



Art und Menge von Verkehrsemissionen

Das Thema

Wie sauber sind Automobilabgase? Hat die Einführung des Drei-Wege-Katalysators zu einer nachhaltigen Verbesserung der Stadtluftqualität geführt oder hat er uns angesichts der Zunahme des Autoverkehrs nur eine „Atempause“ verschafft? Müssen wir uns über das, was den Auspuff verlässt, überhaupt noch Gedanken machen?

Diesen Fragen ging über zwei Jahre lang eine Studie der Akademie für Technikfolgenabschätzung nach, deren Ergebnisse als Arbeitsbericht Nr. 146 „Art und Menge von stofflichen Emissionen aus dem Verkehrsbereich“ jetzt vorliegen. Demnach ist beim Thema Kfz-Abgase nicht alles so rosig, wie es auf den ersten Blick scheint. Positiv schlägt zu Buche, dass der Katalysator bei Autos mit Benzinmotor den Schadstoff-Ausstoß in der Vergangenheit deutlich senken konnte. Zudem lassen die Weiterentwicklung dieser Technik sowie strengere Abgasnormen der Europäischen Union in den nächsten Jahren eine weitere Reduzierung problematischer Abgaskomponenten erwarten.

Negativ hingegen: Es „liegt“ immer noch einiges in der Luft. Kaltstart-Phasen und Alterung bereiten dem Katalysator Probleme; sowohl die Anzahl der Fahrzeuge als auch die gefahrenen Kilometer nehmen zu; das klimawirksame Kohlendioxid wird durch den Kat nicht reduziert und bei Dieselfahrzeugen schließlich gibt es ist immer noch keine effektive Abgasreinigung. Im Bereich der Partikel- und Stickstoffoxid-Emissionen spielen vor allem Lastkraftwagen eine wichtige Rolle. Umweltpolitischer Handlungsbedarf ist also weiterhin gegeben, sowohl aus Sicht des Gesundheitsschutzes als auch unter Klimaschutzaspekten.

Das Projekt

Der Verkehr hat sich zu einem der zentralen Handlungsfelder in Sachen Umwelt entwickelt. Bei der Anzahl der Straßenkraftfahrzeuge, den gefahrenen Strecken und den transportierten Gütern setzt sich ein seit Jahrzehnten zu beobachtender Anstieg unvermindert fort. Noch ausgeprägter sind die Steigerungsraten beim Flugverkehr. Dies gilt für Baden-Württemberg, Deutschland und Europa insgesamt.

Das stetig steigende Verkehrsaufkommen bleibt nicht ohne Folgen. Probleme wie Lärm, Flächenverbrauch, Emission von schädlichen oder klimawirksamen Gasen sind trotz der Einführung technischer Gegenmaßnahmen, wie z. B. der katalytischen Abgasreinigung, nicht grundsätzlich gelöst worden.

Im Projekt „Art und Menge von stofflichen Emissionen aus dem Verkehrsbereich“ wurde der Straßenverkehr unter „ökologischen“, genauer gesagt unter umweltchemischen Gesichtspunkten untersucht. Insbesondere die Vielzahl der chemischen Substanzen, die direkt oder indirekt von Kraftfahrzeugen emittiert werden, sollten genauer unter die Lupe genommen werden:

- Wie sieht das chemische Gemisch, das den Auspuff verlässt, eigentlich aus?
- Welche Stoffe hat man bisher zu wenig beachtet?
- Hat der Katalysator die „Lage im Griff“?

Diese Fragen sind von grundlegender umweltpolitischer Relevanz, denn der Verkehr ist mit seinen stofflichen Emissionen eine Hauptursache für nachfolgend genannte Problembereiche:

- Gesundheitsschädigungen durch Benzol und Dieselrußpartikel (Benzol und Rußpartikel in der Innenstadtluft sind verantwortlich für Krebserkrankungen. In Deutschland sterben pro Jahr ebenso viele Menschen an Lungenkrebs durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe wie durch Straßenverkehrsunfälle)
- Hohe Ozon-Konzentrationswerte bei starker Sonneneinstrahlung („Sommersmog“ durch Bildung von bodennahem Ozon und anderen Photooxidantien durch Stickstoffoxide und organische Verbindungen)
- Beitrag zur Klimaerwärmung (Im Gegensatz zu Industrie und Haushalten, bei denen eine Trendumkehr hin zu geringeren Kohlendioxid-Emissionen zu verzeichnen ist, steigen diese beim Verkehr weiter an. Außerdem enthalten Autoabgase weitere Stoffe mit Treibhauspotenzial, z.B. Lachgas (N_2O))
- Schwermetall-Emissionen, Reifenabrieb, Tausalze und Abfall

