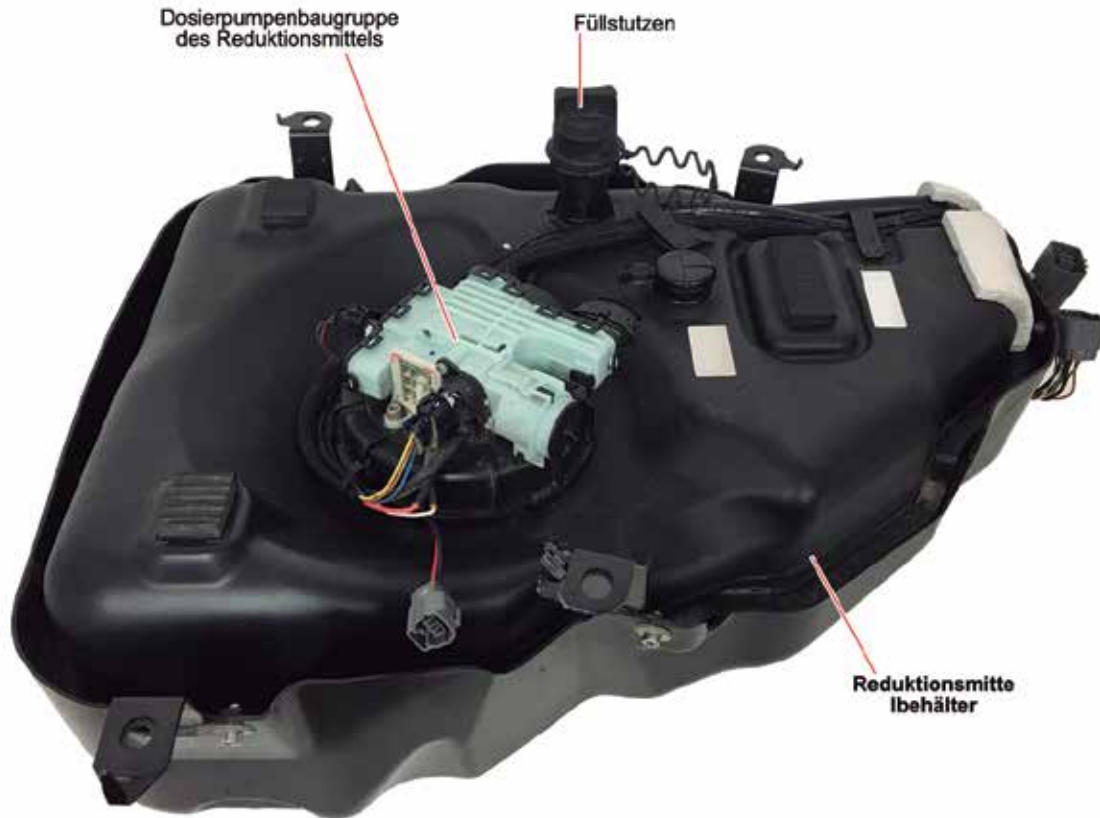
Im Allgemeinen besteht das SCR-System aus den folgenden Elementen:

- Reduktionsmittelbehälter
- Reduktionsmittel-Einspritzdüse
- Hydrolyseabschnitt
- Reduktionskatalysator
- NO_x-Sensor
- Steuereinheit NO_x-Sensor

Reduktionsmittelbehälter

Dieser befindet sich in der Regel am Heck des Fahrzeugs und in der Nähe des Kraftstofftanks. Er hat je nach Hersteller und Hubraum ein Volumen von ca. 17 bis 19 Litern. Es besteht aus Kunststoff und hat eine Einfüllöffnung. Bei Bedarf kann mit einem speziellen Adapter Reduktionsmittel nachgefüllt werden.

