

Katalysatoren in Kraftfahrzeugen – Freund oder Feind für Umwelt und Gesundheit?

Durch die Einführung von Katalysatoren in Verbindung mit verbesserten Kraftstoffqualitäten und optimierten Motoren konnten bei Fahrzeugen mit Ottomotor die Emissionen von schädlichen Abgasen um mehr als 90% vermindert und die Luftqualität an Straßen deutlich verbessert werden. So hat sich zum Beispiel die Konzentration von Benzol seit den 80er Jahren halbiert. Andererseits gelangen erst durch den Einsatz von Katalysatoren auch unerwünschte Substanzen wie Platinmetalle aus der Katalysatorbeschichtung, N_2O durch chemische Reaktionen auf der Katalysatoroberfläche und Keramikfasern aus Lagermatten zwischen Katalysator und Metallgehäuse in die Umwelt. Diese Eigenschaften gilt es bei einer Gesamtbewertung von Katalysatoren hinsichtlich ihrer Bedeutung für Umwelt und Gesundheit gegeneinander abzuwägen.

1. Funktionsprinzip

Katalysatoren sind mit Edelmetallen wie Platin, Palladium und Rhodium beschichtete Keramik- oder Metallträger, die im Auspuffsystem von Kraftfahrzeugen eingebaut werden, um im Abgas enthaltene Schadstoffe in unbedenkliche Verbindungen umzuwandeln.

Zwei Katalysator-Typen sind bei uns augenblicklich im Einsatz: Der geregelte 3-Wege-Katalysator (G-KAT) für Benzinfahrzeuge und der Oxidations-Katalysator (OXI-KAT), der in Dieselfahrzeugen zur Anwendung kommt. Voraussetzung für das Funktionieren des G-KAT ist ein ausgewogenes Kraftstoff-Luft-Verhältnis ($\lambda = 1$). Hierfür ist der G-KAT mit einem elektronischen Regelkreis, bestehend aus Lambda-Sonde und elektronischem Steuergerät, ausgestattet. Abhängig vom Restsauerstoffgehalt im Abgas wird das Kraftstoff-Luftgemisch geregelt. So soll – weitgehend unabhängig von Fahrweise und -geschwindigkeit – der bestmögliche Grad der Abgasreinigung erreicht werden. Die Schadstoffe Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide werden nach Erreichen der Betriebstemperatur zu über 90% in unbedenkliche Stoffe wie Wasserdampf, Kohlendioxid und Stickstoff umgewandelt. Bei Dieselfahrzeugen kann der G-KAT nicht eingesetzt werden, da der Dieselmotor mit hohem Luftüberschuss arbeitet. Im Gegensatz zum G-KAT wandelt der OXI-KAT nur Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe und diese dann auch weniger effizient um. Die problematischen Abgaskomponenten des Dieselfahrzeugs, Rußpartikel und Stickstoffoxide, bleiben weitgehend unbeeinflusst. Das bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Treibstoffe entstehende Klimagas Kohlendioxid kann durch keine Katalysatoren zurückgehalten werden.

Gelöscht

2. Vorteil von Katalysatoren - Reduzierung von Emissionen

Dreiwegekatalysatoren bewirken eine erhebliche Reduzierung der Abgaskomponenten von Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren. Die als Konvertierungsrate bezeichnete Wirksamkeit des Katalysators liegt zwischen 85 – 95 Prozent. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass die Lambda-Sonde ein optimales Kraftstoff-Luft-Verhältnis sicherstellt, die Geometrie des Katalysators auf den Abgasstrom angepasst wird und die Abgastemperatur ausreichend hoch ist.

