

Zusatzinformationen zu Wärmelehre/Energieumsetzung

Katalysator

Dieses Kapitel überschreitet die Fächergrenze zur Chemie. Da heute vielfach fächerübergreifende Themen für die Unterrichtspraxis empfohlen werden, bietet sich das Thema Katalysator als ein schönes Beispiel an.

Verbrennung

1. Die Luftzahl λ ("Lambda")

Nach Erkenntnissen der Chemie werden im unter Idealbedingungen laufenden Verbrennungsmotor im Verhältnis genau 1 kg Kraftstoff zusammen mit 14,7 kg Luft verbrannt (stöchiometrisch korrektes Kraftstoff-Luftverhältnis). Man beachte besonders auch für die Luft die Angabe in der Masseneinheit kg, also nicht in einer der vielleicht erwarteten Volumeneinheiten "Liter" oder "m³".

Mit λ bezeichnet man nun das Verhältnis von tatsächlich zugeführter Luftmasse zu der Luftmasse, die entsprechend der momentanen Kraftstoffzufuhr gemäß dem stöchiometrisch korrekten Verhältnis eigentlich zuzuführen wäre:

$$\lambda = \frac{\text{tatsächlich zugeführte Luftmasse}}{\text{theoretisch erforderliche Luftmasse}}$$

Wenn also die "korrekte" Luftmasse zugeführt wird, hat λ den Wert 1. Bei einem Überschuss an Kraftstoff (Gemisch "fetter", tatsächlich zugeführte Luftmasse ist im Verhältnis zur Kraftstoffmenge zu niedrig) ergibt sich demnach ein Wert von $\lambda < 1$.

Bei einem Überschuss an Luft (Gemisch "magerer", tatsächlich zugeführte Luftmasse ist im Verhältnis zur Kraftstoffmenge zu hoch) tritt ein Wert von $\lambda > 1$ auf.

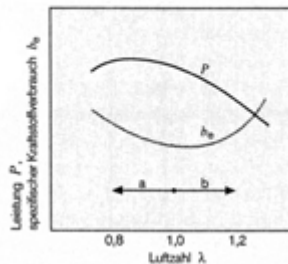
2. Auswirkungen verschiedener λ -Werte

Herkömmliche Ottomotoren ohne Direkteinspritzung erreichen ihre Höchstleistung bei einem leicht zu fetten Gemisch bei λ ca. 0.85–0.95, also bei 5 bis 15 % Luftmangel. Umgekehrt haben sie den geringsten Kraftstoffverbrauch bei λ ca. 1,1–1.2, also bei einem mageren Gemisch von 10 bis 20 % Luftüberschuss (siehe Diagramm).

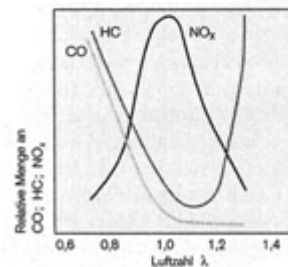
Das zweite Diagramm zeigt die Schadstoffzusammensetzung im Rohabgas des Motors. Man erkennt, dass im angestrebten Fall " $\lambda = 1$ " noch keineswegs alle Schadstoffanteile minimal sind. Aber die für " $\lambda = 1$ " vorliegende Zusammensetzung ist genau die für die Nachbereitung mit einem Katalysator erwartete. Nur dann können die angestrebten chemischen Vorgänge im Innern des Katalysators korrekt ablaufen. Wenn also aus den oben erwähnten Gründen (vorübergehende maximale

Leistungsanforderung; Wunsch nach besonders sparsamer "magerer" Motorauslegung) oder während der Aufwärmphase nach dem Kaltstart die Bedingung " $\lambda = 1$ " nicht eingehalten werden kann, müssen weitere Maßnahmen rund um den Katalysator getroffen werden. So erfordert beispielsweise ein moderner Motor mit Direkteinspritzung und der Möglichkeit zum sparsamen "Schichtladebetrieb" im Leerlauf- und Teillastbereich einen speziellen zweiten NO_x-Speicherkatalysator.

