

INFOBRIEF

SCR KATALYSATORTECHNIK für flüssig oder gasförmig betriebene Verbrennungsmotoren

Die zunehmenden Schadstoffbelastungen der Atmosphäre durch Verbrennung von fossilen und biologischen Brennstoffen haben in den letzten Jahrzehnten zu einer Vielzahl von Abgasvorschriften geführt. Zur Energie- und/oder Krafterzeugung werden hauptsächlich fossile Brennstoffe wie Leichtöle, Schweröle oder Erdgas eingesetzt, aber auch Biogase wie z. B. Deponiegas.

Nach verwendetem Brennstoff entstehen in Verbrennungsmotoren unterschiedliche Schadgase, denen das Abgasreinigungskonzept anzupassen ist.

Die **ewkat**[®] Abgasreinigungstechnik bietet auf Grund des flexiblen Aufbaues ideale Anwendungsmöglichkeiten zur Einhaltung der Grenzwerte.

Bei den Emissionen handelt es sich hauptsächlich um

Schwefeldioxid	SO ₂
Stickoxide	NO _x
Kohlenwasserstoffe	HC
Kohlenmonoxid	CO
Ruß	C
Partikel	

Stickoxide NO_x

werden bei Verbrennungsmotoren zu mehr als 95 % als NO und zu weniger als 5 % als NO₂ emittiert. Unter Einwirkung von O₂, d. h. Luftsauerstoff, oxidiert das farblose NO zu NO₂. NO₂ ist dunkelbraun und riecht stechend. Unter höherer Dosis führt es zu Atemwegserkrankungen und Lähmungserscheinungen. Pflanzen werden welk. In Verbindung mit Wasser, d. h. Luftfeuchtigkeit und Regen, können sich Salpetersäureverbindungen bilden. Der Anteil der emittierten Stickoxide hat sich in den letzten Jahren um jährlich mehr als 12,5 % erhöht.

Schwefeldioxid SO₂

entsteht bei Einsatz von schwefelhaltigen Brennstoffen, insbesondere bei Schwerölen in Verbindung mit Luftfeuchtigkeit entstehen Säureverbindungen, welche zum „sauren Regen“ beitragen.

Kohlenwasserstoffe HC

treten bei Verbrennungsmotoren dadurch auf, dass die flüssigen oder gasförmigen Brennstoffe nicht vollständig verbrennen. Hierbei handelt es sich meist um kettenförmige Methan- oder ringförmige Benzolverbindungen sowie krebserregende ringförmige zyklische und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Insbesondere Aldehyde der Kohlenwasserstoffe tragen stark zur Geruchsbelästigung bei. Unter Sonnenlichteinfluss (Photolyse) entsteht der sogenannte Smog.

Kohlenmonoxid CO

ist ein farb- und geruchloses Gas. Es behindert bei Überdosis die Sauerstoffaufnahme und führt zur Schädigung bis zur Vergiftung von Lebewesen.

Ruß C

ist praktisch reiner Kohlenstoff und tritt vermehrt auf bei ungünstiger Verbrennung. Rußpartikel sind sehr klein (< 1/5000 mm) und ähnlich Asbeststaub gefährlich, da leicht lungengängig.

Partikel

sind kleinste Verunreinigungen aus den Brennstoffen wie Kalkverbindungen, Sulfate oder ähnliches.

Alle vorgenannten Emissionen tragen direkt oder indirekt zum Treibhauseffekt bei. In der Troposphäre (bis 10 km Höhe) entsteht Ozon hauptsächlich durch Kohlenwasserstoffe in Gegenwart von Stickoxiden, welches schädliche Eigenschaften auf Pflanzen und Lebewesen hat. Dem Ozon in der Stratosphäre in 10 – 50 km Höhe, welches hauptsächlich im Bereich von 20 – 50 km vorzufinden ist, haben wir es zu verdanken, dass die UV-B-Bestrahlung der Sonne absorbiert wird. Diese äußere „Schutzschicht“, welche sich ständig erneuert, ist und wird durch Störung der chemischen Zusammensetzung der Erdatmosphäre geschädigt und führt zur Temperaturerhöhung auf der Erde.