Durch moderne Motorsteuerungen konnten auch die ungereinigten Motorabgase so weit gemindert werden, dass die Emissionen im Vergleich zu einem früheren Fahrzeug ohne Katalysator um mehr als 95% gesunken sind. Die Reinigungsleistung steigt bei KATs langsam mit der Betriebstemperatur an. Eine Konvertierung von 50% erreicht man bei heutigen G-KAT ab etwa 240 Grad Celsius. Optimal wirken sie ab 500 Grad, die 3 bis 5 Minuten nach Starten des Motors erreicht werden. Diese Einschränkung ist vor allem bei kurzen Fahrten von großer Bedeutung, da beispielsweise bei einer 20-minütigen Autofahrt 80 bis 90 Prozent der Schadstoffe innerhalb der Startphase emittiert werden.

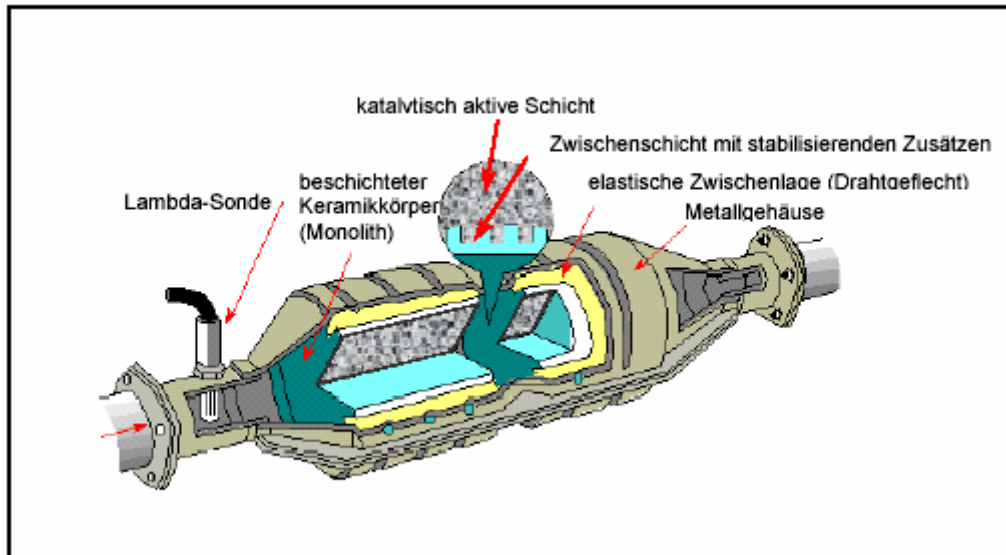


Abb. 1 : Schema eines Drei-Wege-Katalysators für Ottomotoren (Aus: LAI 2002)

Die Startemissionen werden heute durch eine motornahe Anordnung der Katalysatoren oder durch eine Luftspaltisolierung der Abgasrohre reduziert. Dabei werden die bei einem Kaltstart auftretenden Abgastemperaturen von 900 Grad Celsius zur schnellen Aufheizung der Katalysatoren genutzt. On-Board-Diagnose-Systeme kontrollieren seit Einführung der Grenzwertstufe Euro 3 (2000) ergänzend die Wirksamkeit des geregelten Katalysators über die Lebensdauer.

Die OXI-Kats in dieselbetriebenen Pkws bewirken eine Minderung der Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen sowie eine Verringerung der an Partikel gebundenen Kohlenwasserstoffe. OXI-Kats in dieselbetriebenen Pkws erreichen jedoch keine Rußminderung. Rußfilter sind bei Nutzfahrzeugen teilweise schon im Einsatz. So werden Linienbusse mit sogenannten CRT-Filtern (Continuously Regenerating Trap) ausgestattet. Durch die Kombination von OXI-KAT und nachgeschaltetem Keramik- oder Sintermetallfilter werden so Kohlenmonoxid-, Kohlenwasserstoff- und Partikelemissionen zu etwa 90 Prozent reduziert. Fortschrittliche Pkw-Hersteller bieten bereits die Ausstattung mit Rußfiltern an, die Minderungen von mehr als 90 Prozent erreichen. Einige Hersteller bieten diese Systeme serienmäßig an, bei anderen Herstellern werden sie zu einem Aufpreis angeboten. Auch für die Nachrüstung von Partikelfiltern mit Minderungen von mehr als 90 Prozent wurden bereits erste Systeme vorgestellt. In Zukunft sind Grenzwertanforderungen zu erwarten, für deren Erfüllung der Einsatz von Rußfiltern oder von vergleichbaren Technologien in neu zugelassenen Dieselfahrzeugen notwendig sein wird.