Einfluss der Luftzahl λ auf die Leistung P und den spezifischen Kraftstoffverbrauch b_s bei homogener Gemischverteilung



Einfluss der Luftzahl λ auf die Schadstoffzusammensetzung im Rohabgas bei homogener Gemischverteilung



3. Chemische Abläufe im Katalysator

Die hier betrachteten vom Motor produzierten Schadstoffe sind:

- Kohlenwasserstoffe (C_xH_y)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickoxide (NO_x)

Der Katalysator hilft dazu, diese Bestandteile in die ungiftigen Endprodukte

- Wasserdampf (H_2O)
- Kohlendioxid (CO_2)
- Stickstoff (N_2)

umzuwandeln.

Der Name "Dreiwegekatalysator" für den inzwischen üblichen Katalysator mit Lambda-Regelung ergibt sich aus seinen drei Aufgabenbereichen:

- aus CO wird durch Oxidation CO_2
- aus HC wird durch Oxidation H_2O und CO_2
- aus NO_x wird durch Reduktion N_2

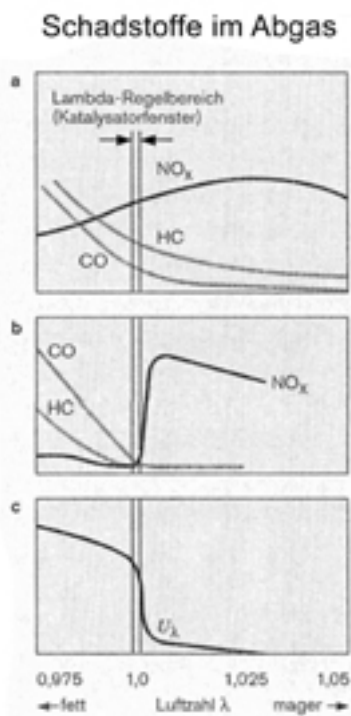
Begriffsbestimmung: Unter Katalysator versteht man in der Chemie einen Stoff, der chemische Reaktionen ermöglicht oder ihre Geschwindigkeit beeinflusst, ohne selbst verändert zu werden.

Die nun im Innern des Dreivegekatalysators ablaufenden Reaktionen sind:

Reaktionsgleichungen im Dreivegekatalysator

- (1) $2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$
- (2) $2 \text{C}_2\text{H}_6 + 7 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
- (3) $2 \text{NO} + 2 \text{CO} \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{CO}_2$
- (4) $2 \text{NO}_2 + 2 \text{CO} \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{CO}_2 + \text{O}_2$

Arbeitsweise: (Zitat: aus Bosch, Gelbe Reihe)
Schadstoffe im Abgas



4. Betriebsbedingungen, Einbaulage und Aufbau des Katalysators

Betriebsbedingungen:

Die geschilderten Vorgänge beginnen erst ab einer Betriebstemperatur von über 300 °C zu laufen. Die optimale Katalysatortemperatur ist 400-800 °C. Daher ist es wichtig, diese schnell zu erreichen und im Betrieb diesen Bereich auch nach oben nicht zu verlassen, da zu hohe Temperaturen wiederum zu einer vorschnellen Alterung führen.

Daher muss in der Warmlaufphase schnell diese optimale Temperatur erreicht werden. Man kann dazu bei herkömmlichen Motoren ohne Direkteinspritzung den Zündwinkel in Richtung "spät" verstellen sowie die Technik der "Sekundärlufteinblasung" verwenden. Dabei wird in den

Abgaskrümmen "künstlich" Frischluft zugeführt. Die während der Warmlaufphase hohen Anteile unverbrannten Kraftstoff-Luft-Gemisches im Abgas werden mit diesem zusätzlichen Luftsauerstoff verbrannt und erzeugen eine höhere Temperatur im Abgasstrang. Bei modernen Motoren mit Direkteinspritzung ist eine zweite "Nacheinspritzung" während des Arbeitstaktes möglich. Dieser Kraftstoff verbrennt sehr spät und heizt ebenfalls die Abgase auf, sodass der Katalysator schnell in den erforderlichen Temperaturbereich kommt.