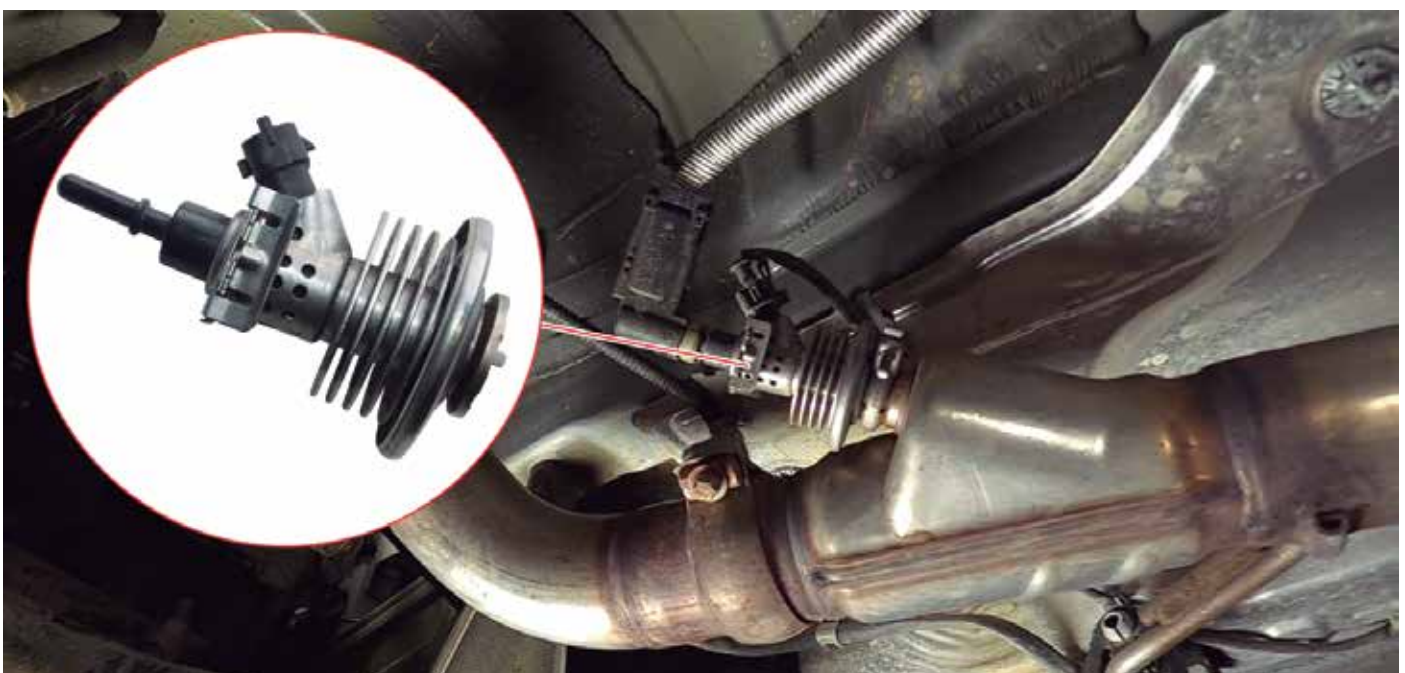
Im Behälter befinden sich Komponenten zur Erwärmung, zur Füllstandserkennung des Reduktionsmittels und manchmal auch ein Modul, in dem andere Bauteile des Dosiersystems integriert sind.



Reduktionsmittel-Einspritzdüse

Ihre Aufgabe ist es, das Reduktionsmittel in den Abgasstrom vor dem Mischer einzuspritzen. Sie ist so ausgerichtet, dass das Reduktions-

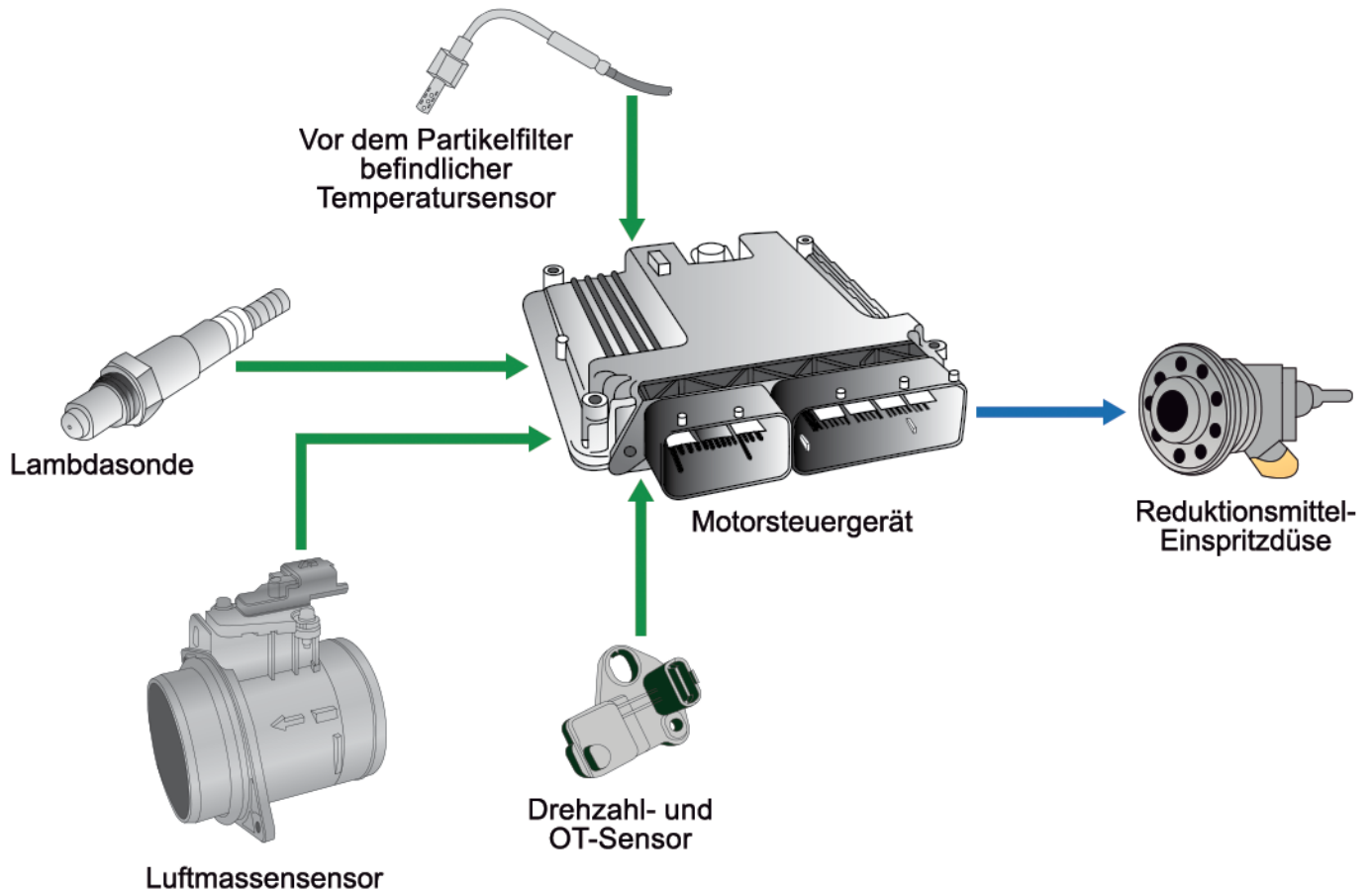
mittel in die gleiche Richtung wie die Abgase eingeleitet wird, um eine bessere Homogenisierung zu erreichen.



