

Datum: 11.05.2006

Az.: 70.51 be-gro

Beratungsvorlage – öffentlich -

	Beratungsfolge	Datum
1.	Haupt- und Finanzausschuss als Betriebsausschuss	21.06.2006
2.		
3.		
4.		

Betreff:

Ausstattung der EBB-Abfallsammelfahrzeuge mit Rußpartikelfilter

Bestandteile dieser Vorlage sind:

1. Das Deckblatt
2. Die Sachdarstellung und der Beschlussvorschlag
3. 1 Anlage

Der Betriebsleiter Dr.-Ing. Peters Techn. Beigeordneter	
-------------------------------------------------------------------	--

Stellv. Betriebsleiter Polplatz	Sachbearbeiter Beck	
----------------------------------------	----------------------------	--

Sachdarstellung:**Ausstattung der EBB-Abfallsammelfahrzeuge mit Rußpartikelfilter / Schadstoffklasse Euro 4**

Schon in der Ausschreibungsphase hat sich die Betriebsleitung des EBB dafür stark gemacht, möglichst umweltfreundliche Lkw bei der Müllentsorgung der Stadt Bergkamen zum Einsatz zu bringen.

Nach Submission und Vergabe durch den Betriebsausschuss kann festgehalten werden, dass mit den derzeit in Fertigung befindlichen MAN-Fahrzeugen diesem Umweltqualitätsanspruch voll Rechnung getragen werden kann.

Die diesbezüglichen Rahmenbedingungen werden im folgenden ausführlich dargestellt:

1. Entwicklung der Schadstoffemissionen und Grenzwerte

Pkw und Lkw belasten die Umwelt durch Klimagase und Luftschadstoffe. Im Zuge der stufenweisen Verschärfung der Abgasvorschriften für Kraftfahrzeuge (siehe Tab. 1 und Abb. 2) erfolgten technische Verbesserungen bei neu zugelassenen Kraftfahrzeugen, Alt-Kraftfahrzeuge wurden mit Katalysatoren ausgerüstet und die Kraftstoffqualitäten verbessert. Durch diese Maßnahmen konnten seit 1990 die spezifischen Emissionen z. B. im Straßengüterverkehr pro Verkehrsleistung (Emissionen pro Tonnenkilometer) in allen Bereichen gesenkt werden.

Erheblichen Senkungen bei SO₂ (Schwefeldioxid) auf unter 1 % steht eine wesentlich geringer ausfallende Senkung bei CO₂ (Kohlendioxid) auf 81 % gegenüber (siehe Abb. 1). Bei Berücksichtigung einer im selben Zeitraum um 48 % angestiegenen Verkehrsleistung werden die technisch bedingten Senkungen teilweise (Feinstaub und „flüchtige organische Komponenten“ VOC) oder fast vollständig (Stickoxide; NO_x) kompensiert. Die Gesamtemissionen des Straßengüterverkehrs lagen 2003 trotz technischer Verbesserungen bei 119 % gegenüber 1991 [UBA, Umweltdaten Deutschland Online].

2. Maßnahmen zur weiteren Verminderung entstehender Emissionen

Für alle Straßenfahrzeuge wird eine weitere Verminderung der entstehenden Emissionen angestrebt:

- Weitere Durchsetzung des geregelten Drei-Wege-Katalysators im Bestand der Otto-Pkw
- Durchsetzung der Partikelfiltertechnik bei allen Fahrzeugen mit Dieselmotor
- Kontinuierliche Verschärfung der zulässigen Abgas-Grenzwerte
- Kontinuierliche Senkung des Verbrauchs von Neufahrzeugen durch motor- und fahrzeugtechnische Maßnahmen
- Weiterentwicklung umweltschonender alternativer Antriebstechnologien
- Schulung der Kraftfahrer zu kraftstoff- und emissionsarmer Fahrweise
- Maßnahmen zur Erhöhung des Besetzungs- bzw. Beladungsgrades (Frachtbörsen, Mitfahrerbörsen etc.)

[UBA, Umweltdaten Deutschland Online]

Neben der weiteren Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen sind insbesondere die Schadstoffe NO_x und Feinstaub (PM) in den Focus gerückt. Die Entwicklung der Abgasgrenzwerte für diese Schadstoffe kann Abb. 2 entnommen werden.

