

11.3 Exkurs: Der Abgaskatalysator

Die Abgase von Ottomotoren (Verbrennungsmotoren) enthalten neben unverbranntem Benzin (Kohlenwasserstoffe, KW) Gase, die als Schadstoffe in die Luft gelangen. Dazu gehört Kohlenstoffmonooxid (CO), das bei Sauerstoffmangel und hohen Temperaturen bei der Verbrennung als Nebenprodukt entsteht. Aus dem Sauerstoff und dem Stickstoff der Luft bilden sich im Motor ausserdem Stickstoffoxide («Stickoxide», NO_x).

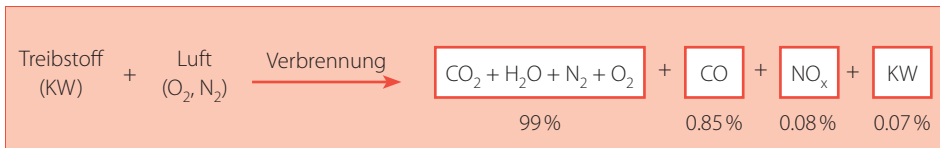


Abb. 11.17

Verbrennungsreaktionen im Ottomotor; Abgaszusammensetzung in Volumenanteilen

Um den Ausstoss von Schadstoffen in die Luft zu vermindern, rüstet man die Autos mit Abgaskatalysatoren aus (Abb. 11.18). Der Träger des Katalysators ist ein Keramikkörper mit wabenförmigen Gängen, die mit einer porösen Schicht von Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Cer(IV)-oxid (CeO_2) überzogen sind. Die eigentliche katalytisch wirksame Masse, eine Platin-Rhodium-Legierung, ist auf der Oxidschicht aufgebracht, insgesamt etwa 2 Gramm pro Katalysator.

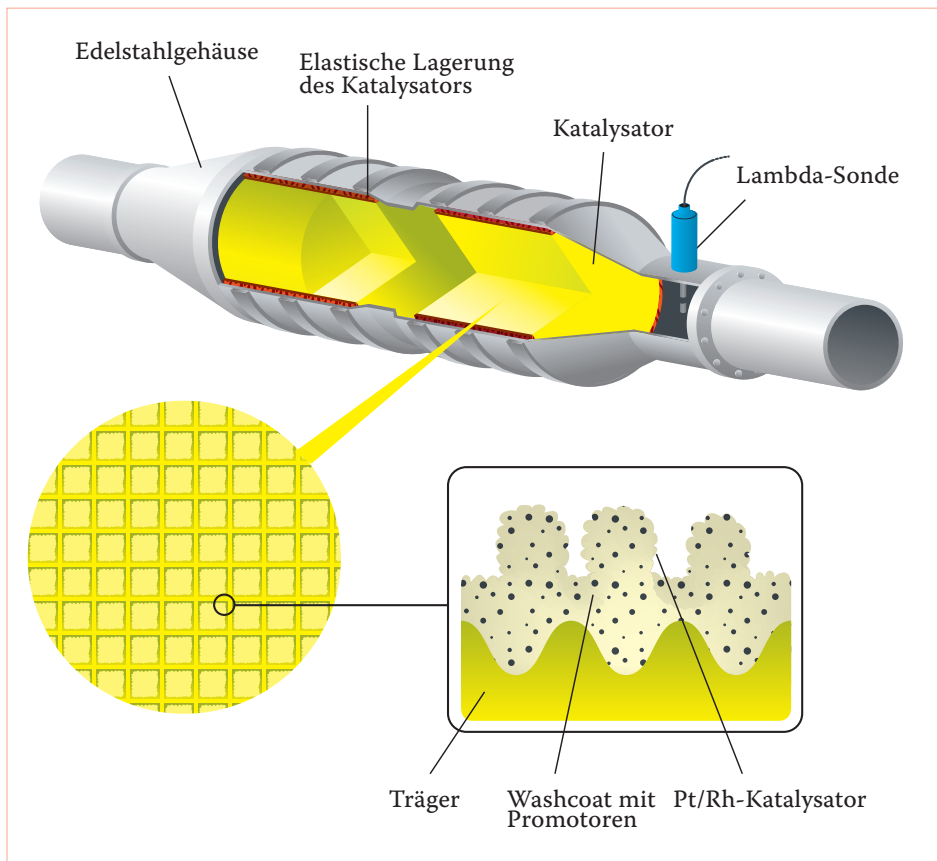
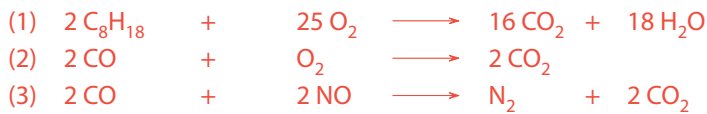


Abb. 11.18

Aufbau eines Abgaskatalysators

An der Oberfläche des Katalysators laufen folgende Reaktionen ab:



C_8H_{18} (Octan, ein Kohlenwasserstoff) steht stellvertretend für den unverbrauchten Treibstoff.