Berechnung der einzuspritzenden Reduktionsmittelmenge

Das Motorsteuergerät berechnet die Menge des einzuspritzenden Reduktionsmittels basierend auf drei Grundfaktoren: dem Betriebszu-

stand des Motors, der Abgastemperatur und der Stickoxidkonzentration hinter dem Reduktionskatalysator.

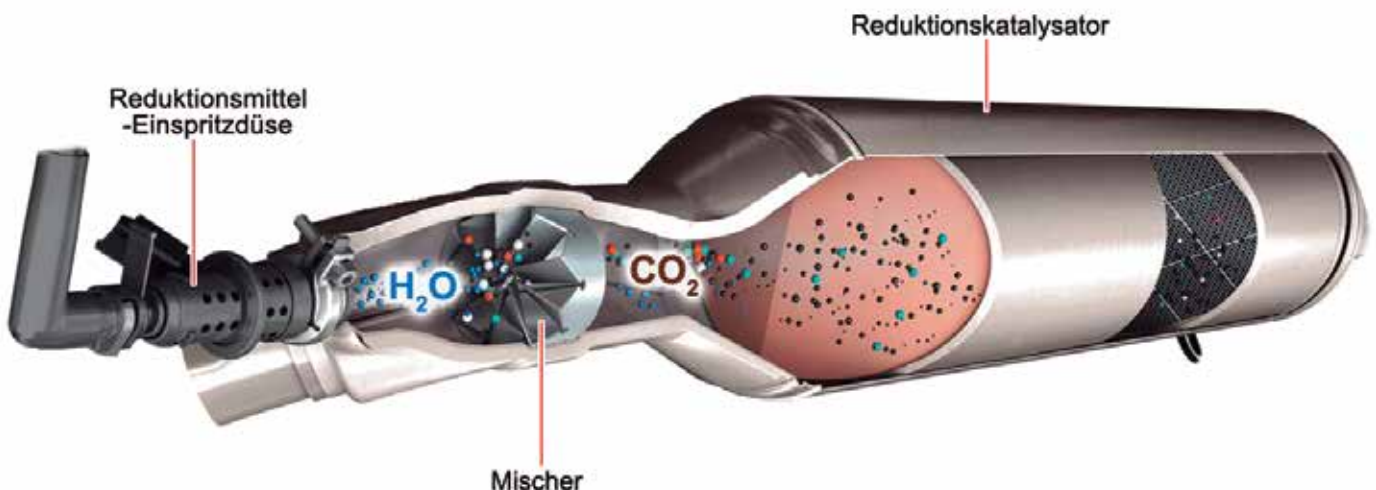


Hydrolyseabschnitt

Dieser Abschnitt erstreckt sich von der Einspritzdüse des Reduktionsmittels bis zum Reduktionskatalysator. Im Hydrolyseabschnitt ist ein Mischer eingebaut. Bei Einspritzen des Reduktionsmittels und auf-

grund der Abgaswärme verdampft das im Reduktionsmittel enthaltene Wasser. Durch Thermolyse zerfällt das Reduktionsmittel in Ammoniak und Isocyanäure.

Thermolyse: Reaktion, bei der eine Verbindung durch die Wirkung der Temperaturerhöhung in mindestens zwei weitere getrennt wird.



Anschließend erfolgt die Hydrolyse, bei der die Isocyan säure mit Wasser reagiert. Am Ende des Hydrolyseabschnitts zerfällt das Reduktionsmittel und bildet Kohlendioxid und Ammoniak. Ammoniak ist die Subs-

tanz, die mit den Stickoxiden im Reduktionskatalysator reagiert. CO_2 ist ein ungiftiges Gas.