Zum Verfahren

Im Allgemeinen kommen zwei Verfahren zur Reduktion der Emissionen zur Ausführung:

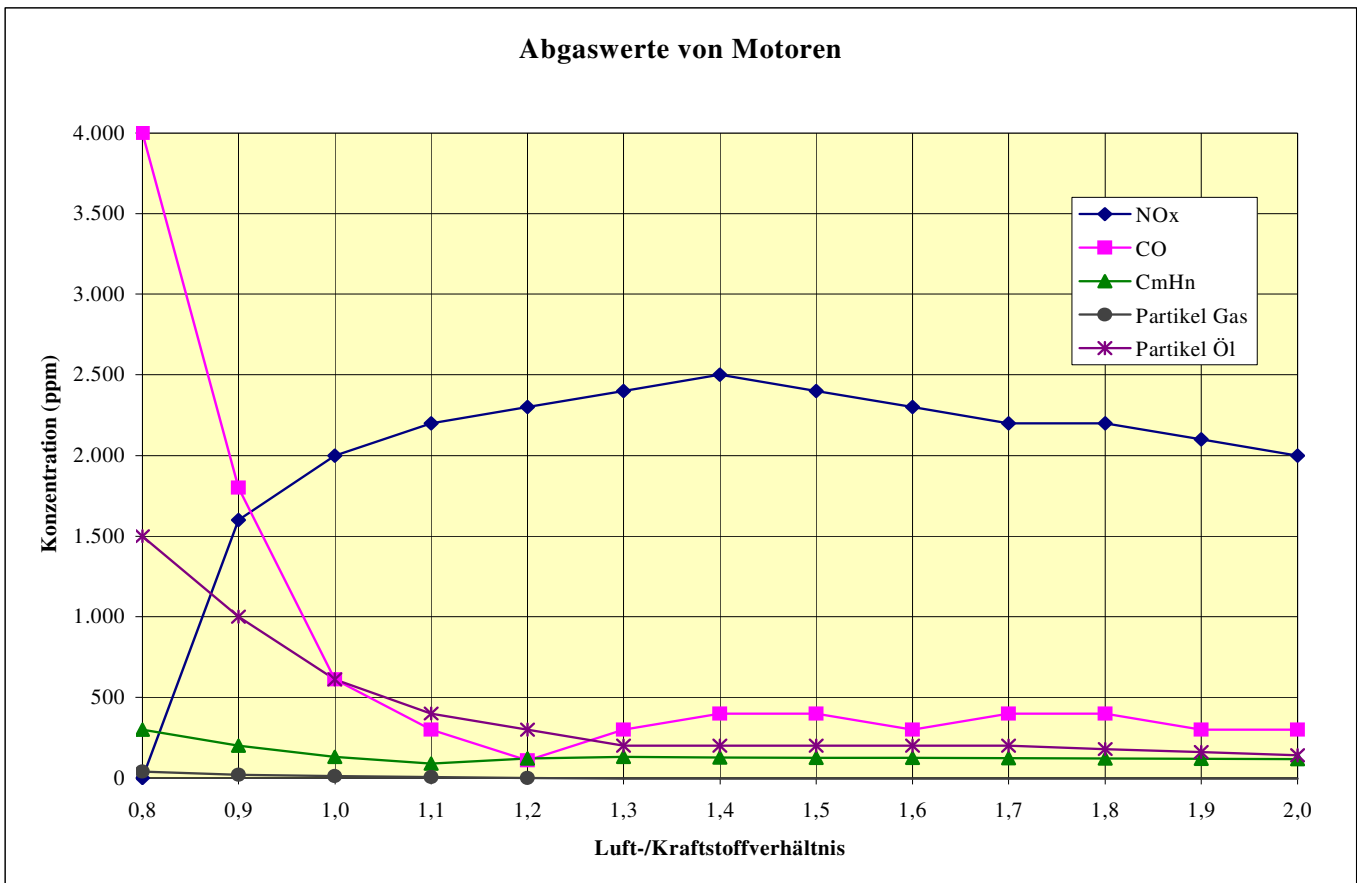
3-Wege-Katalysator, SNCR

zur Reduktion der 3 Bestandteile NO, CO und HC als **Selective Non Catalytic Reduction** bei Betrieb von Otto-Motoren ohne Luftüberschuss, d. h. $\lambda = 1$, in der Automobilindustrie, wo ohne Zusatzadditive in einem Katalysator eine partielle Abscheidung erreicht wird.

