

## Auf die richtige Mischung kommt es an

*Der Katalysator findet sich heute in (fast) jedem Auto. Er gilt als Vorzeigetechnik, denn er wandelt die schädlichen Abgase fast vollständig in ungiftige Bestandteile um. Ein entscheidendes Bauteil für die optimale Abgas-Konvertierung ist die sog. Lambda-Sonde.*



Mit der Einführung des Katalysators gelang es, die „Dreckschleuder“ Auto zu entschärfen.

Während derzeit im Rahmen der Feinstaub-Diskussion wirksame Rußfilter für Dieselfahrzeuge gefordert werden, hat sich der Katalysator seit seiner Einführung vor fast 20 Jahren bewährt. Um eine optimale Konvertierung der Abgase im Katalysator zu gewährleisten, muss zunächst einmal das Verhältnis von Treibstoff und Luft bei allen Betriebszuständen des Motors so eingestellt werden, dass eine optimale Verbrennung gewährleistet ist. Das Verhältnis der tatsächlich benötigten Luftmenge zum theoretischen Luftbedarf bei einer Verbrennung wird als Luftzahl oder Lambda-Wert bezeichnet. Ein Wert von  $\lambda = 1$  bedeutet dabei, dass die zugeführte Luftmenge dem theoretischen Luftbedarf entspricht. Im Normalbetrieb des Fahrzeugs aber schwankt dieser Wert, denn seine beste Leistung zeigt ein Motor bei Luftmangel, also bei  $\lambda < 1$ , während die größte Spritersparnis bei  $\lambda > 1$ , also Luftüberschuss, erreicht wird. Im Ottomotor wird das Benzin, das aus einer Mischung verschiedener Kohlenwasserstoffe ( $C_mH_n$ ) besteht, mit Luftsauerstoff verbrannt. Bei einer optimalen Verbrennung oxidieren Kohlenwasserstoffe zu Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und Wasserdampf ( $H_2O$ ). Das stöchiometrische Verhältnis, bei dem das Benzin mit dem gesamten Sauerstoff reagiert ( $\lambda = 1$ ), liegt für den handelsüblichen Kraftstoff bei 14,7:1, d. h. auf ein Kilogramm Benzin kommen 14,7 kg Luft.

Im Normalfall läuft aber die Verbrennung im Motor nie ideal ab. Schuld daran ist zum einen die Inhomogenität des Gemischs, das zum anderen nicht nur aus Sprit und Sauerstoff, sondern auch aus dem knapp 80 %-igen Stickstoffanteil der Luft besteht.

Dadurch enthält das Abgas toxisches Kohlenmonoxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe, die im Katalysator zusammen mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasserdampf oxidiert werden. Gleichzeitig werden die schädlichen Stickoxide zu harmlosem Stickstoff und Sauerstoff reduziert. Da der geregelte Katalysator die Kohlenmonoxide, Kohlenwasserstoffe und die Stickoxide um mehr als 90 % vermindert, wird er auch als 3-Wege-Katalysator bezeichnet. Um seine volle Wirkung entfalten zu können, benötigt ein Katalysator eine Abgaszusammensetzung, in der genau so viel Sauerstoff freigesetzt werden kann, wie zur Oxidation der Kohlenwasserstoffe und des Kohlenmonoxids benötigt wird. Die optimale Konvertierung wird erreicht, wenn der Lambda-Wert des Treibstoff-Luft-Gemisches gleich Eins ist.

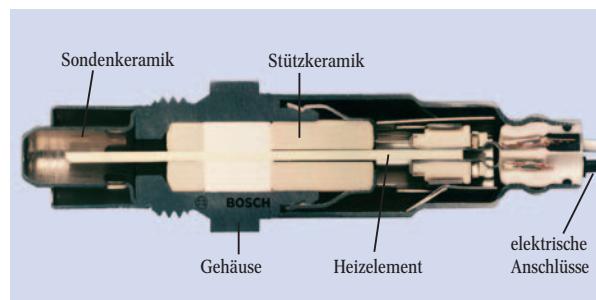
### Die Lambda-Sonde

Für die optimale Abgaszusammensetzung sorgt die Lambda-Sonde, die sich im vorderen Teil der Abgasablage vor dem Katalysator befindet. Sie misst permanent den

sich im Abgasstrom und misst permanent den Sauerstoffanteil im Abgas, der nach der Verbrennung überbleibt. Während die äußere Platin-Elektrode vom Abgas umspült wird, steht die innere Elektrode mit der Außenluft in Verbindung.