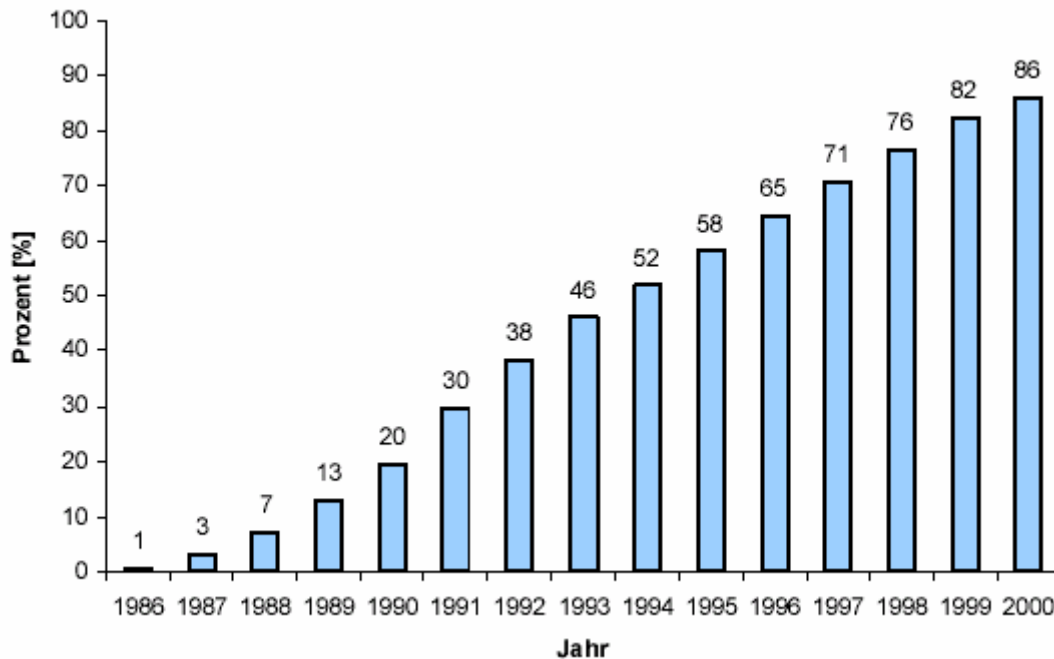


Abb. 2: Bestandsentwicklung des Katalysatorausstattungsgrades der Kraftfahrzeuge in Deutschland (Aus: LAI 2002)

3. Schadstoffeinträge durch Katalysatoren

Der umfassenden Reduzierung von Abgasemissionen durch KATs steht der Katalysator bedingte Eintrag neuer Substanzen in die Umwelt gegenüber. Seit langem bekannt sind Platinmetall-Emissionen sowie Emissionen des Treibhausgases N_2O . In jüngerer Zeit untersucht man auch den Verbleib und mögliche Risiken von emittierten Keramikfasern aus den Lagerfasermatten.

3. 1 Platin und Verwandte

In der Katalysatortechnik werden die Platinmetalle Platin, Palladium und Rhodium eingesetzt. Die Edelmetalle wirken als Beschleuniger oxidativer (Platin, Palladium) und reduktiver (Rhodium) Reaktionen bei der Umwandlung der Kraftfahrzeugabgase.

In einem handelsüblichen KAT sind durchschnittlich etwa zwei Gramm Platinmetalle enthalten. Seit einigen Jahren kommt - wegen des geringeren Preises - verstärkt Palladium als Ersatz für Platin zum Einsatz. Kats auf Palladium-Rhodium-Basis enthalten bis zu viermal mehr katalytisch aktives Metall als Platin-KATs.