Die Reaktion von Kohlenstoffmonooxid (CO) zu Kohlenstoffdioxid (CO_2) ist mit der Umwandlung von Stickstoffmonooxid (NO) zu Stickstoff (N_2) gekoppelt. Eine wichtige Rolle spielt daher der Sauerstoffgehalt des Abgases. Bei sehr hohem Sauerstoffgehalt verläuft einerseits die Umwandlung der Kohlenwasserstoffe (des Benzins) zu Kohlenstoffdioxid und Wasser vollständig und andererseits des Kohlenstoffmonooxids zu Kohlenstoffdioxid [(1) und (2)]. In diesem Fall ist jedoch nicht mehr genügend Kohlenstoffmonooxid zur Umwandlung von NO in N_2 vorhanden [(3)]. In sauerstoffarmem Abgas werden nur geringe Mengen von Kohlenwasserstoffen und Kohlenstoffmonooxid umgewandelt, der Umsatz von CO und NO ist hingegen sehr hoch.

Den optimalen Umsetzungsgrad erhält man nur in einem engen Bereich des Sauerstoffgehalts, dem λ -Fenster (λ : Lambda). Die λ -Sonde steuert den Sauerstoffanteil des Treibstoff-Luft-Gemischs im Einspritzer, indem sie elektrochemisch den Partialdruck (Teildruck) des Sauerstoffs misst. Solche geregelten Dreiwegkatalysatoren beseitigen im optimalen Temperaturbereich bis zu 98 Prozent der Kohlenwasserstoffe, des Kohlenstoffmonooxids und der Stickoxide (Abb. 11.20).

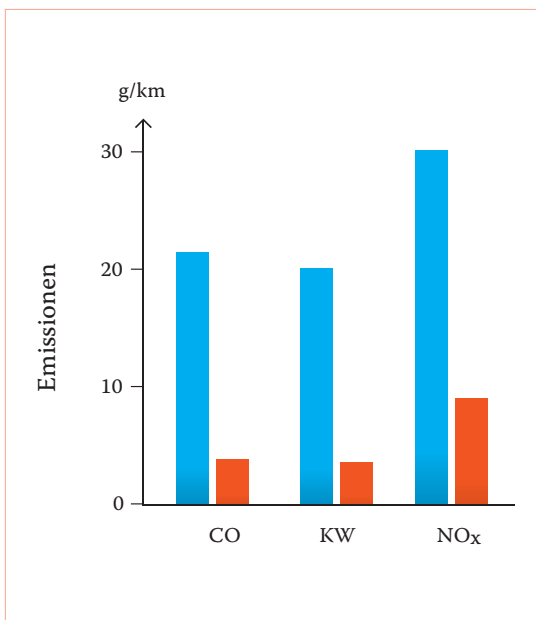


Abb. 11.19

Emissionen der drei Hauptschadstoffe CO , NO_x und KW in den Abgasen von Ottomotoren. Blau: ohne Katalysator; rot: mit geregelterm Dreiwegkatalysator