Vor diesem Hintergrund wurden im Projekt-Arbeitsbericht die Emissionen von Straßenkraftfahrzeugen in größtmöglicher stofflicher Differenzierung aufgelistet. Es ging dabei eher um die Darstellung der Qualität der Emissionen, um die mögliche Identifizierung bisher wenig beachteter Stoffe und Wirkungen, als um genaue quantitative Angaben. Die Ergebnisse sollen eine differenzierte Beurteilung der aktuellen stofflichen Emissionen aus dem Verkehr erlauben. Nur das Wissen um diese stoffliche Komplexität erlaubt im nächsten Schritt eine sachgerechte Bündelung in Bewertungsfragen.

Die Ergebnisse

Fokus der Literaturstudie waren die Emissionen organischer Stoffe aus Automobillabgasen. Etwa 200 Literaturstellen wurden hierfür systematisch ausgewertet. Im Ergebnis können mehr als 800 unterschiedliche Einzelverbindungen genannt werden. Zum Vergleich: lediglich vier Stoffe bzw. Stoffgruppen dieser langen Liste werden in der Abgasgesetzgebung erfasst.

Neben der möglichst umfassenden qualitativen Darstellung wurden, soweit vorhanden, quantitative Messergebnisse ausgewertet und verglichen. Da je nach Fahr situation und Fahrzeugtyp jedoch Schwankungen von mehreren Größenordnungen möglich sind, wurden nur Mittelwerte aus möglichst vielen Messungen angegeben. Die Fahrzeugtypen wurden grob in Benzin-Pkw mit und ohne Katalysator, Diesel-Pkw und Diesel-Lkw eingeteilt.

Bei allen qualitativen und quantitativen Angaben über Emissionen des Verkehrs ist stets zu beachten, dass nur das beschrieben wird, was man kennt. Dieser Kenntnisstand hängt sehr oft von den analytisch-chemischen Möglichkeiten ab. Eine große Anzahl bisher unbekannter Verbindungen lässt sich beispielsweise nicht extrahieren oder analytisch identifizieren. Insofern spiegeln alle in dem Bericht genannten Stoffe nur das wider, was gemessen wurde. Umgekehrt gilt auch häufig, dass nur das gemessen wird, was man schon kennt. Der Analytiker sucht gemäß der Problemstellung oft sehr gezielt nach Einzelstoffen. Alle anderen Verbindungen im Gemisch bleiben unberücksichtigt. Bei keiner Analyse wird jedes Mal die gesamte Stoffpalette erforscht.

Insgesamt ist in den Abgasen von Verbrennungsmotoren eine breite Palette von organischen und anorganischen Verbindungen nachweisbar. Die folgende Tabelle zeigt die identifizierten Verbindungsklassen sowie die wichtigsten Ergebnisse.

Stoffklasse	Kommentar
Nicht-aromatische und monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	- von der Gesamtmenge her sehr bedeutend (Ozonvorläufer) - überwiegend von Ottomotor-Fahrzeugen - werden vom Katalysator um 85 % reduziert
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	- überwiegend von Dieselfahrzeugen - kanzerogenes Potenzial - große Stoffvielfalt, v. a. auch bei Alkyl-Substitution
Alkohole und Phenole	- bedeutend bei Dieselfahrzeugen (v. a. bei Lkw) - Katalysator bei Ottomotor-Fahrzeugen hat kaum Reduktionseffekt
Azyklische Aldehyde und Ketone	- sehr bedeutend bei Dieselfahrzeugen: Hauptbestandteil des Abgases bei Diesel-Pkw und Diesel-Lkw!
Aromatische Aldehyde und Ketone	- bedeutend bei Dieselfahrzeugen
Carbonsäuren	- werden durch Katalysator bei Ottomotor-Fahrzeugen um den Faktor 13 erhöht
Nitroverbindungen	- große Stoffvielfalt durch Nitro-Substitution an PAK - bedeutend bei Dieselfahrzeugen - kanzerogenes Potenzial
Schwefelhaltige Verbindungen	- bedeutend bei Dieselfahrzeugen
Halogenhaltige Verbindungen	- v. a. bei Dieselfahrzeugen (Diesel-Pkw emittiert 34 mal mehr toxische Äquivalente als Pkw mit G-Kat) - sehr bedeutend bei Diesel-Lkw (750 mal mehr toxische Äquivalente als Pkw mit G-Kat)!
Gasförmige anorganische Verbindungen	- Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide und Schwefeldioxid stellen Hauptemissionen dar (g/km-Bereich) (Wirkung u. a.: saurer Regen; Düngung aus der Luft) - bisher keine Reduktion von Kohlendioxid erreicht - Produktion von Lachgas (N ₂ O) und Ammoniak (NH ₃) durch Katalysator - Stickstoffoxide und Schwefeldioxid bei Dieselfahrzeugen bedeutend
Metalle	Edelmetall-Emissionen durch Katalysator bedeutend