Durch Abrieb gelangen kleine Anteile der Platinmetalle in die Umwelt. Untersuchungen an Motorenprüfständen zufolge liegt diese Emissionsmenge derzeit bei etwa 10 -100 Nanogramm Platinemissionen pro Kubikmeter Abgas oder einem Kilometer Fahrstrecke. Bei vollständigem Ersatz von Platin durch Palladium geht man von Emissionsraten zwischen 150 und 400 ng/km aus.

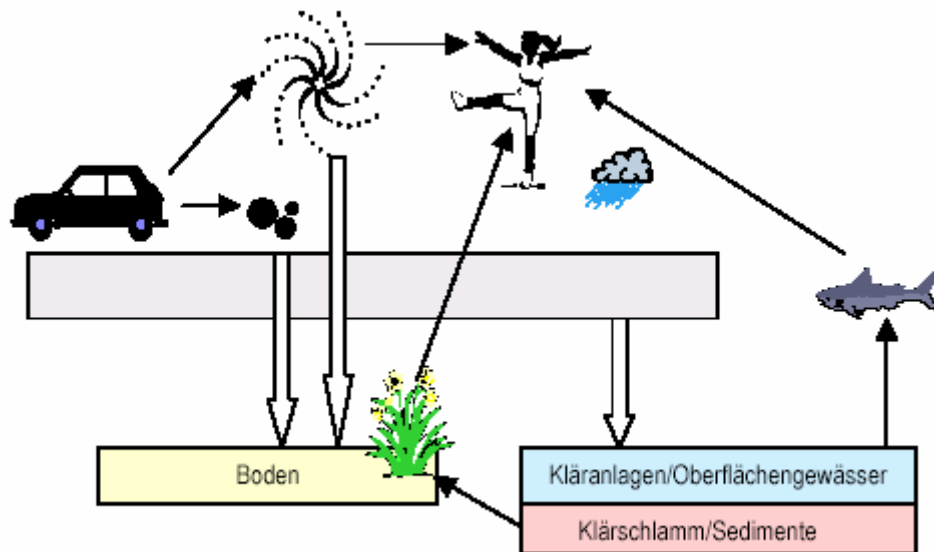


Abb. 3: Eintrag von Palladium aus Automobilkatalysatoren in die Umwelt (Aus.: LAI 2002)

Mögliche Einflüsse auf die Umwelt

Bereits seit 1990 werden in Erdproben von Straßenrändern zunehmende Gehalte an Platin beobachtet. Während im Jahr 1990 noch pro Kilogramm Staub an Straßen im Schnitt zwölf Mikrogramm Platin gemessen wurden, stieg dieser Wert auf über dreißig Mikrogramm im Jahr 1992 und sechzig Mikrogramm im Jahr 1994 bis zu Werten zwischen hundert und 250 Mikrogramm im Jahr 1996. Durch die hohen Temperaturen gelangt das Metall zunächst in reiner Form aus dem Katalysator in die Umwelt und bleibt nach einigen Reaktionen immobil im Boden. Pflanzen können es daher nur sehr begrenzt aufnehmen und in den Wurzeln anreichern. Ob langfristig Mikroorganismen im Boden Platin so mobilisieren können, dass es doch verstärkt in die Pflanzen gelangt, kann derzeit nicht mit endgültiger Sicherheit ausgeschlossen werden.

Im europäischen CEPLACA-Projekt arbeiteten von 1997 bis 2000 12 europäische Partner (als deutsche Vertreter unter anderem das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit) an einer Risikoabschätzung des Gefährdungspotentials von Platin, Palladium und Rhodium aus Kfz-Katalysatoren für die Umwelt. Ein wichtiges Ergebnis dieser Vorhaben war, dass der Kfz-Katalysator in verkehrsreichen Gegenden die bedeutendste Quelle für den Eintrag in die Umwelt darstellt. Katalysatoren aus dieselbetriebenen KATs emittieren etwa 10-100mal mehr an Platin als Otto-Motor-KATs, was vermutlich an der höheren Strömungsgeschwindigkeit und der höheren Temperatur im Abgassystem liegt. In einem zweiten europäischen Verbundprojekt (PACEPAC) gelang es schließlich, zertifiziertes Referenzmaterial zu gewinnen.