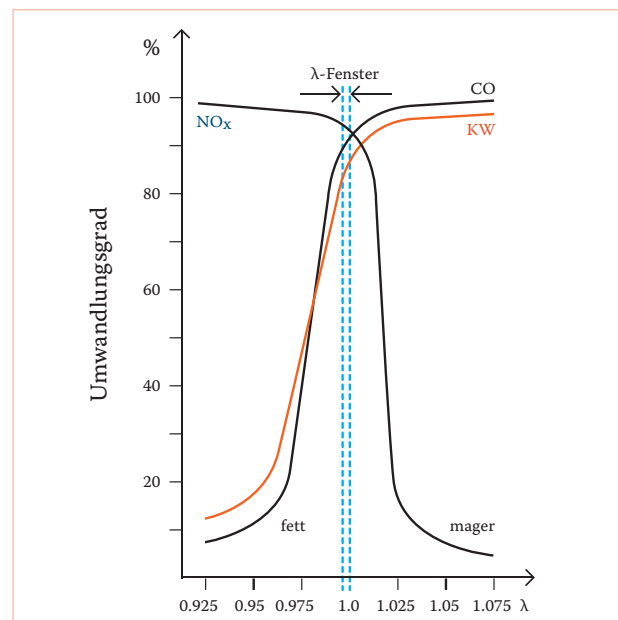


Abb. 11.20

Umwandlungsgrad der drei Hauptschadstoffe und λ -Fenster (fett: sauerstoffarm; mager: sauerstoffreich). Die Zahl λ erhält man aus dem Verhältnis zwischen der tatsächlich dem Treibstoff zugeführten Luftmenge und der Luftmenge, die für die vollständige Verbrennung des Treibstoffs erforderlich ist.

Gebrauchte Katalysatoren können in einem Hochtemperatur-Elektrofen mit Kalk (CaCO_3) zusammenschmolzen werden. Die Edelmetalle verbinden sich dabei mit einem sogenannten Sammlermetall (Fe, Ni, Cu) und lassen sich in einem weiteren Arbeitsschritt zurückgewinnen. Das keramische Material bildet eine feste, unlösliche Schlacke.

Die Wirkung des Abgaskatalysators wurde Mitte der Achtzigerjahre aufgeklärt: Kohlenstoffmonooxid und Stickstoffmonooxid binden sich zuerst an die Platin-Rhodium-Oberfläche. Anschliessend dissoziiert (spaltet sich) NO in ein N- und ein O-Atom und Letzteres reagiert mit CO zu CO_2 , das den Katalysator verlässt. Werden in der Nähe des adsorbiert gebliebenen N-Atoms jeweils ein weiteres CO- und NO-Molekül angelagert, so bilden sich ein zweites CO_2 - und ein N_2 -Molekül.