Neuere Auswertungen belegen, dass die durch Feinstaub verursachten Gesundheitseffekte schwerwiegender sind, als jene, die durch andere Schadstoffe (inklusive Ozon) verursacht werden [Schrefel, Hajszan, Erfahrungen mit PM10-Reduktionsmaßnahmen in Europa, 2005]. Auf Grund der geringen Größe der Feinstaubpartikel können diese über den Kehlkopf hinaus in die Lunge eindringen. Auf diese Weise werden schwere Gesundheitsschäden (Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Lungenkrebs) und ein Ansteigen der Sterblichkeitsrate hervorgerufen [Lahl, Steven, Pneumologie 2005].

Hohe Feinstaubbelastungen in der Luft treten vermehrt und flächendeckend in den Wintermonaten auf. In anderen Jahreszeiten treten hohe Feinstaubwerte lediglich vereinzelt auf. Überschreitungen der Tagesgrenzwerte treten i. d. R. an sogenannten Hotspots auf (siehe Abb. 3). Dies sind hauptsächlich Hauptverkehrsadern in Ballungszentren, an denen sich die Staubbelastungen aus Verkehr, überregionaler Hintergrundbelastung und Heizungen etc. überlagern [Schrefel, Hajszan, Erfahrungen mit PM10-Reduktionsmaßnahmen in Europa, 2005].

Die geltenden EU-Grenzwerte für Feinstaub wurden im Jahr 2005 in rund 30 deutschen Städten überschritten. In Deutschland wird als wichtigstes Handlungsfeld zur Reduktion der Feinstaub-Emissionen der Verkehrssektor angesehen. Zur Vermeidung der Überschreitungen sehen die Maßnahmenkataloge Verkehrsbeschränkungen vor. Es werden aber auch Maßnahmen wie eine flüssigere Verkehrsführung, Verkehrsleitsysteme, staubarme Straßenbelege, Feuchtreinigung von stark befahrenen Straßen etc. diskutiert. Die Umrüstung von kommunalen Fahrzeugflotten auf Partikelfilter oder Erdgas zählt hier zu den primären Handlungsmöglichkeiten.

Um einen Anreiz zum Einsatz von Partikelfiltern zu schaffen, hat der Bundesrat die Bundesregierung aufgefordert, eine Kennzeichnungsverordnung vorzulegen, damit Fahrzeuge mit geringem Schadstoffausstoß von Verkehrsbeschränkungen ausgenommen werden können. Ein Entwurf einer „Verordnung zur Kennzeichnung emissionsarmer Fahrzeuge“ wurde im Februar 2006 vorgelegt.

3. Technische Maßnahmen der Fahrzeughersteller

Von dem Inkrafttreten der Euronorm 4 im Oktober 2005 sind insbesondere die Schadstoffe NO_x und Feinstaub betroffen. Gefordert wird die Verringerung des Stickoxidanteils um ca. 30 % und des Feinstaubes um ca. 80 % gegenüber Euronorm 3. Die Herausforderung der Reduzierung dieser Schadstoffe liegt in dem technischen Zielkonflikt. Innermotorische Veränderungen zur Stickoxid-Reduktion steigern die Feinstaubentstehung und umgekehrt. Es werden neben den innermotorischen Anpassungen (NO_x-Reduktion) auch zusätzliche Aggregate zur Feinstaubminimierung erforderlich.

3.1. Rußpartikelfilter

Es lassen sich grundsätzlich zwei Funktionsweisen zur Reduzierung der Rußpartikel unterscheiden. Bei Durchflussfiltern durchfließt das Abgas offene Kanäle, bei Wandstromfiltern durchdringt das Abgas eine poröse Wand.

0. CRT-Rußfilter (Durchflussfilter)

Mehrere Hersteller (Emitec, HJS, Remus, Pankl oder Twin-Tec) bieten mittlerweile Durchflussfilter (auch Offenes System genannt) zur Nachrüstung an. Typischerweise besteht ein Durchflussfilter aus dünnen Stahlfolien mit gezielter Strömungsleittechnik, in denen die Partikel vom Abgas getrennt und zur Anlagerung auf die innere Oberfläche des Filters gebracht werden. Bei genügend hohen Temperaturen und NO₂-Konzentrationen werden die dort angelagerten Partikel nach dem sogenannten CRT Prinzip kontinuierlich regeneriert (CRT: Continuous Regeneration Trap = Kontinuierlich regenerierende (Partikel-) Falle).