Einbaulage

Nach der Warmlaufphase soll die Temperatur des Katalysators im Optimalbereich von ca. 400 °C bleiben. Daher ist eine Einbaulage zu weit vom Motor entfernt ungünstig. Der Katalysator sitzt üblicherweise hinter dem Abgaskrümmen in direkter Motornähe.

Der folgende Text sowie die folgenden Grafiken stammen von <http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/abgas/katalysator.htm>:

Aufbau von Katalysatoren

Der Katalysator besteht aus vier Komponenten:

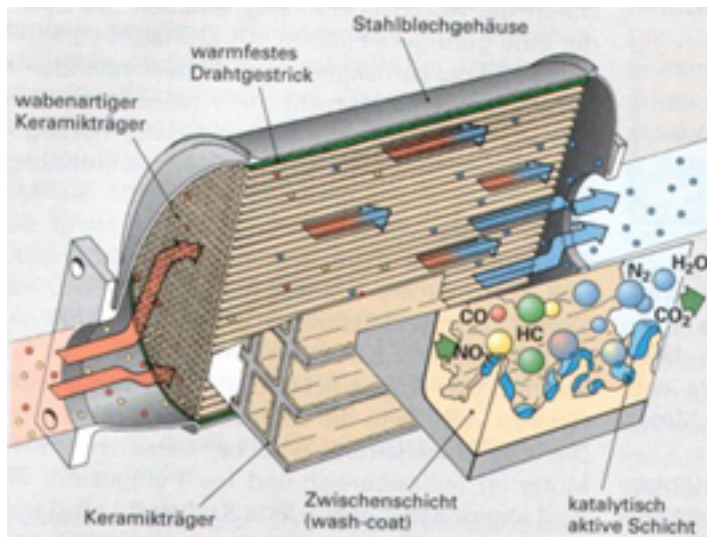
1. dem Träger:

Als Träger werden so genannte Monolithe (Al₂O₃-Silikat = Keramik) oder Metallträger verwendet. Wichtig ist eine möglichst große Oberfläche, um große Abgasmengen verarbeiten zu können. Der Träger ist mit mehreren tausend Kanälen durchzogen, durch die das Abgas strömt. Um den Strömungswiderstand möglichst klein zu halten, ist der Monolith sehr dünnwandig (ca. 0,3 mm). Da bei Metallträgern die Gefahr des Durchbrennens oder einer mechanischen Beschädigung geringer ist, kann die Wandstärke viel dünner ausgelegt werden (ca. 0,05 mm).

Vorteile des Keramikträgers: bessere Rückgewinnung der Edelmetalle, kostengünstiger, konstantere Betriebstemperatur

Vorteile des Metallträgers: stoßunempfindlicher, hitzebeständiger, schnellere Aufheizzeit, geringerer Abgasgegendruck

Der Metallträger Metall besteht aus sehr dünnen Stahlfolien (0,03-0,08 mm). Er eignet sich für verschiedene Katalysator-Arten.



2. **der Zwischenschicht (Wash-Coat oder Trägerschicht):**

Zur weiteren Vergrößerung der Oberschläche ist der Keramikträger mit einer Schicht aus Aluminiumoxyd (Al_2O_3) versehen. Dadurch vergrößert sich die Oberfläche um das 700fache. Die Sauerstoffspeicherfähigkeit wird ebenso erhöht.

3. **der katalytisch aktiven Schicht:**

Auf die Zwischenschicht wird die aus den Edelmetallen Platin und Rhodium und auch Palladium bestehende katalytisch aktive Schicht aufgedampft. Das Platin begünstigt die Oxidationsvorgänge, das Rhodium die Reduktionsvorgänge. Die Metalle reagieren aber nicht selbst, sie rufen nur die Reaktion hervor. Das Verhältnis Platin zu Rhodium beträgt etwa 5:1. Die Gesamtmenge der beiden Edelmetalle liegt pro Katalysator zwischen 4 und 9 Gramm.

4. **dem Gehäuse mit Dämpfung:**

Da der keramische Träger sehr spröde ist und auch eine andere Wärmedehnung als das Gehäuse aufweist, wird er in eine Dämpfungsschicht, ein Drahtgestrick oder eine Keramikfasermatte eingebettet. Metallträger benötigen die Dämpfungsschicht nicht.