Organische Emissionen

Bei der Gesamtmenge emittierter organischer Stoffe und von Partikel-Emissionen abgesehen, sind Diesel-Pkw und Pkw mit Katalysator die „saubersten“ Fahrzeuge mit Emissionen von etwa 230 mg/km im warmen Betriebszustand. Pkw ohne G-Kat und Diesel-Lkw emittieren 7 bzw. 4,5 mal mehr organische Verbindungen.

Benzin betriebene Pkw emittieren überwiegend nicht oxidierte Kohlenwasserstoffe wie azyklische, gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkane, Alkene) und monozyklische Aromaten. Mit deutlich über 80% stellen diese drei Verbindungsklassen den Hauptanteil im Ottomotor-Abgas. Ein geregelter Drei-Wege-Katalysator kann diese Stoffe zu 80 bis 90% reduzieren.

Im Allgemeinen reduziert der Katalysator die meisten Verbindungsklassen deutlich. Ausnahmen sind zum einen die Alkohole, deren Menge nur unwesentlich reduziert wird, zum anderen die Carbonsäuren, die durch den oxidativen Katalyseprozess offensichtlich erst produziert werden (siehe Abbildung). Der Anteil an Carbonsäuren im Abgas steigt von 0,003% beim Pkw ohne Kat auf 0,3% beim Kat-Fahrzeug.

Abbildung siehe im Anhang S. 9

Abbildung: Relative Mengen an organischen Verbindungsklassen, die von Straßenkraftfahrzeugen emittiert werden (normiert auf die Emissionsfaktoren von Pkw ohne G-Kat)

Bei den Diesel-Fahrzeugen - Pkw wie Lkw - überwiegen die oxidierten Verbindungen, allen voran die azyklischen Aldehyde. Bei Diesel-Pkw machen sie insgesamt 54%, bei den Diesel-Lkw 42% der organischen Abgase aus. Absolut gesehen, emittieren Diesel-Pkw etwa gleich viel azyklische Aldehyde wie Otto-Pkw ohne G-Kat, Diesel-Lkw etwa dreimal soviel. Weitere wichtige Verbindungsklassen beim Dieselauto sind azyklische, ungesättigte Kohlenwasserstoffe und aromatische Hydroxy-Verbindungen. Bei den Lkw haben die reinen Kohlenwasserstoffe und die aliphatischen und aromatischen Hydroxy-Verbindungen hohe Anteile.

Anorganische Emissionen

In folgender Tabelle sind die wichtigsten anorganischen Emissionen von Straßenkraftfahrzeugen zusammengestellt.

Verbindung	Emissionsfaktoren in mg/km				Reduktion durch G-Kat	
	Pkw mit G-Kat	Pkw ohne G-Kat	Diesel-Pkw	Diesel-Lkw	um ...%	auf ...%
Kohlendioxid (CO ₂)	107.500	100.000	100.000	436.500	-	108 (!)
Kohlenmonoxid (CO)	3.880	12.000	764	5.340	68	32
Stickstoffoxide (NO _x)	569	3.430	3.760	21.400	83	17
Schwefeldioxid (SO ₂)	29	50	500	500	42	58
Distickstoffoxid (N ₂ O)	57,6	7,5	25,8	27,3	-	769 (!)
Ammoniak (NH ₃)	50,4	1,0	1,0	25,0	-	5.037 (!)
Summe (ohne Kohlendioxid)	4.582	15.488	5.051	24.692	70	30

Tabelle: Emissionen anorganischer Verbindungen von Straßenkraftfahrzeugen (Emissionsfaktoren in mg/km)

Der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) ist direkt proportional zum Kraftstoffverbrauch; er kann auch durch den Einsatz eines Abgaskatalysators nicht vermindert werden. Kohlenmonoxid (CO) wird von Ottomotoren in höherem Maße produziert als von Dieselmotoren und lässt sich durch den Einsatz eines Katalysators nur um etwa 68% reduzieren. Effektiver lassen sich die Stickoxide durch katalytische Abgasreinigung reduzieren (um 83%). Sie entstehen in hohem Maße bei Dieselmotoren, für die es noch keine im Alltag anwendbare NO_x-Reduktionstechnik gibt. Entsprechend hoch sind die Emissionen, die bei Lkw im Durchschnitt bei 21 g/km liegen.