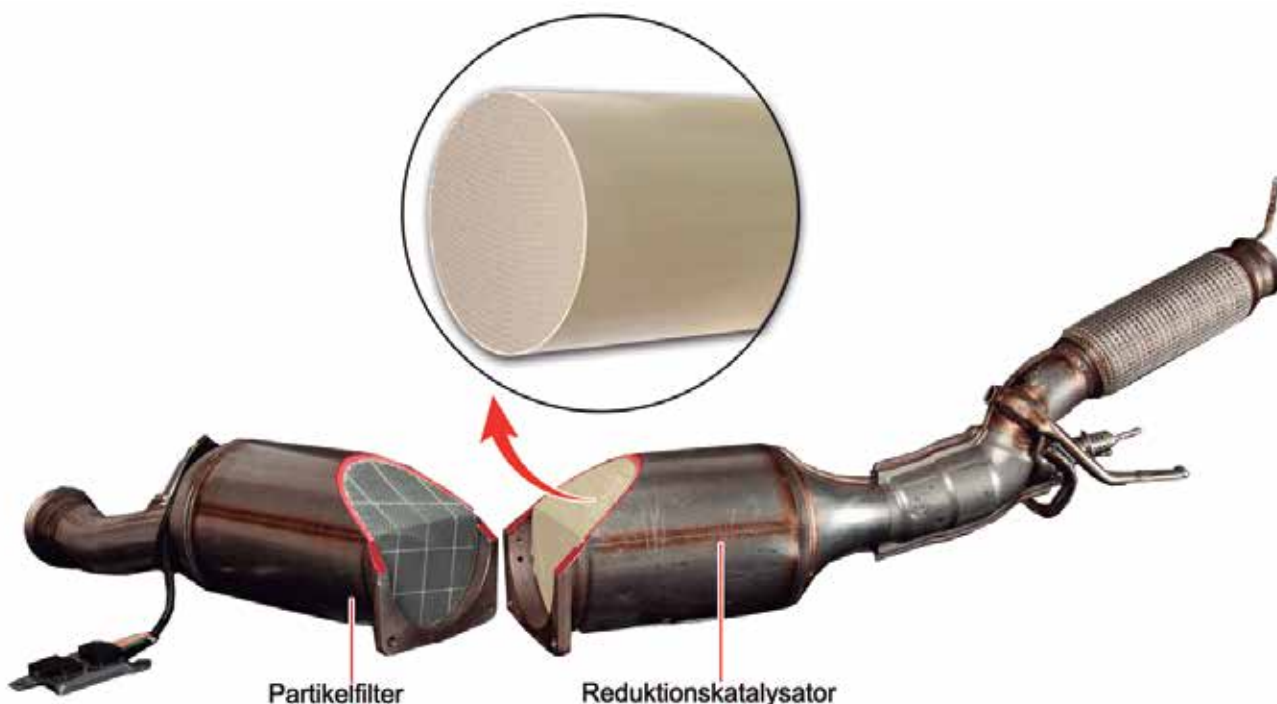
Hydrolyse: Eine chemische Reaktion zwischen einem Wassermolekül und einem anderen Molekül.

Reduktionskatalysator

Er kann vor oder hinter dem Partikelfilter platziert werden. Der Reduktionskatalysator funktioniert ab einer Temperatur von $200\text{ }^\circ\text{C}$. Das Innere besteht aus einem mit Kupfer-Zeolith beschichteten Keramikkörper, wobei die Beschichtung eine poröse Struktur aus Aluminium, Silizium und Kupfer bildet.

Die Abgase und das im Hydrolyseabschnitt entstandene Ammoniak gelangen in den Reduktionskatalysator, wo das Ammoniak mit den Stick-

oxiden reagiert und Stickstoff und Wasser bildet. Diese Reaktion wird durch die Kupfer-Zeolith-Beschichtung erzeugt, und als Folge davon bestehen die Gase am Ausgang des Reduktionskatalysators aus Kohlendioxid (CO_2), Wasser (H_2O), Sauerstoff (O_2) und Stickstoff (N_2), die alle natürlich in der Atmosphäre vorhanden sind.



NO_x-Sensor

Er befindet sich am Ausgang des Reduktionskatalysators. Seine Funktionsweise ist der einer Breitband-Lambdasonde sehr ähnlich und der Betriebsstrom liegt im Mikroampere-Bereich. Er ist deshalb direkt mit