Für Gewässer wurden katalysatorbürtige Palladium-Konzentrationen von gerundet 100 Nanogramm je Liter errechnet. Dieser prognostizierte Wert liegt um mehrere Größenordnungen unter dem von vorgereinigten Abwässern aus der Schmuckindustrie. Daten zur Palladium-Belastung von verschiedenen Bodenproben zeigt Tab. 1 (siehe nächste Seite).

Wenn man davon ausgeht, dass ein großer Teil der aus Katalysatoren emittierten Platinmetalle über die Straßenentwässerung in Oberflächengewässer und Kläranlagen gelangt, erscheint der Eintragspfad Klärschlamm von besonderer Bedeutung.

Untersuchungen aus einer Stuttgarter Kläranlage zeigten deutlich erhöhte Gehalte an Palladium im Klärschlamm besonders nach 1981, das heißt bereits 5 Jahre vor Einführung des KATs. Demgemäß müssen für diesen Anstieg andere Quellen, vermutlich der steigende Verbrauch von Palladium in Dentallegierungen, verantwortlich sein.

	Kehrgut	Einlaufkörbe	Bankettschälgut	Ablauf-rinnen	Seiten-graben	Wasser-graben
Literaturstelle:	Mittelstreifenbereich Bundesautobahn		Unmittelbarer Fahrbahnrand		Abstand zur Fahrbahn > 1,5 m	Abstand zur Fahrbahn bis 350 m
CLAUS ET AL. (1999)	9 – 53	9 - 51	4 – 9	3 - 4	1 - 3	1 – 5
Dirksen ET AL. (1999)			3 – 11 1 – 40			
RANKENBURG & ZEREINI (1999)			< NWG – 0,013			
ECKHARDT & SCHÄFER (1999)			6			

Tab 1: Konzentration von Pd in einzelnen Proben Gruppen in µg/kg im unmittelbaren Straßenbereich (Aus: LAI 2002)

Gewächshausexperimente zur Pflanzenverfügbarkeit von Platinmetallen zeigten hohe Transferraten in Pflanzen. Es wurden Pflanzenschädigungen beobachtet, die auf eine Behinderung der Wasseraufnahme hinweisen.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass die Analytik von Palladium (wie auch von Rhodium) äußerst komplex ist und dass deswegen viele Daten, die bislang publiziert wurden, mit entsprechender Vorsicht zu behandeln sind. Dies führte unter anderem dazu, dass bis heute noch keine analytische Methode für Palladium in der DFG-Stoffsammlung für gesundheits-schädliche Arbeitsstoffe vorliegt.

Gesundheitliche Relevanz

Über direkte toxische Effekte von Platin im Bereich der hier diskutierten Konzentrationen liegen kaum Daten vor, die aus Tierexperimenten gefundenen relevanten Dosen liegen im Milligrammbereich, also mehrere Größenordnungen über den real in der Umwelt ermittelten Belastungen. Da die Platinemissionen der KATs aber in sehr kleinen Partikelgrößen auftreten, kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie – wie alle Feinstpartikel über inhalative Zufuhr in der Lunge resorbiert werden. Ob und wenn ja mit welchen biologischen Effekten dadurch in den Körperzellen gerechnet werden muss, ist derzeit nicht geklärt.

Im Vordergrund möglicher Wirkungen von erhöhten Platiningehalten auf den Menschen steht aber bislang die – aus Arbeitsplatzuntersuchungen bekannt gewordene - stark sensibilisierende Wirkung von Platinsalzen. Bei den Platin-KAT-Emissionen handelt es sich aber im Wesentlichen um metallisches Platin, Umwandlungen von metallischem Platin in Platinsalze in der Luft sind nicht anzunehmen. Für den Boden liegen keine Erkenntnisse vor.