Gegenüber den Wandstromfiltern wirkt sich die nur geringe Erhöhung des Abgasgegendrucks vorteilhaft aus, was dazu führt, dass der Kraftstoffverbrauch nicht oder nur wenig erhöht wird [Quelle: Wikipedia].

1. Wandstromfilter

Bei einem Wandstromfilter (Wall-Flow, Honey-Comb, auch Geschlossenes System genannt) wird das mit den Rußpartikeln versetzte Abgas bei der Durchdringung einer porösen Filterwand gefiltert. Die Partikel bleiben dabei bei Oberflächenfiltern hauptsächlich an der Oberfläche der Filterwand hängen, oder verbleiben mittels Tiefenfiltration im Inneren der Filterwand. In beiden Fällen muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Partikel nicht durch einen Siebeffekt hängen bleiben (die Partikel sind größer als die Löcher, durch die das Abgas strömt). Stattdessen werden die Partikel hauptsächlich durch Adhäsion (Anhaftung) an der porösen Wand festgehalten. Auch bei Oberflächenfiltern findet zu Beginn der Filtration eine Tiefenfiltration statt. Mit Belegung der inneren Filterflächen erfolgt das Ablagern der Partikel auf der Oberfläche. Es bildet sich eine Partikelschicht, der sogenannte Filterkuchen. Bei Tiefenfiltern findet die Ablagerung der Partikel nur in der inneren Filterstruktur statt.

Die porösen Wände können im Filter auf unterschiedliche Art angeordnet sein. Bei Fasern und Metallpulver werden eher flächige Filterwände aufgebaut, die dann in Rohren, Taschen oder Bälge angeordnet werden. Bei aus Keramikpulver hergestellten Filtern wird eine Kanalstruktur verwendet, wobei die Kanäle wechselseitig verschlossen sind. Das Abgas wird dadurch gezwungen, die poröse Keramikwand zu durchströmen. Durch den Produktionsprozess lassen sich verschiedene Geometrien oder Eigenschaften des Filtermaterials erzeugen. Besonders von Bedeutung sind die Wandstärke, die Zelldichte, die mittlere Porengröße und das Porenvolumen bei Wall-Flow-Filtern.

Durch die Ablagerung der Partikel an der Oberfläche bzw. im Inneren der Filterwand steigt die durch den Abgasvolumenstrom erzeugte Druckdifferenz an. Der Differenzdruckanstieg ist dabei auch eine Funktion der eingelagerten Partikel.

Um den Dieselmotor vor einem zu hohen Abgasgegendruck und den Partikelfilter vor einer zu hohen Partikelbeladung zu schützen, müssen die im Filter eingelagerten Partikel von Zeit zu Zeit verbrannt werden. Dieser Vorgang wird als Regeneration bezeichnet. Eine einfach zu erfassende Messgröße, die es erlaubt, die Höhe der Beladung des Partikelfilters zu erkennen ist der Differenzdruck über den Filter. Die Überwachung des Differenzdrucks, die Einleitung und die Steuerung der Regeneration werden durch das Motorsteuergerät des Dieselmotors durchgeführt.

Partikel bestehen hauptsächlich aus Ruß und unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Um einen Filter regenerieren zu können, müssen sie im Filter verbrannt werden. Wie bei jeder chemischen Reaktion wird dafür eine bestimmte Temperatur benötigt. Da Ruß hauptsächlich eine Art des Kohlenstoffs darstellt, handelt es sich bei der Regeneration um eine exotherme Oxidation (Verbrennung unter Abgabe von Wärme). Die notwendige Abgastemperatur für eine Regeneration liegt bei mindestens 500°C-550°C. Die Abgastemperatur beim Dieselmotor ist normalerweise relativ niedrig, sie kann trotz Temperaturen von 700-800°C im Vollastbetrieb im Stadtverkehr auf Werte von unter 200°C fallen.

Zur Durchführung der Regeneration gibt es verschiedene, auch kombinierbare Techniken (z. B. späte Nacheinspritzung, ein vorgeschalteter Oxidationskatalysator, Heizspirale, etc.), die das Abgas auf die erforderliche Temperatur aufheizen.