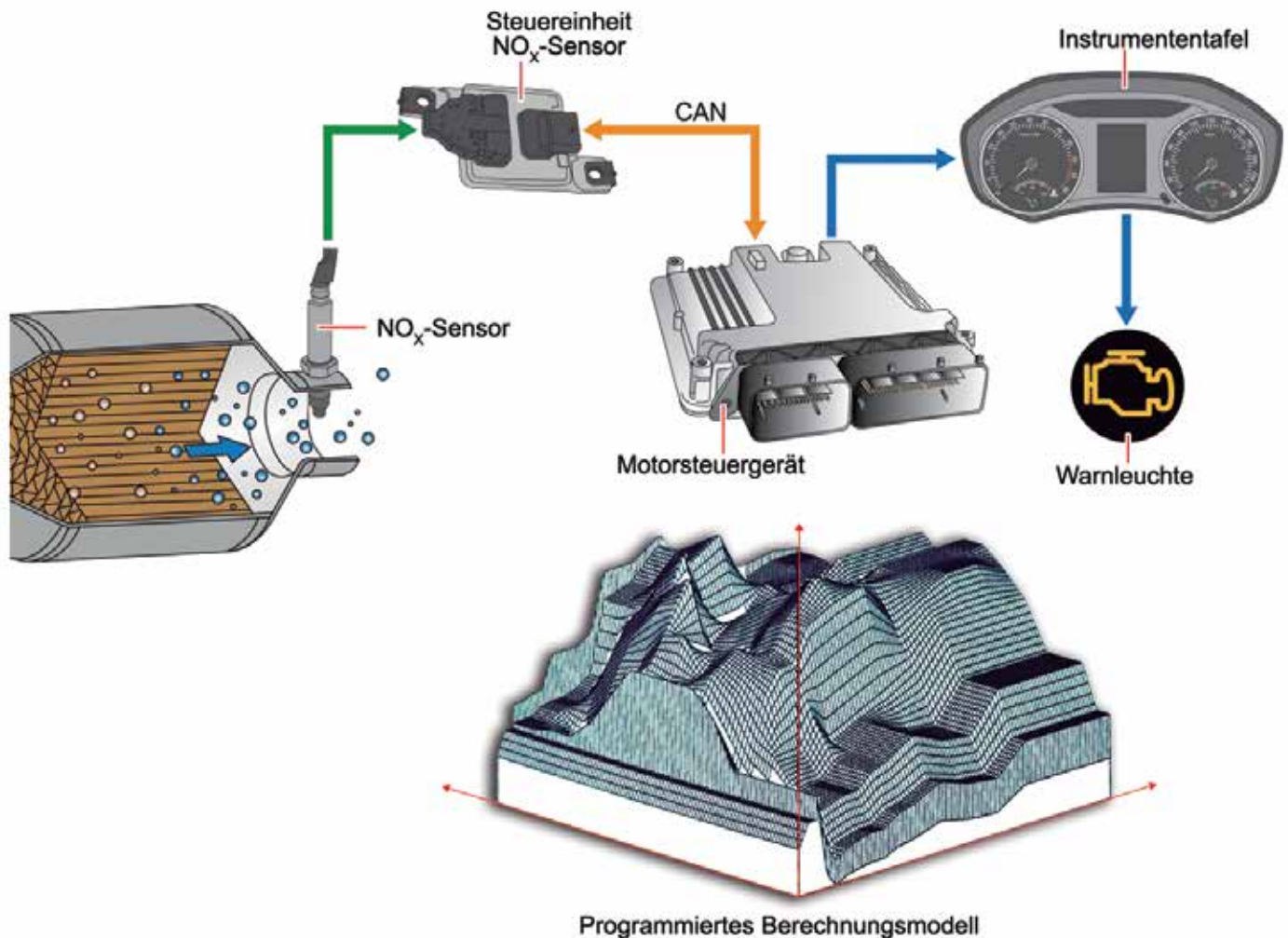
der Steuereinheit für den NO_x-Sensor verbunden, die sich näher befindet als das Motorsteuergerät. Die Länge des Sensorkabels beeinflusst die Signalstärke.



Steuereinheit NO_x-Sensor

Dieses Steuergerät verwaltet das Signal des NO_x-Sensors und überträgt es über den CAN-Bus an das Motorsteuergerät, um die Leistung des Reduktionskatalysators zu berechnen und den Betrieb des SCR-Systems als zusätzliche Funktion des EOBD-Abgaskontrollsystems zu überwachen.

Das Motorsteuergerät vergleicht den Messwert mit einem programmierten Berechnungsmodell. Wenn die Leistung nicht mit der des Berechnungsmodells übereinstimmt, dann leuchtet die Abgaswarnleuchte auf.



BEISPIELE FÜR HERSTELLER, DIE DAS NO_x-REDUKTIONSSYSTEM MIT ADBLUE EINSETZEN

Viele Hersteller haben dieses System in ihre Dieselfahrzeuge integriert, um die Zulassungsnormen zu erfüllen, wobei jeder seine eigene Bezeichnung dafür gewählt hat:

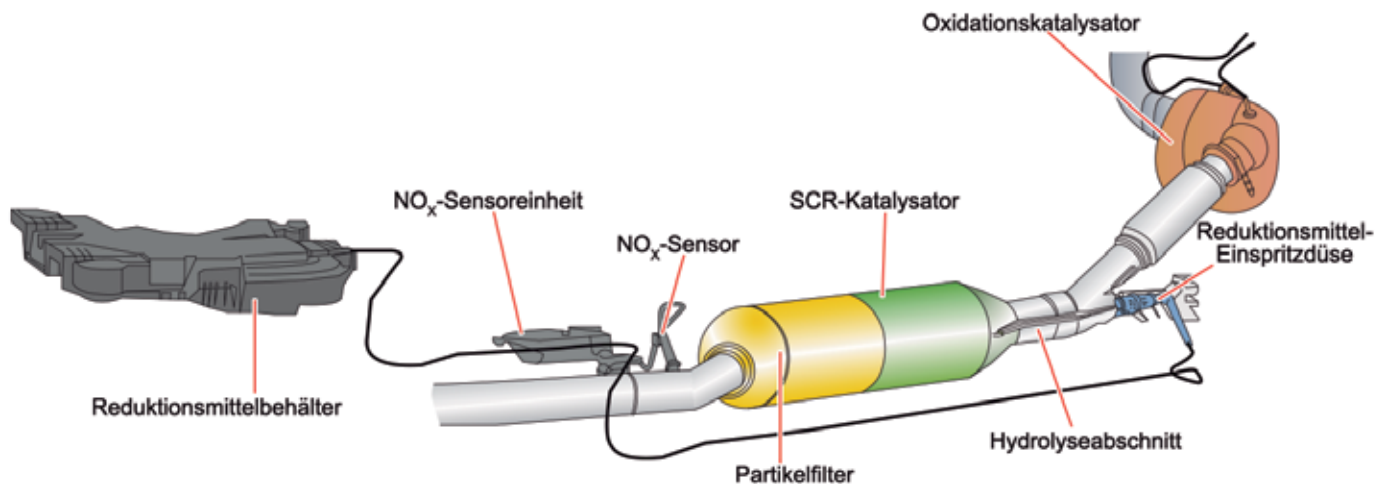
- PSA-Gruppe „Blue HDI“
- Mercedes Benz „BlueTEC“
- BMW „Blue Performance“
- Bosch „DENOXTRONIC“

Nachfolgend werden die ersten beiden Beispiele beschrieben.

PSA-Gruppe, Blue HDI

Dies ist die Initiative der PSA-Gruppe zur Einhaltung der Euro-VI-Norm, was ein **selektives katalytisches Reduktionssystem SCR** umfasst, das ein Reduktionsmittel zur Reduzierung der **Stickoxidemissionen** verwendet. Das kommerziell unter der Bezeichnung

Blue HDI bekannte System kam zum ersten Mal beim Citroën Gran C4 Picaso zum Einsatz. Die Abgasreinigungsanlage besteht aus einem **Oxidationskatalysator (DOC)**, dem **SCR-Katalysator** und dem **Partikelfilter (FAP)**.



Die Funktionsweise des Blue HDI-Systems entspricht im Wesentlichen der in den vorangegangenen Kapiteln bereits erläuterten.

- Die AdBlue-Flüssigkeit wird in die Abgasleitung eingespritzt.
- Die eingespritzte AdBlue-Flüssigkeit wird mit den Abgasen in einem Mischer vermischt, der das Abgas mit dem Reduktionsmittel homogenisiert.
- Das homogenisierte Gemisch durchläuft den SCR-Reduktionskatalysator, wo es auf die angesammelten Stickoxide trifft und in Wasserdampf (H₂O) und Stickstoff (N₂) umgewandelt wird.

Der für das Reduktionsmittel AdBlue verwendete Behälter hat normalerweise ein Volumen von 17 Litern.

In diesem Fall hat sich die PSA-Gruppe dafür entschieden, den **SCR-Reduktionskatalysator** über dem Partikelfilter und in der Nähe des

Abgaskrümmers zu platzieren, sodass er schnell seine Betriebstemperatur erreicht. Auf diese Weise kann man bereits in der frühen Phase der Motoraufwärmung einen effizienten Betrieb erreichen. Ziel ist es, dass das System im Stadtverkehr bereits voll funktionsfähig ist.