Die Arbeitsweise der Sonde beruht darauf, dass die Sonde porös ist und ab Temperaturen von 300 °C für Sauerstoffionen leitend wird, d. h. der Keramikelektrolyt ist durchlässig für diese Ionen, sperrt jedoch gegen den Durchlass von Elektronen. Um diese Betriebstemperaturen auch nach dem Kaltstart und bei niedrigen Abgastemperaturen zu erreichen, wird die Sonde elektrisch geheizt. Die optimale Arbeitstemperatur liegt zwischen 550 und 700 °C. Bei Temperaturen oberhalb von 900 °C versagt die Lambda-Sonde. Aus diesem Grund befindet sich die Sonde nicht in der Nähe der sehr heißen Zylinder, sondern misst im kühleren Abgasrohr vor dem Katalysator die Zusammensetzung des Gases.

Die Sauerstoffionen wandern in der Lambda-Sonde aufgrund des geringeren Partialdruckes im Abgas von innen (Außenluft) nach außen (Abgas), wobei die Elektronen abgestreift werden: Dadurch bildet sich auf der Innenseite der Sonde ein Elektronenüberschuss und auf der Außenseite ein Elektronenmangel. Bei einem Restsauerstoffgehalt von etwa 2 % im Abgas (Sauerstoff-

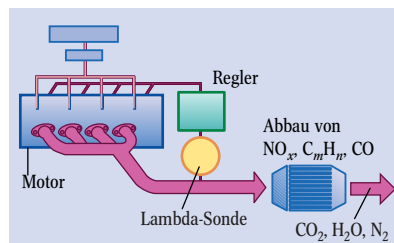


Die Lambda-Sonde misst das Verhältnis von Treibstoff zu Luft, um eine optimale Umwandlung der Abgase im Katalysator zu gewährleisten. (Foto: Bosch)

aktuellen Restsauerstoffgehalt im Abgas und vergleicht diesen mit dem Sauerstoffgehalt der Außenluft, der etwa 20,8 % beträgt. Die Lambda-Sonde wurde 1976 von Bosch als Weltneuheit eingeführt und ist seitdem millionenfach in Autos mit Ottomotoren eingebaut worden. Die dabei hauptsächlich eingesetzte Fingersonde besteht aus einem gasdurchlässigen, becherförmigen Keramikkörper aus Zirkoniumdioxid, der innen und außen mit einer dünnen Schicht aus Platin überzogen ist. Dieser in einem Stahlgehäuse montierte Festelektrolyt befindet

überschuss) entsteht aufgrund der Ionenwanderung ein Spannungssignal von etwa 0,1 Volt. Sind dagegen weniger als 2 % Restsauerstoff im Abgas vorhanden (Sauerstoffmangel), so wandern viele Ionen von innen nach außen durch die Sonde und dies macht sich in einer erhöhten Differenz zum Außenluftsaauerstoff bemerkbar. In dem sehr schmalen Übergangsbereich von  $\lambda = 1$ , bei dem der Benzinmotor betrieben wird, ist die Kennlinie extrem steil und die Spannung ändert sich sprunghaft. Diese Unterschiede im Spannungssignal werden an ein

Steuergerät weitergeleitet, das dementsprechend die Zündung und Einspritzung im Motor korrigiert, um das richtige Mischungsverhältnis von Luft und Treibstoff einzustellen und eine optimale Abgasentgiftung durch den Katalysator zu gewährleisten. Die Sonde sichert damit nicht nur einen niedrigen Kraftstoffverbrauch, sondern erhöht auch die Lebensdauer des Katalysators.