Die Verbrennung der Partikel im Filter erfolgt nie rückstandsfrei. Das Motoröl und insbesondere ein Additiv (falls vorhanden) führen nach hoher Fahrzeug-Laufleistung zu einer Ascheablagerung im Filter, die den Abgasgegendruck des Filters und damit den Kraftstoffverbrauch erhöht. Diese Asche muss nach hohen Laufleistungen durch Rückspülen des Dieselpartikelfilter entfernt werden. Die Verwendung moderner Motoröle (sogenannte Low Saps mit wenig Schwefel, wenig Phosphor) kann die Aschebildung vermindern. Der Einsatz schwefelfreier Kraftstoffe hat einen ähnlichen Effekt.

Allen Wandstromfiltern gemein ist eine langzeitstabile sehr hohe Abscheiderate (> 95 %) für Partikel aller Größenklassen und eine geringe Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs. Diese Erhöhung ist einerseits durch die Regeneration bedingt (schlechterer Motorwirkungsgrad durch Nacheinspritzung) und andererseits durch den vom Filter und den im Filter eingelagerten Partikeln verursachten höheren Abgasgedruck [Quelle: Wikipedia].

3.2. Abgasrückführung AGR

Die Abgasrückführung (AGR) wird zur Minderung von Stickstoffoxiden (NO_x) bei der Verbrennung von Kraftstoff in Ottomotoren, Dieselmotoren, Gasturbinen, Heizkesseln usw. verwendet. Diese Reduktion ist nötig, um speziell bei Verbrennungsmotoren für Fahrzeuge die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte zu erreichen.

Ein Teil des Abgases wird durch ein Rohr mit Steuerventil wieder der Frischluft zugemischt (externe AGR) oder Abgas wird bei Kolbenmaschinen in den Ansaugbereich zurückgeschoben (interne AGR). Durch die höhere Wärmekapazität des Abgases im Vergleich zu Luft wird die Verbrennungstemperatur abgesenkt und es entstehen weniger Stickoxide. Anhand dieser Maßnahme erhöht sich der Anteil von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Dieser kann aber durch einen Abgaskatalysator wieder verringert werden.

Im Nutzfahrzeugbereich ist eine gekühlte AGR quasi Standard bis zur Abgasnorm Euro 3. Ab Euro 4, welche im Oktober 2005 für neu entwickelte Fahrzeugtypen zur Pflicht geworden ist, gibt es die gekühlte AGR noch bei MAN und Scania. Andere Hersteller setzen auf das aufwändigere Prinzip der selektiven, katalytischen Reduktion (SCR). Die AGR ist eine innermotorische Maßnahme, um durch das Herabsetzen der Verbrennungstemperatur die Stickoxid-Bildung während der Verbrennung zu verringern.

Generell besteht ein Zielkonflikt zwischen geringen Ruß- und NO_x-Emissionen. Erstere entstehen vermehrt bei geringen Brennraumtemperaturen, während sich bei hohen Temperaturen deutlich mehr NO_x bildet [Quelle: Wikipedia].

3.3. SCR-Technik

Mit SCR bezeichnet man die Technik der selektiven katalytischen Reduktion (selective catalytic reduction) von Stickoxiden in Abgasen von Feuerungsanlagen. Die chemische Reaktion der Reduktion ist selektiv, das heißt, es werden nicht alle Rauchgaskomponenten reduziert, sondern nur die Stickoxide (NO, NO₂). Es gibt zwei Arten von Katalysatoren. Die eine Art besteht im Wesentlichen aus Titandioxid, Vanadiumpentoxid und Wolframoxid. Die andere Art verwendet Zeolithe. Zum Ablauf der Reaktion wird Ammoniak benötigt, der dem Rauchgas zugemischt wird. Die Produkte der Reaktion sind Wasser und Stickstoff.

In der Fahrzeugtechnik wird dieses Verfahren angewendet, um bei Dieselfahrzeugen, vorerst nur bei Nutzfahrzeugen, die Schadstoffemissionen zu senken. Damit können diese Dieselfahrzeuge die Euronorm 5 erfüllen. Der benötigte Ammoniak wird hierbei nicht direkt, das heißt in reiner Form verwendet, sondern in Form einer 32,5%igen, wässrigen Harnstofflösung, von der Industrie einheitlich mit AdBlue® bezeichnet. Die Zusammensetzung ist in der DIN 70070 geregelt. Diese wird vor dem SCR-Katalysator in den Abgasstrang eingespritzt. Aus der Harnstoff-Wasser-Lösung entsteht durch eine Hydrolysereaktion Ammoniak und Wasser. Der so erzeugte Ammoniak kann in einem speziellen SCR Katalysator bei entsprechender Temperatur mit den Stickoxiden im Abgas reagieren. Die Menge des eingespritzten Harnstoffs ist von der motorischen Stickoxidemission und damit von der momentanen Drehzahl und Drehmoment des Motors abhängig. Der Verbrauch an Harnstoff-Wasser-Lösung beträgt abhängig von der Rohemission des Motors etwa 2 bis 8 % des eingesetzten Dieselmotorkraftstoffs. Es muss deshalb ein entsprechendes Tankvolumen mitgeführt werden.