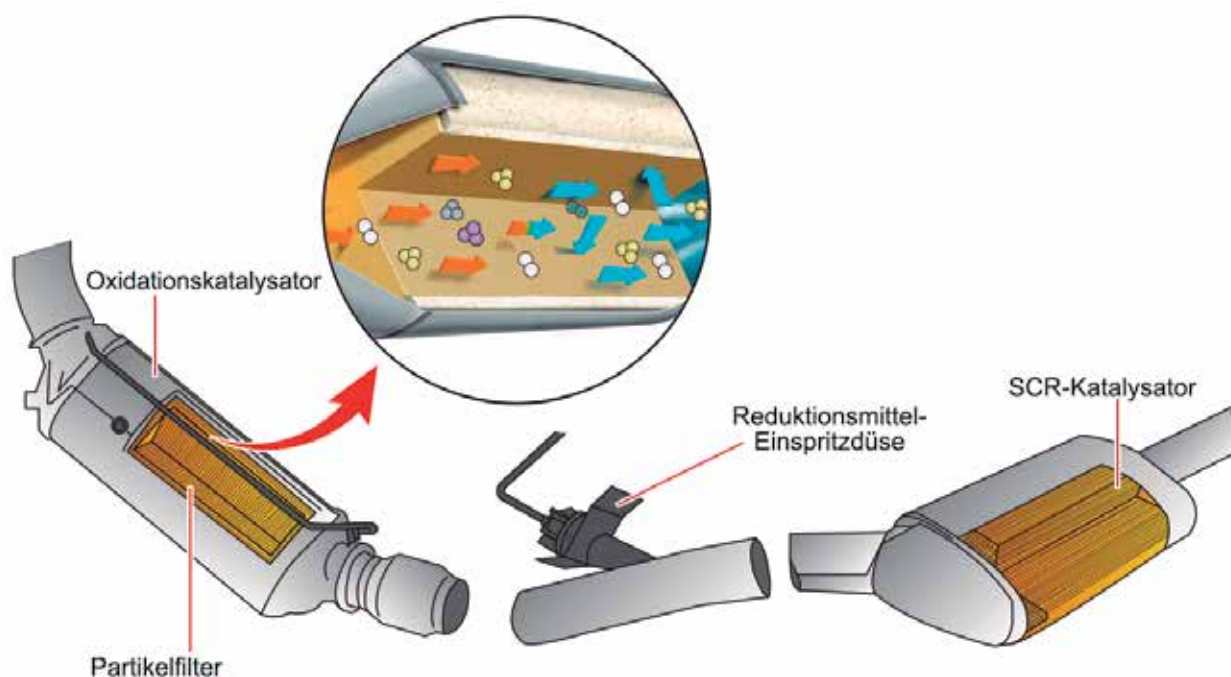
Darüber hinaus bietet die PSA-Gruppe in einigen ihrer Blue HDI-Modelle die Möglichkeit, den mit dem SCR-System ausgestatteten Motor zusammen mit der **Start-Stopp-Automatik** und einem effizienteren **elektronisch gesteuerten Schaltgetriebe** zu kombinieren, das unter dem Namen Efficient Tronic Gearbox ETG6 bekannt ist. Diese Modelle können die NOx-Emissionen von 180 mg/km auf 80 mg/km reduzieren.

Die Blue HDI-Technologie wird von Peugeot, Citroën und DS angeboten. Im Allgemeinen ist es ihnen gelungen, NOx um 90% und die CO₂-Emissionen um 2% bis 4% im Vergleich zu herkömmlichen Dieselfahrzeugen zu reduzieren.

Mercedes Benz, BlueTEC

Mercedes Benz führt das **selektive katalytische Reduktionssystem SCR** über das **Reduktionsmittel AdBlue** in den Motoren der folgenden Fahrzeugmodelle ein: E350, ML350, GL350 und R350. Das Sys-

tem besteht aus einem **Oxidationskatalysator** zusammen mit einem **Partikelfilter**, der Reduktionsmittel-Einspritzdüse und dem **Reduktionskatalysator SCR** am Ende des Auspuffsystems.



Vor dem Einsatz der Reduktionsmittel-Einspritzdüse wurde in den ersten mit BlueTEC ausgestatteten Fahrzeugen ein NOx-Speicherkatalysator (DeNOx) zwischen dem Oxidationskatalysator und dem Partikelfilter eingebaut. Es handelt sich um ein **nicht-selektives** Stickoxid-Reduktionsverfahren, welches auf die entsprechenden chemischen Verbindungen von Abgaskatalysatoren zurückgreift. **Der DeNOx-Katalysator** hat in Verbindung mit dem **Reduktionskatalysator SCR** die Aufgabe, die aus der unvollständigen Verbrennung stammenden Oxide zu reduzieren.

Während des Betriebs mit magerem Gemisch speichert der DeNOx-Katalysator NOx-Gase, die dann in der Regenerationsphase in N₂ und H₂O umgewandelt werden. Im fetten Gemisch wird Ammoniak erzeugt und im SCR-Katalysator gespeichert, der dann während des Betriebs

mit magerem Gemisch verbraucht wird. Der Partikelfilter dient dazu, die Rußpartikel aufzunehmen. Während des Betriebs mit magerem Gemisch werden die Stickoxide, die nicht im DeNOx-Katalysator gespeichert werden können, im SCR-Katalysator unter Einwirkung von gespeichertem Ammoniak in molekularen Stickstoff und Wasser umgewandelt.

Da dieses System nicht ausreicht, um die Euro 6-Norm zu erfüllen und seine Kosten höher sind, wurde eine wirtschaftlichere und effektivere Option gewählt, und zwar, indem man auf den DeNOx-Katalysator verzichtet und die AdBlue-Einspritzdüse so einsetzt, dass sie die für die NOx-Reduzierung notwendigen Substanzen direkt in den SCR-Katalysator einspritzt.