Über die toxikologische Bedeutung von Palladium ist wenig bekannt. Wirkungsschwellen lassen sich aufgrund fehlenden Datenmaterials nicht formulieren. Bei den für den Menschen errechneten oralen Aufnahmemengen wird aber der Nahrungspfad sicher von den Dentallegierungen überlagert. Im Tierversuch zeigten sich nur sehr geringe Resorptionsraten.

Aussagekräftige Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung fehlen, eine Risikoabschätzung zur kanzerogenen Potenz ist nicht möglich. Mutagenitätstests erbrachten bislang negative Ergebnisse. Die Analyse der Palladiumkonzentration im Urin von Kindern aus Nordrhein-Westfalen ergab im Gegensatz zum Platin keinen erkennbaren Einfluss der Verkehrsexposition.

Fest steht, dass Palladium im Vergleich zu Platin eine höhere Mobilität und Wasserlöslichkeit im Boden aufweist und weniger korrosionsbeständig ist, was eine etwas höhere Bioverfügbarkeit mit sich bringen dürfte. Der Boden-Pflanze-Transfer wird als mäßig eingestuft. Insgesamt muss angenommen werden, dass der Ersatz von Platin durch Palladium aus gesundheitlicher Sicht eher eine Verschlechterung als eine Verbesserung bedeuten könnte.

Insgesamt gesehen kann derzeit aus den bisher gewonnenen Daten kein relevantes Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt abgeleitet werden. Angesichts der lückenhaften Erkenntnisse zur öko- und humantoxikologischen Relevanz von katalysatorbürtigen Palladiumemissionen empfiehlt der Länderausschuss für Immissionsschutz aber eine Überwachung der Immissionen. Die Notwendigkeit einer Begrenzung von Palladiumemissionen kann der Ausschuss bislang nicht ableiten.

Über Rhodium liegen nur wenige belastbare toxikologische Daten vor.

3.2. Unter Verdacht – Keramikfaseremissionen aus dem KAT

Sogenannte Katalysator-Lagermatten mit einem Keramikfaseranteil von 30 bis 40 Prozent schützen den Katalysator vor Stößen und dichten Abgas-Nebenströme ab. Die mit dem Einsatz von Katalysator-Lagermatten verbundenen möglichen Gesundheitsrisiken betreffen in erster Linie Menschen an Arbeitsplätzen.

Keramikfasern sind künstliche Mineralfasern auf der Basis von Aluminiumsilicaten mit unterschiedlichen Aluminiumoxidgehalten. Im Vergleich zu anderen glasartigen Fasern ist ihre Löslichkeit nach Aufnahme im menschlichen Körper deutlich geringer. Gleichzeitig haben – insbesondere gealterte – Keramikfasern, relativ hohe Anteile an dünnen Fasern mit einem Durchmesser $D < 1 \mu\text{m}$. In Kombination mit einer relativ großen Faserlänge ergibt sich deshalb für diese Faserart eine hohe kanzerogene Potenz, die sogar jene von Asbestfasern übertreffen kann.

(Ergänzende Anmerkung: Bezüglich der Fasergestalt entspricht eine Länge $> 5 \mu\text{m}$, ein Durchmesser $< 3 \mu\text{m}$ und ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser > 3 der Definition von Faserstäuben gemäß TRGS 521 (→ [Link](#)). Diese Fasern werden auch "WHO-Fasern" genannt, da nur sie für die kanzerogene Einstufung von bestimmten KMF entscheidend sind.)

Keramikfasern sind nach europäischem Recht als Krebs erzeugend (Kategorie 2) eingestuft und dürfen daher nicht in größeren Mengen in den Verkehr gebracht werden. Dass sie dennoch immer noch für eine Vielzahl von Erzeugnissen, darunter auch für Katalysatoren, legal verwendet werden, liegt daran, dass das geltende Recht keramikfaserhaltige Erzeugnisse nicht erfasst.