Durch eine selektive katalytische Reduktion werden Stickoxide aus dem Abgas zu großen Teilen entfernt. Das heißt die Schadstoffbelastung für die Umwelt wird deutlich geringer. Der wesentliche Vorteil gegenüber der für die Reduktion der Rußpartikel erforderlichen Dieselpartikelfilter (DPF) besteht darin, dass der Motor während der gesamten Betriebsdauer mit einem optimalen Verbrennungsverhältnis betrieben werden kann. Im Gegensatz zum DPF stellt sich mit dieser Variante kein Mehrverbrauch ein. Dieser Vorteil gilt auch gegenüber der alternativen Technologie zur Reduktion von Stickoxiden mittels eines NOx-Speicherkatalysators, der ebenfalls eine zeitweise Abwendung von optimalen Verbrennungsverhältnissen erfordert.

Der wesentliche Nachteil bei der Verwendung der SCR-Technologie in z. B. Lastfahrzeugen ergibt sich aus dem benötigten Ammoniak in Form der 32,5 %igen wässrigen Harnstofflösung, "AdBlue®". Dieser weitere Betriebsstoff muss für SCR-LKW wegen seiner besonderen Eigenschaften in einem Edelstahl- oder Kunststofftank mitgeführt und kontinuierlich in den Abgas-Strom eingespritzt werden. Dadurch ergibt sich neben dem SCR-Katalysator und der Einsprühanlage die Notwendigkeit eines zweiten, meist kleineren Tanks neben dem Diesel-Tank. Es gibt eine Reihe von Versuchen, das Speicherproblem durch die Verwendung von Stoffen mit höherer Speicherdichte zu verringern oder durch die direkte Erzeugung von Ammoniak aus Kraftstoff im Fahrzeug zu umgehen. Da diesen jedoch bisher der Erfolg versagt blieb, hat sich die SCR-Technologie mit AdBlue-Tank, SCR-Katalysator und Einspritz-Regelung bei nahezu allen großen LKW-Herstellern zur Erreichung der Euro 5-Abgasnorm durchgesetzt.

Das Problem der flächendeckenden Versorgung mit wässriger Harnstofflösung AdBlue für den Schwerlastverkehr beginnen seit Anfang 2005 eine Reihe von Anbietern zu lösen. Heute, da die ersten Euro 5-LKWs bereits betrieben werden, gibt es AdBlue-Depots bei Speditionen und einigen öffentlichen Tankstellen.

Ein anderer Nachteil besteht darin, dass AdBlue variabel eingespritzt werden muss. Er muss bisher über ein so genanntes Feed-Verhältnis dem NOx im Abgasmassenstrom angepasst werden. Wird dabei zuviel Harnstoff zudosiert, so kann das daraus gebildete Ammoniak nicht mit NOx reagieren. Bei dieser Fehldosierung kann Ammoniak in die Umgebung gelangen. Da Ammoniak bereits in sehr kleinen Konzentrationen wahrgenommen werden kann, führt dies zu einer Geruchsbelästigung. Abhilfe schafft man, in dem hinter dem SCR-Katalysator ein Oxidationskatalysator eingebaut wird. Dieser wandelt im Falle einer Ammoniak-Emission das NH₃ wieder in NOx um. Eine weitere Möglichkeit den sogenannten Ammoniak-Schlupf zu verhindern ist eine größere Auslegung des Katalysators um damit eine gewisse Speicherfunktion zu erhalten. Ein NOx-Sensor hinter dem SCR-Katalysator ist zur Lösung dieses Problems entwickelt worden. Er kommt ab 2006 in SCR-Fahrzeugen zum Einsatz.