SCR-Verfahren wie ewkat[®]

für Anlagen mit Luftüberschuss, d. h. $\lambda > 1$, in welchen für jede Emission ein spezieller Katalysatortyp als **Selective Catalytic Reduction** eingesetzt wird und die Reduktion der Stickoxide zusätzlich durch Dosierung von Additiven wie Harnstoff oder Ammoniak erhöht wird. Dieses Verfahren wird meist bei stationären Anlagen mit großen Gasmengen und hohen Emissionen eingesetzt, wie z. B. bei höher schwefelhaltigen Brennstoffen.

Das folgende Diagramm zeigt die Emissionen bei entsprechenden Luftüberschusszahlen:



Das **ewkat**[®] Verfahren zur selektiven katalytischen Reduktion besteht je nach Reduktion der Emissionen aus verschiedenen hintereinander geschalteten Verfahrensschritten.

NO_x-Reduktion

zur Dosierung von Harnstoff (NH₂)₂CO oder NH₃ mit nachgeschalteten Katalysatorwaben aus Titandioxid TiO₂ als Trägermasse mit aktiver Dotierung von Vanadiumpentoxid V₂O₅ bzw. Wolframtrioxid WO₃. Diese keramischen Vollextrudate werden als Vollkontakt-Katalysatoren mit Raumgeschwindigkeiten von ca. 15.000 h⁻¹ eingesetzt mit Wabengröße (Pitch) von 2,7-13 mm.

Je nach Anwendungsfall können auch beschichtete Metallfolien eingesetzt werden.

Reaktionsmittel

zur NO_x-Reduktion kann Ammoniak als wässrige Lösung oder gasförmig eingesetzt werden. Bedingt durch die bessere Handhabung ist es jedoch von Vorteil **Technischen Harnstoff** einzusetzen, welcher in einer meist 40 %-igen Lösung über eine spezielle Düse in den Rauchgasstrom dosiert wird. Technischer Harnstoff ist als weißes Granulat erhältlich und kann über eine Ansetzstation mit geringem Aufwand in Lösung gebracht oder auch direkt als Lösung bezogen werden.

Die Verwendung von Harnstoff stellt in jedem Fall die wirtschaftlich günstigere Anwendung da.

CO/HC-Reduktion

zur Reduktion der Emission von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen durch Oxidation auf der Oberfläche von Katalysatorwaben aus Titandioxid als Trägermasse mit Oberflächenbeschichtung aus Edelmetalloxiden wie Platin, Palladium oder anderen Mischungen. Diese Oxidationskatalysatoren werden mit Raumgeschwindigkeiten von ca. 40.000 h⁻¹ betrieben und sind geometrisch wie die NO_x-Katalysatoren aufgebaut, tragen die aktive Substanz jedoch nur auf der Oberfläche.

Auch hier können je nach Anwendungsfall beschichtete Metallfolien eingesetzt werden.