Untersuchungen aus dem Jahr 1999 haben ergeben, dass bei bis zu jedem 10. Katalysator die Keramikfasern aus den Lagermatten entweichen, was rein rechnerisch einen Austrag von bis zu 19 Tonnen Fasern in die Umwelt ausmachen könnte. Informationen aus den Prüfstellen zur Abgasuntersuchung und von den Fahrzeugherstellern weisen darauf hin, dass davon in erster Linie ungeregelte Nachrüstkatalysatoren und Katalysatoren der ersten Generation betroffen sind. Die Fasern werden flächendeckend verteilt und es ist davon auszugehen, dass sie eine gewisse Zeit in der Außenluft verweilen und dort auch eingeatmet werden können.

Seit Juni 2000 besteht für biopersistente Mineralwollen, das heißt bestimmte künstliche Mineralfasern mit krebserzeugenden Eigenschaften, in Deutschland ein Vermarktungsverbot. Für keramikfaserhaltige Erzeugnisse, die nicht unter die Definition dieser Mineralwollen fallen, gibt es dagegen weder Beschränkungen noch die Notwendigkeit von Gefahrenkennzeichnungen, obwohl Faserstäube dieser künstlichen Mineralfasern toxikologisch als besonders kritisch zu bewerten sind.

Über eine Ausweitung der Verbotsverordnung für künstliche Mineralfasern auf Keramikfasern, wie sie die zuständigen Fachgremien seit geraumer Zeit fordern, soll in Kürze entschieden werden. Für ihren Einsatz in Katalysatoren diskutieren Fachleute eine Übergangsfrist von fünf Jahren, nach der Ersatz gefunden sein muss. Tatsächlich sind bereits Alternativen in Sicht. Dazu zählen etwa Hochtemperatur-Glasfasern, die bereits zur Verfügung stehen und wesentlich günstigere fasertoxikologische Eigenschaften besitzen. Darüber hinaus sind auch für die in weiten Bereichen verwendeten Metallkatalysatoren keine Lagermatten notwendig.

3.3 Treibhausgas N₂O

N₂O, besser bekannt unter dem Namen Lachgas, gehört zu den so genannten Treibhausgasen, die an der Erwärmung der Erdatmosphäre beteiligt sind. Im Kyoto-Protokoll wurde daher 1997 beschlossen, die Emission von N₂O zu begrenzen. Im Bereich Landwirtschaft und chemische Industrie sind hier zwar Fortschritte zu verzeichnen, im Verkehr dagegen, dessen N₂O-Emissionen etwa ein Prozent des Treibhauseffekts ausmachen - stiegen bislang die Emissionen an. Die Ursache dafür liegt unter anderem im wachsenden Anteil an Kraftfahrzeugen, die mit Katalysatoren ausgestattet sind. KAT-Fahrzeuge emittieren mehr N₂O als konventionelle Fahrzeuge. Mit der Einhaltung zunehmend strengerer Abgasgrenzwerte bei Otto-Pkw werden nicht nur die limitierten Abgaskomponenten drastisch reduziert, sondern es gehen auch die N₂O-Emissionen zurück. Diesel-Pkw emittieren noch geringe Mengen an N₂O. Eine ähnliche Entwicklung wie bei Otto-Pkw ist jedoch nicht absehbar. Aus gesundheitlicher Sicht besteht hinsichtlich der direkten Wirkungen dieses Gases kein Handlungsbedarf.

3.4 Feinstpartikel-Immissionen durch OXI-KATs

OXI-KATs in dieselbetriebenen Pkws erreichen eine Verringerung des Partikelgewichts, indem die an den Partikeln gebundenen Kohlenwasserstoffe oxidiert werden. Eine Minderung der Partikelzahl wird dadurch jedoch nicht erreicht. Diese Partikel können – wie auch andere ultrafeine Partikel - in die Atemwege und möglicherweise auch in die Blutbahn vordringen. Ultrafeine Partikel weisen damit eine – im Vergleich zu feinen Partikeln – stärkere Toxizität auf. Aus Platzgründen kann an dieser Stelle nicht vertieft auf die Problematik von Fein- und Feinstpartikeln eingegangen werden (vgl. dazu FLUGS-Informationspapier Fein- und Feinststäube).