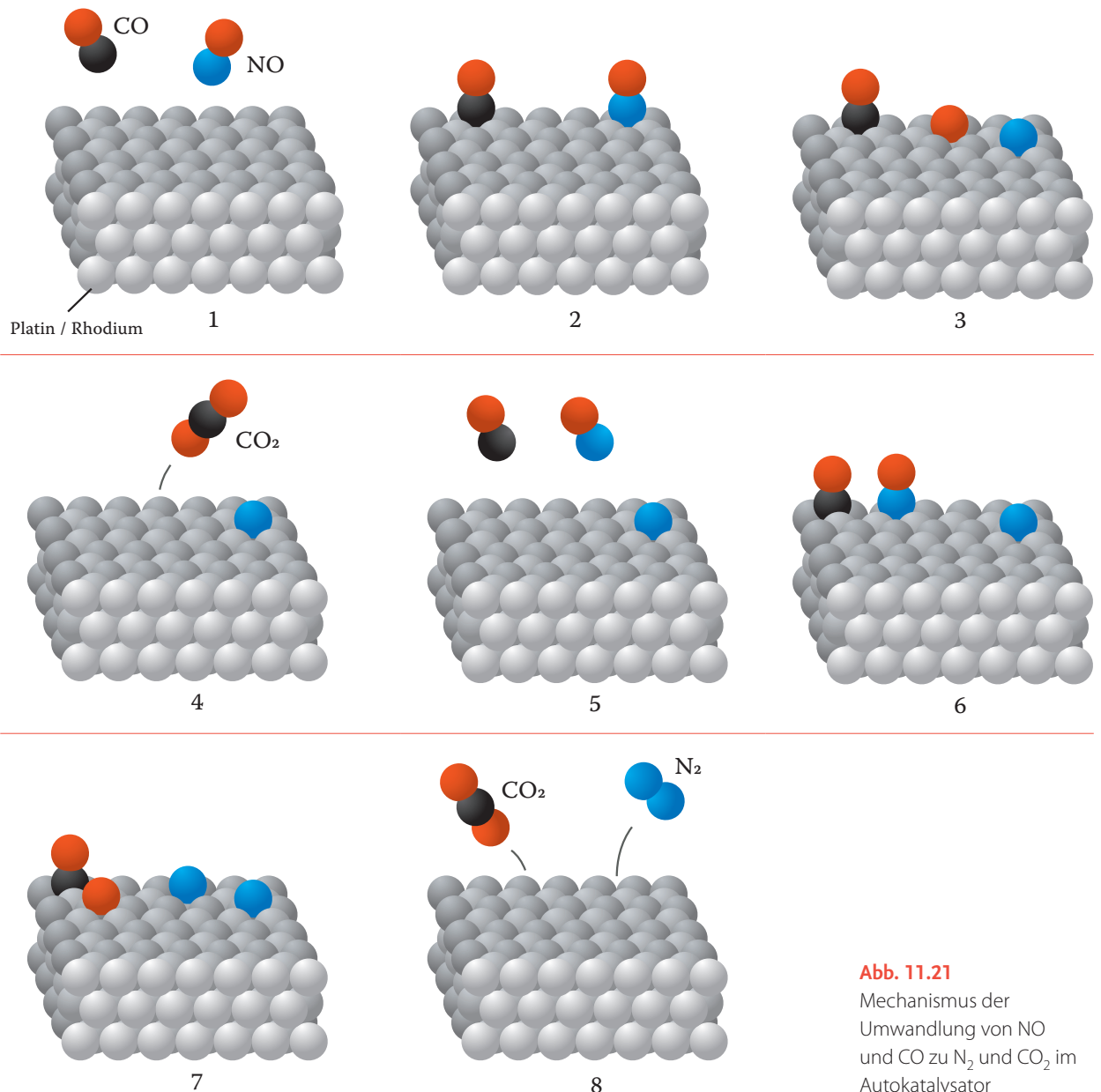


Abb. 11.21
Mechanismus der
Umwandlung von NO
und CO zu N_2 und CO_2 im
Autokatalysator

Dieselmotoren auf der Anklagebank

Um Käuferinnen und Käufer eines Autos eine Entscheidungsgrundlage hinsichtlich Umweltverträglichkeit an die Hand zu geben, misst man unter genau definierten Bedingungen die von einem Verbrennungsmotor ausgestossenen Abgase. Nun hat sich jedoch herausgestellt, dass die Software von Dieselfahrzeugen verschiedener Autobauer so programmiert wurde, dass die auf dem Prüfstand gemessenen Werte deutlich niedriger lagen als bei Normalgebrauch im Strassenverkehr. Im Zentrum der Diskussion stehen dabei die Stickoxide NO_x , da vor allem deren Werte manipuliert wurden.

Benzin- und Dieselmotor

In einem Benzinmotor wird ein Gemisch von Benzin und Luft verdichtet und durch den Funken einer Zündkerze zur Explosion gebracht. Im Gegensatz dazu saugt ein Dieselmotor zuerst nur Luft in den Motorkolben und komprimiert diese so stark, dass sie eine Temperatur von 700 bis 900 °C erreicht. Der erst dann zugespritzte Kraftstoff (Diesel) entzündet sich dabei selbst. Aufgrund der hohen Temperaturen führt die Reaktion zwischen dem Sauerstoff und dem Stickstoff der Luft zu deutlich mehr Stickoxiden als in einem «Benziner».

Reduktion der Stickoxide zu N_2 und H_2O

Die Stickoxide, NO und NO_2 , lassen sich mit einer Mischung aus 32.5 Prozent Harnstoff $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ und 67.5 Prozent demineralisiertem Wasser um bis zu 90 Prozent verringern. Leider sind die Tanks in den Fahrzeugen für dieses Gemisch (Handelsname AdBlue) vielfach zu klein und oft wird einfach «vergessen», die Flüssigkeit nachzufüllen.

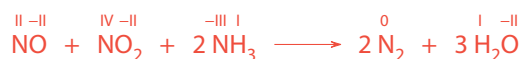
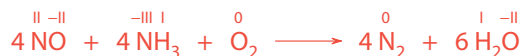
Wie wirkt AdBlue? Die Harnstoff-Wasser-Mischung wird in das Abgasrohr eingespritzt und dort wegen der hohen Temperaturen thermolytisch zersetzt:



Anschliessend erfolgt eine hydrolytische Spaltung der Isocyan säure:



Im Autokatalysator wird dann der Ammoniak-Stickstoff oxidiert und der gebundene Stickstoff der Stickoxide reduziert:



Zentrale Begriffe zum Exkurs 11.3

- › Ottomotor
- › Kohlenwasserstoffe
- › Kohlenstoffmonooxid
- › Stickstoffmonooxid
- › Abgaskatalysator
- › λ -Fenster
- › AdBlue
- › Dieselmotor