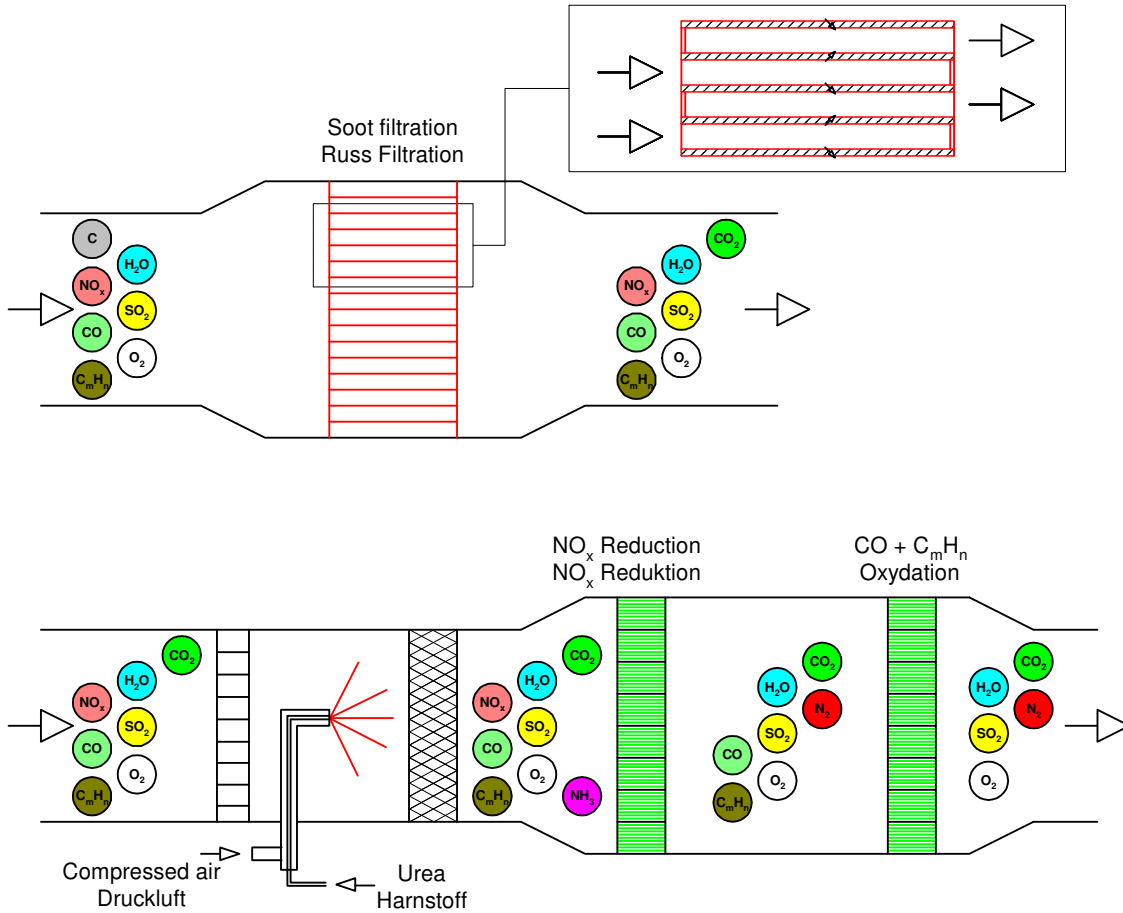
C-Reduktion (Ruß)

Ergänzend zu den vorgenannten Keramik- oder Metallfolien-Katalysatoren besteht die Möglichkeit, einen Faserfilterkatalysator zur Abscheidung der mikrofeinen Rußpartikel einzusetzen. Ruß entsteht bei ungenügender Durchmischung bei örtlichem Sauerstoffmangel in der Brennkammer, insbesondere bei flüssigen Brennstoffen. Die Rußpartikel werden in einem Fasergestrick als Patronenfilter mit Tiefenfiltration absorbiert. Durch die zusätzliche katalytische Beschichtung wird in einem Temperaturbereich von 360 – 480 °C (Optimum 420 °C) der Ruß katalytisch „verbrannt“.

Die Patronenbauweise ist auf die geometrische Form der Wabenkatalysatoren abgestimmt, so dass die modulare Ergänzung vorliegt. Diese Faserkatalysatoren werden bei Dieselmotoren eingesetzt.

Bei schwerölbetriebenen Motoren werden filternde Abscheider oder Trocken-Elektrofilter eingesetzt.