4. EBB-Fahrzeuge mit MAN-Motoren unterschreiten Euronorm 4

In den vom EBB bestellten MAN-Fahrzeugen der Typen TGA 26.310 (5 Seitenlader) und TGA 28.350 (1 Hecklader) werden 6-Zylinder-Reihenmotoren mit 12,0 bzw. 10,5 Litern Hubraum und Common Rail Einspritzung eingesetzt.

Die Leistung der Motoren liegt zwischen 310 PS/228 kW (TGA 26.310) und 350 PS/257 kW (TGA 28.350). Die Abgase sind schadstoffarm nach Euronorm 4, da sie über eine externe und geregelte Abgasrückführung (AGR) zur Minimierung der NOx-Emissionen sowie einen Rußpartikelfilter (PM-KAT, siehe Abb. 4) zur Minimierung der Feinstaubbelastung verfügen.

Mit dem System aus Common Rail Einspritzung, Abgasrückführung und PM-KAT® bietet MAN ein umweltfreundliches und technisch sowie wirtschaftlich vorteilhaftes Konzept.

Die Handhabung der Fahrzeuge entspricht im Wesentlichen den bekannten Dieselfahrzeugen. Der Fahrer kann sich auf seine eigentlichen Tätigkeiten konzentrieren und muss die Aufmerksamkeit nicht auf mögliche technische Neuerungen richten (z. B. auf Zusätze wie AdBlue®).

Zur Zeit ist der Anteil an Nutzfahrzeugen in Deutschland, die die Euronorm 4 einhalten, verschwindend gering, da viele Nutzfahrzeug-Hersteller die geforderten Schadstoffgrenzwerte in vielen Fahrzeugsegmenten noch nicht einhalten können.

Der Entsorgungsbetrieb Bergkamen wird sein Fahrpersonal mit Hilfe der Berater Dr. Obladen & Partner für eine ökonomische Fahrweise sensibilisieren. Wirtschaftliche Fahrweise bedeutet aber nicht nur Kosten zu sparen, sondern auch stressfrei und entspannt zu arbeiten sowie die Umwelt zu entlasten.

Beschlussvorschlag:

Der Haupt- und Finanzausschuss als Betriebsausschuss nimmt die Vorlage des Entsorgungsbetrieb Bergkamen (EBB) zur Kenntnis.

Tab: 1: Abgasgrenzwerte für LKW und Busse (Grenzwerte für die Serienproduktion)

	Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3		Euro 4/5	
	88/77/EWG	91/542/EWG		1999/96/EG			
	seit 1988/90	ab 1992/93	ab 1995/96	ab 2000		ab 2005/2006 bzw. 2008/2009 ^{*)}	
		<u>1. Stufe</u>	<u>2. Stufe</u>	ESC- und ELR-Test ¹⁾	ETC-Test ²⁾³⁾	ESC- und ELR-Test ¹⁾	ETC-Test ²⁾³⁾
g / kWh	g / kWh	g / kWh	g / kWh	g / kWh	g / kWh	g / kWh	g / kWh
CO	12,3	4,9	4,0	2,1	5,45	1,5	4,0
HC	2,6	1,23	1,1	0,66		0,46	—
NMHC	—	—	—	—	0,78		0,55
Methan	—	—	—	—	1,6 ⁴⁾		1,1 ⁴⁾
NO _x	15,8	9,0	7,0	5,0	5,0	3,5 / 2,0 [*])	3,5 / 2,0 [*])
Partikel	—	0,4	0,15	0,1	0,16 ⁵⁾	0,02	0,03 ⁵⁾
Ruß	—	—	—	0,8 m ⁻¹	—	0,5 m ⁻¹	—

¹⁾ geändertes / verschärftes Prüfverfahren für alle Dieselmotoren

²⁾ zusätzlicher Transienten-Test für Dieselmotoren mit Abgasnachbehandlungssystem

³⁾ Für Gasmotoren nur Transient-Test

⁴⁾ Nur für Erdgasmotoren

⁵⁾ Nur für Dieselmotoren

^{*}) Bei Euro 5 (ab 2008/09) wird nur der NO_x-Grenzwert von 3,5 auf 2,0 g/km herabgesetzt