Auffällig sind die erhöhten Emissionen von Distickstoffmonoxid (N_2O , Lachgas) und Ammoniak (NH_3) bei Fahrzeugen mit Katalysator. Offensichtlich läuft die schrittweise Reduktion von NO_2 über NO und N_2O zum erwünschten Stickstoff (N_2) nicht immer vollständig ab. Gründe hierfür können alternde, belegte oder zu kalte Katalysatoren sein. Nicht ideale Reaktionsbedingungen können auch zu einer weiteren Reduktion führen, sodass schließlich im Übermaß Ammoniak (NH_3) entsteht. Im Durchschnitt ergibt sich durch den Drei-Wege-Katalysator eine Erhöhung der Distickstoffoxid(Lachgas)-Emissionen um das 7,7-fache und eine Erhöhung der Ammoniak-Emissionen um das 50-fache - jeweils im Vergleich zu einer Verbrennung ohne Kat.

In der Summe reduziert ein geregelter Katalysator die anorganischen Hauptemissionen nur um etwa 70% (ohne Berücksichtigung von Kohlendioxid). Damit sind die anorganischen Emissionen von Autos mit Katalysator vergleichbar mit denen von Diesel-Pkw. Autos ohne Kat liegen um den Faktor 3, Diesel-Lkw um den Faktor 5 darüber.

Das Fazit

Durch erheblichen technischen, materiellen und auch finanziellen Aufwand konnten in letzter Zeit zwar deutliche Verringerungen der Emissionen einzelner Fahrzeuge erreicht werden, diese Reduktionen wurden jedoch durch die Zunahme der Verkehrsleistungen teilweise wieder kompensiert. Bei den vom Verkehr verursachten Hauptemissionen ist eine entsprechende Zunahme beim Kohlendioxid festzustellen. Bei den Staubemissionen gibt es eine Verlagerung hin zu feineren Partikeln. Die anderen Emissionen organischer Verbindungen konnten mit Hilfe der Katalysator-technik gesenkt werden; die der Stickstoffoxide allerdings nur sehr langsam. Einzelne Stoffe wie Carbonsäuren, Distickstoffoxid oder Ammoniak werden durch den Katalysator gar erst erzeugt.

Obwohl mit weiteren Emissionsminderungen gerechnet wird, bleibt der Straßenverkehr vorerst Hauptverursacher für die Emissionen an Staub, Kohlenmonoxid, Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen. Zum Ausstoß des klimawirksamen Kohlendioxids trägt der Straßenverkehr zu 30% bei, Tendenz stark steigend. Insofern hat uns der Katalysator tatsächlich nur eine „Atempause“ verschafft; eine nachhaltige Emissionsminderung bedarf jedoch weiterer, überwiegend umweltpolitischer Anstrengungen.

Auf technologischer Seite können nur grundlegende Änderungen wie radikale Gewichtsreduktion oder alternative Antriebssysteme ohne Verbrennungsmotor zu spürbaren Emissionssenkungen beitragen. Kurzfristig ist insbesondere bei Dieselfahrzeugen dringender Handlungsbedarf gegeben (Entwicklung von Katalysatoren und Partikelfiltern).

Die ausführlichen Ergebnisse wurden veröffentlicht in:

Thomas Wiedmann, Jörg Kersten, Karlheinz Ballschmiter: „Art und Menge von stofflichen Emissionen aus dem Verkehrsbereich. Literaturstudie“. Arbeitsbericht Nr. 146 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart, Mai 2000. ISBN 3-932013-84-0.

Die Publikation kann gegen einen Unkostenbeitrag von 15,00 DM bestellt werden bei:

***Akademie für Technikfolgenabschätzung
in Baden-Württemberg***
**Industriestraße 5
70565 Stuttgart**

**Tel. 0711/9063-0
Fax 0711/9063-299
<http://www.ta-akademie.de>
E-Mail: info@ta-akademie.de**

Ansprechpartnerin

Pressestelle: Dr. Birgit Spaeth
Tel. 0711/9063-226
E-Mail: birgit.spaeth@ta-akademie.de

Impressum

Verfasser des Kurzinfos: Dr. Thomas Wiedmann
Redaktion: Dr. Birgit Spaeth
Layout: Antje Schröder
Druck: Rudolf-Sophien-Stift

3D-Grafik