4. Zusammenfassung

Die Einführung der Katalysator-Technik für Kraftfahrzeuge hat unter den Aspekten des Umwelt- und Gesundheitsschutzes große Vorteile erbracht. Nach einer Abwägung dieser Vorteile gegenüber den Nachteilen durch neue, katalysatorbürtige Emissionen gehen die Wissenschaft und die zuständigen Fachbehörden nach bisherigem Stand der Erkenntnisse davon aus, dass die Vorteile klar überwiegen.

Für einige Bereiche stehen allerdings noch Erkenntnisse aus, so zum Beispiel Daten über Eintragspfade und spezifische Wirkungen von Palladium- und Rhodium-Emissionen auf den Menschen.

Auch wenn derzeit kein akutes Gefährdungspotential durch die Elemente der Platingruppe erkennbar ist, sollte die Überwachung und das humane Biomonitoring unbedingt fortgesetzt und vor allem auf das Element Palladium ausgedehnt werden.

Auch zur Wirkung palladiumhaltiger Feinstäube besteht Forschungsbedarf. Hinsichtlich der N₂O-Emissionen ist die Entwicklung der Emissionen zukünftiger Diesel-Konzepte zu überprüfen. Auch weitere Forschungsansätze zur Weiterentwicklung der Katalysatoren-, Filter- und Motorentechnologie werden als notwendig und sinnvoll erachtet, um die Partikel- und Stickoxidemissionen der Dieselfahrzeuge deutlich zu reduzieren und dabei die diskutierten, sowie weitere neue Sekundäremissionen sicher auszuschließen.

Literatur

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2003): Information über Abgase des Kraftfahrzeugverkehrs

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2002): Umweltbericht 2002

Schramel, P. (2004, in Vorb.): Stand und Perspektiven der Forschung zu Edelmetallemissionen aus Kfz-Katalysatoren. – GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit – GSF-Bericht (Preprint)

Länderausschuss für Immissionsschutz (2002): Schutz vor verkehrsbedingten Immissionen – Beurteilung nicht reglementierter Abgaskomponenten – Palladium. - Ergänzung zum Zwischenbericht des Unterausschusses „Wirkungsfragen“

Umweltbundesamt (2000): N₂O-Emissionen aus Pkw-Katalysatoren

Umweltbundesamt (2002): Maßnahmenbericht Keramikfasern in Bauprodukten und Konsumgütern – Verwendung und Substitutionsmöglichkeiten

Wichmann, H.-E. et al. (2002): Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub. – ecomed Landsberg

Wichmann, H.-E. et al. (1992-2004): Handbuch der Umweltmedizin. Kapitel Palladium; Loseblattsammlung. - ecomed Landsberg

Internet:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2002): Umweltbericht 2002
http://www.bmu.bund.de/files/umweltbericht_2002.pdf

GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (1998): Ein Edelmetall im Straßenstaub. – Hintergrundinformation der Information Umwelt
<http://www.gsf.de/flugs/platin.phtml>

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie : Grenzwerte nach EU-Richtlinien
<http://www.hlug.de/medien/luft/allgemein/eg-richtlinien.htm>

Umweltbundesamt: Umwelt und Verkehr – Edelmetalle und ihre Verwendung
<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/emissionen/schadstoffe/nemmispkw/emiplatin.htm>

Umweltbundesamt: Umwelt und Verkehr - N₂O-Emissionen aus Pkw-Katalysatoren
<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/emissionen/schadstoffe/nemmispkw/emin2o.htm>

Umweltbundesamt: Umwelt und Verkehr – on Board-Diagnose/on Board-Messung
<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/emissionen/schadstoffe/obd/obd.htm>

Stand: März 2004

Autorin: Ulrike Koller

Wiss. Beratung: Reinhard Kolke, Umweltbundesamt, Dr. Folke Dettling, Umweltbundesamt; Prof. Dr. Peter Schramel, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Ökologische Chemie, Neuherberg.