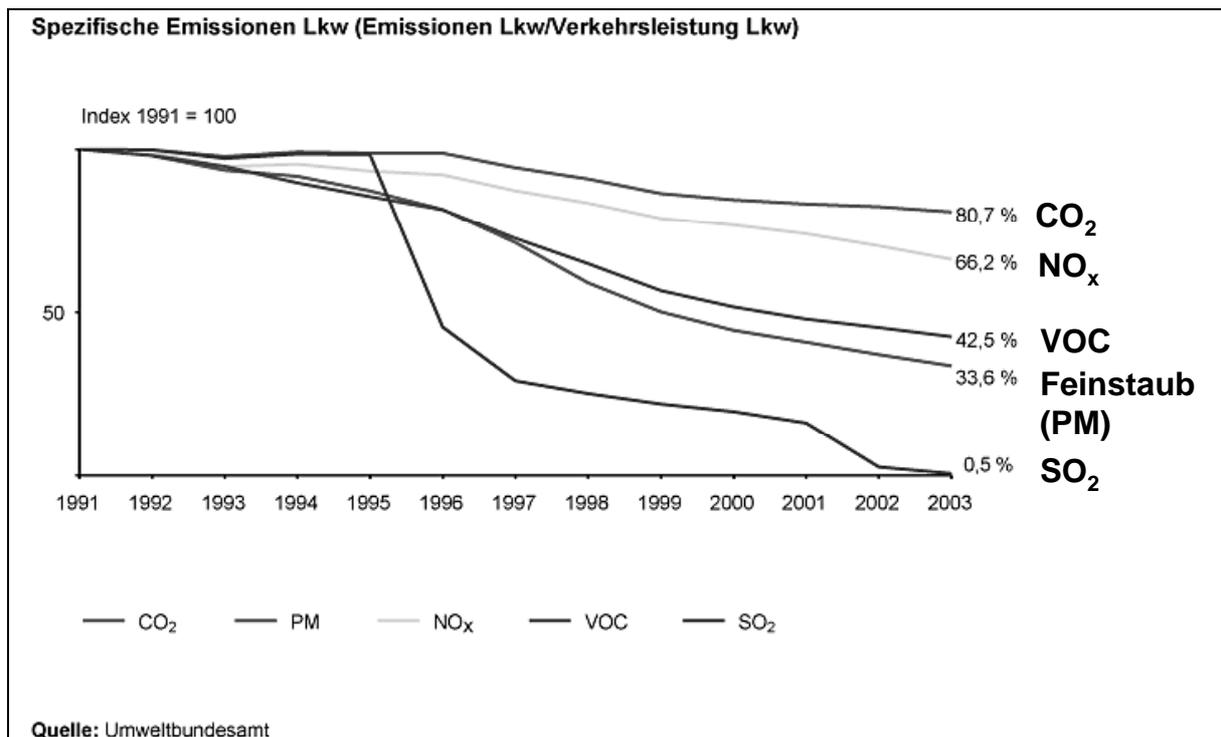


Abb. 1: Spezifische Emissionen Lkw

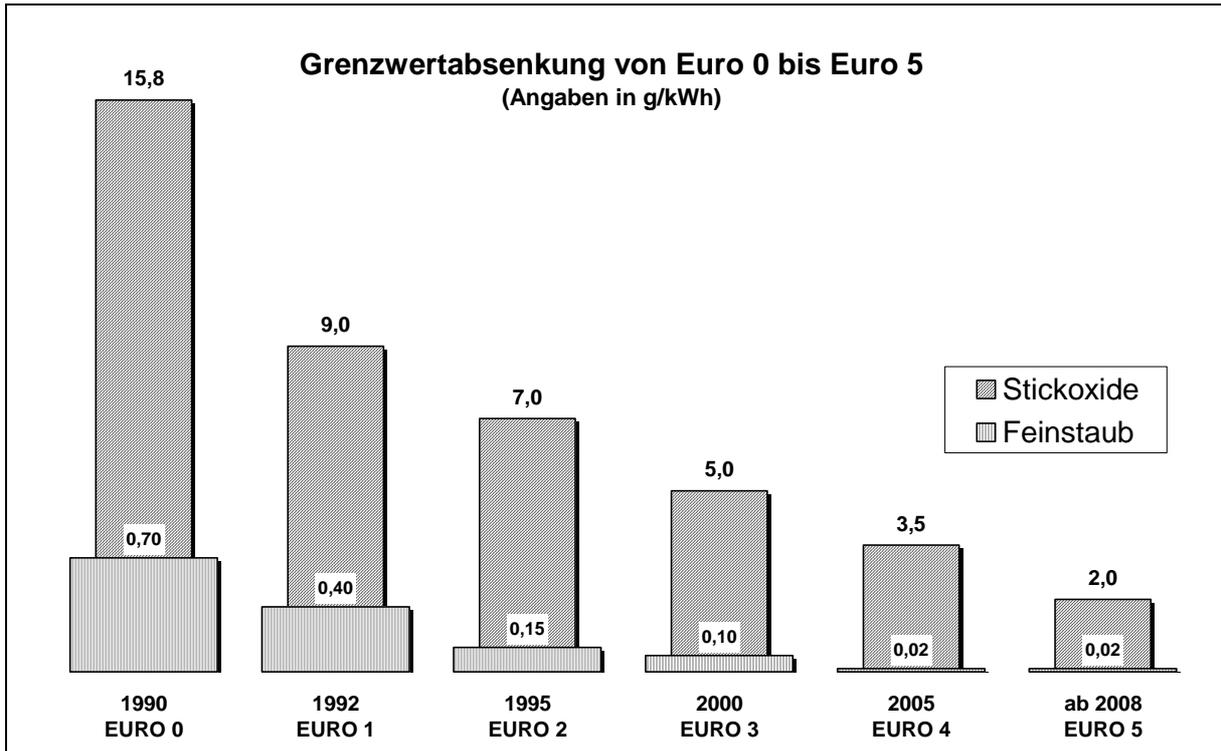


Abb. 2: Verschärfung der Abgasgrenzwerte für Stickoxide und Feinstaub seit 1990