WARTUNG DER NOX-REDUKTIONSSYSTEME MIT ADBLUE

Um die korrekte Funktion des NOx-Reduktionssystems mit AdBlue zu gewährleisten, muss das Reduktionsmittel regelmäßig nachgefüllt werden. Das Nachfüllen kann vom Benutzer des Fahrzeugs selbst durchgeführt werden; er muss also dazu nicht die Werkstatt aufsuchen, es sei denn, es liegt eine systembezogene Störung vor. Ein Reset oder eine Rückstellung durch Diagnose ist ebenfalls nicht erforderlich, da es einen Sensor für den tatsächlichen Füllstand gibt.

Ab den **Euro V-Umweltschutzbestimmungen** ist es erforderlich, dass bei Verwendung eines **Mittels oder Additivs** zur Abgasbehandlung **das Starten des Motors gesperrt werden kann**, wenn dieses Mittel fehlt oder eine Störung vorliegt, welche höhere Emissionswerte verursacht als die von der Norm vorgegebenen Werte.

Das System ist so programmiert, dass es den Fahrer akustisch und optisch vorzeitig und eindringlich über das Armaturenbrett warnt. Auf diese Weise kann der Benutzer das Reduktionsmittel nachfüllen, bevor das Steuergerät das Starten des Motors verhindert.



Anzeigen im Armaturenbrett

- **Anzeige für niedrigen Füllstand des Reduktionsmittels AdBlue.** Dazu gehört auch die Restreichweite in Kilometer bezüglich der im Behälter noch vorhandenen Reduktionsmittelmenge.
- **Anzeige für das Fehlen des Reduktionsmittels AdBlue.** Weist darauf hin, dass das Reduktionsmittel AdBlue nachgefüllt werden muss. Solange kein Reduktionsmittel nachgefüllt wird, kann das Fahrzeug nach dem Stillstand nicht gestartet werden. Es gibt Diagnosegeräte, mit denen sich die Sperre für den Motorstart vorüber-
- gehend aufheben lässt, sodass noch eine Strecke von bis zu 50 Kilometern zurückgelegt werden kann.
- **Angaben zu möglichen Störungen im SCR-System.** Abhängig von der Art der Störung ist das SCR-System so programmiert, dass es einen begrenzten Motorbetrieb zulässt, bevor es das Starten des Motors verhindert oder den Motorstart direkt hindert, sobald er einmal aus ist.



AdBlue nachfüllen
Restreichweite
2.400 km



AdBlue kontrollieren
Der Motor wird in
1.000 km nicht mehr
starten



AdBlue nachfüllen;
der Motor kann nicht
gestartet werden

Eure!Car[®]

CERTIFIED MASTERCLASSES

techn

auto



BOSCH



brembo



Continental



KYB

Our Precision. Your Advantage

MAHLE



Nissens

DELIVERING THE DIFFERENCE

PHILIPS

SCHAEFFLER

Technical education for professional automotive repairers

www.eurecar.org

EXIDE
TECHNOLOGIES

FEDERAL-MOGUL
MOTORPARTS

Gates®

MANN
FILTER

metelligroup
AUTOMOTIVE PASSION

NGK NTK
SPARK PLUGS TECHNICAL CERAMICS
NGK SPARK PLUG EUROPE GmbH

SKF

TRW

Valeo

VARTA

ZF



Automobiltechnik im Blickpunkt

Der Eure!TechFlash-Newsletter ergänzt das Lehrgangsprogramm Eure!Car von ADI und verfolgt ein klares Ziel:

Aktuelle Einblicke in technische Innovationen in der Automobilindustrie vermitteln.

Ziel von Eure!TechFlash ist es, neue Technologien mit technischer Hilfe seitens des AD Technical Centre in Spanien und der Unterstützung der führenden Teilehersteller zu entmystifizieren und sie transparent zu machen, um Kfz-Werkstätten zu motivieren, mit der Technik Schritt zu halten und kontinuierlich in technische Aus- und Weiterbildung zu investieren.

Eure!TechFlash wird 3 bis 4 Mal im Jahr erscheinen.

Eure!Car[®]
CERTIFIED MASTERCLASSES

für den Fortbestand von Kfz-Werkstätten.

Eure!Car ist eine Initiative des Unternehmens Autodistribution International mit Hauptsitz in Kortenberg, Belgien

Die technische Kompetenz eines Mechanikers ist unabdingbar und in Zukunft wahrscheinlich von entscheidender Bedeutung

(www.autodistribution.international). Das Eure!Car-Programm umfasst ein umfangreiches Angebot erstklassiger technischer Lehrgänge für Kfz-Werkstätten, die von den nationalen AD-Unternehmen und ihren jeweiligen Teilehändlern in 39 Ländern gehalten werden.

Auf www.eurecar.org finden Sie weiterführende Informationen und können Sie sich unsere Lehrgänge anschauen.

industrial partners supporting Eure!Car



Advanced Driving Assistance Systems



Einschränkende Bemerkung : Die Angaben in diesem Führer erheben keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit und sind rein informativ. Der Autor übernimmt keine Haftung für diese Informationen.