Schematischer Aufbau eines Katalysators

### Der (geregelt) Katalysator

Die Emissionsleistung eines Katalysator, der aus einem in eine Dämpfungsschicht eingebetteten Keramikkörper besteht und in Längsrichtung von mehreren tausend kleinen Kanälen durchzogen wird, hängt ab von seiner Größe, der Abgastemperatur und der Zusammensetzung der ungereinigten Abgase. In den Kanälen, die vom Abgas durchströmt werden, ist eine Trägerschicht aus Aluminium aufgebracht, auf die dann die eigentliche katalytische Schicht aus Platin aufgedampft wird. Um zu verhindern, dass das reine Platin bei hohen Reaktionstemperaturen zu Platindioxid oxidiert, wird der Beschichtung Rhodium beigelegt, das gleichzeitig die Reduktionsvorgänge begünstigt.

Da das Platin in winzigen Kristallklümpchen, so genannten Clustern, auf dem Träger verteilt ist, stecken im Katalysator pro Auspuff bis zu 2000 Quadratmeter Reaktionsfläche. Diese großen Flächen sind nötig, um die großen Abgasmengen verarbeiten zu können. Da die katalytischen Reaktionen erst bei Temperaturen über 250 °C starten, muss durch eine motorseitige Maßnahme eine kurze Warmlaufphase sichergestellt werden.

Seine Fähigkeiten zur Abgasreinigung verdankt der Katalysator den chemischen Reaktionen, die auf dieser Platin-Oberfläche ablaufen. Denn dieses Edelmetall hat die bemerkenswerte Eigenschaft, große Mengen an Wasserstoff und Sauerstoff aufnehmen zu können und dadurch die Oxidation von Koh-

lenwasserstoff und Kohlenmonoxid zum ungiftigen Kohlendioxid und Wasserdampf zu beschleunigen. Autos mit Katalysator dürfen nur mit bleifreiem Benzin betankt werden, da ansonsten die bei der Verbrennung entstehenden Bleiverbindungen die katalytische Schicht abdecken und damit unwirksam machen würden.

Die Reaktivität der Metallpartikel-Oberflächen lässt sich durch unterschiedliche Mechanismen erklären: So können die beweglichen Elektronen im Metall die Reaktivität bestimmen. Denn wenn sie angeregt werden, können sie an der Oberfläche Reaktionen auslösen oder beeinflussen. Trifft ein aus dem Metall kommendes Elektron auf ein an der Oberfläche gebundenes Molekül, verändert sich dessen Bindungscharakter und damit auch seine Reaktivität.

### Diesel-Katalysatoren

Da Dieselmotoren mit Luftüberschuss ( $\lambda > 1$ ) betrieben werden, eignen sich für sie nicht die oben beschriebenen Katalysatoren und Lambda-Sonden. Sie werden mit so genannten Oxidationskatalysatoren ausgestattet, mit denen sich zwar bis zu 80 % der nicht oder nur teilweise verbrannten Kohlenwasserstoffe in Wasserdampf und Kohlendioxid umwandeln lassen, die sich aber aufgrund des Luftüberschusses nicht für die Reduktion von Stickoxiden eignen. Diesen kann aber z. B. im SCR-Verfahren (Selective Catalytic Reduction) mit Hilfe eines Reduktionsmittels zu Leibe gerückt werden: Im Katalysator werden die Stickoxide durch Ammoniak in unschädlichen Stickstoff und Wasser umgewandelt. Da Ammoniak bei Raumtemperatur sehr aggressiv und gesundheitsgefährdend ist, wird es erst im Abgassystem aus dem viel einfacher zu handhabenden Harnstoff hergestellt.

Um die immer strengeren EU-Abgasnormen einzuhalten, müssen die Katalysatoren ständig den technischen Verbesserungen der Motoren angepasst werden. Ab 2006 wird kein Neuwagen mehr zugelassen werden, der nicht mindestens die Euro-4-Norm erfüllt. Diese neue Vorschrift bedeutet immerhin fast eine Halbierung der Abgasgrenzwerte der momentan geltenden Euro-3-Norm. Auch die Rußfilter werden sicher bald zum Alltag gehören.

KATJA BAMMEL