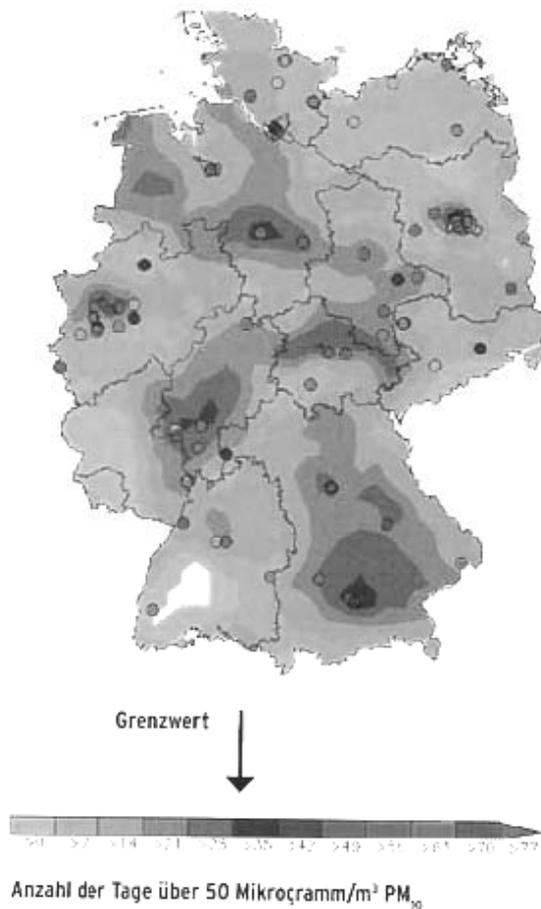


Abb. 3: Feinstaub-Hotspots (PM) in Deutschland 2002

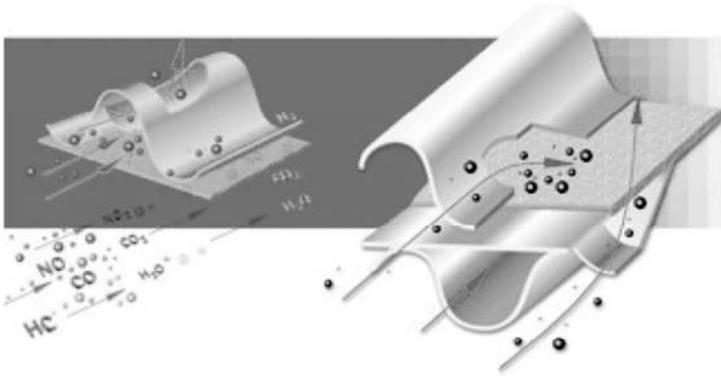


Abb. 4: Rußpartikelfilter (PM-KAT®): Partikelabscheidung beim Durchströmen