Reaktionsverlauf



NO_x Reaktion mit Ammoniak NH₃

für NO	$4 \text{NO} + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2$	\rightarrow	$4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
für NO ₂	$6 \text{NO}_2 + 8 \text{NH}_3 + \text{O}_2$	\rightarrow	$7 \text{N}_2 + 12 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

NO_x Reaktion mit Harnstoff (NH₂)₂ CO

für NO	$4 \text{NO} + 2 (\text{NH}_2)_2 \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	\rightarrow	$4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2$
für NO ₂	$6 \text{NO}_2 + 4 (\text{NH}_2)_2 \text{CO} + 4 \text{H}_2\text{O}$	\rightarrow	$7 \text{N}_2 + 12 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$

SO₂ Nebenreaktion

	$2 \text{SO}_2 + \text{O}_2$	\rightarrow	2SO_3
	$\text{SO}_3 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	\rightarrow	NH_4HSO_4
	$\text{SO}_3 + 2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	\rightarrow	$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$

CO Reaktion

	$2 \text{CO} + \text{O}_2$	\rightarrow	2CO_2
--	----------------------------	---------------	-----------------

C_mH_n Reaktion

	$\dots \text{C}_m\text{H}_n + \text{O}_2$	\rightarrow	$\dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$
--	---	---------------	--

Für Verbrennungsmotoren, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen betrieben werden und welche in

- Blockheizkraftwerken
- Gewächshäusern
- Notstromaggregaten
- Baumaschinen

Anwendung finden, ob Spitzenlast oder Dauerläufer, können die modular aufgebauten **ewkat**[®] - Katalysator-Anlagen den örtlichen Verhältnissen flexibel angepasst werden. Die Einhaltung der Grenzwerte kann auch bei hohen Emissionen und unterschiedlichen Betriebsweisen gewährleistet werden.

Bei Sonderfällen wie z. B. der Nutzung der Abgase nach Einbau von Katalysatoren zur Unterstützung des Wachstums in Gewächshäusern (wegen CO₂) sind bei gasbetriebenen Motoren die Äthylen-Emissionen C₂H₄ ebenfalls zu reduzieren. Die Reduktion kann auch synchron mit dem CO in einem Oxidationskatalysator erfolgen.

Übersicht über Motortypen und Emissionen (*Durchschnittswerte*):

Motortyp	Emission	Rohgas $\lambda > 1$ mg/Nm ³	Reingas mg/Nm ³	Abscheide- grad %	Lebens- dauer h	Raum- geschwindigkeit h ⁻¹
Magermotor (Vorkammer) (gasförmig oder flüssig)	NO _x	200-800	20-80	> 92	16.000	15.000-35.000
	CO	900-2000	80-150	> 95	20.000	40.000-60.000
	C _m H _n	200-700	90-200	> 70	16.000	20.000-40.000
	Ruß			> 90	20.000	10.000
Gas-Dieselmotor (Zündstrahl)	NO _x	2000-3000	15-300	93-98	16.000	15.000-35.000
	CO	700-1500	10-250	98-99	20.000	40.000-60.000
	C _m H _n	150-600	40-200	65-70	16.000	20.000-40.000
	Ruß			> 90	16.000	10.000
Dieselmotor (Direkteinspritzung)	NO _x	3000-9000	20-400	93-98	16.000	15.000-35.000
	CO	650-1800	10-300	98-99	20.000	40.000-60.000
	C _m H _n	100-500	15-50	65-70	16.000	30.000-50.000
	Ruß			> 90	16.000	10.000
Schweröl- Dieselmotor	NO _x	3000-8000	30-400	> 92	20.000	12.000-15.000
	CO	900-2000	80-150	> 95	20.000	40.000-60.000
	C _m H _n	50-200	30-100	> 70	16.000	30.000-50.000
	Ruß			> 90	---	---

- Für die verschiedenen Einsatzzwecke, insbesondere auch für den wirtschaftlichen Einsatz des Reaktionsmittels, wird ein entsprechend angepasstes PLC-System eingesetzt.
- Durch Emissionssensoren und Analysegeräte kann ein hoher Sicherheitsstandard gewährleistet werden.
- In Verbindung mit Harnstoff als Reaktionsmittel ist eine einfache fachgerechte Handhabung gegeben.
- Wartungs- und Inspektionsarbeiten sind insbesondere bei den Katalysatoren durch die gute Zugänglichkeit schnell durchführbar und durch die lange Lebensdauer der katalytischen Elemente werden hohe Reisezeiten und damit Verfügbarkeiten erreicht.