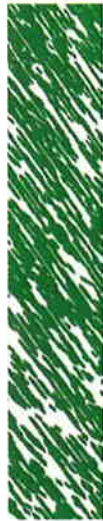




**ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH**



Auswirkungen der Nachrüstung von Kfz mit Partikelfiltern

Hinrich Helms
Udo Lambrecht
Ulrich Höpfner

**ifeu - Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg**

Heidelberg, Mai 2005

Impressum

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Kurzstudie liegt bei den Autoren. Die hier dargestellten Ansichten müssen nicht mit denjenigen der Auftraggeber übereinstimmen.

Bearbeiter der Studie: Dipl.-Geograph Hinrich Helms, Dipl. Phys. Udo Lambrecht, Dr. Ulrich Höpfner

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH,
Wilckensstr. 3, D-69120 Heidelberg; Tel. 06221-4767-0; Fax -4767-19;
E-Mail: verkehr@ifeu.de; Internet: www.ifeu.de

Inhaltsübersicht

1	Ziel und Inhalt der Studie	1
---	----------------------------------	---

Einfluss des Verkehrs auf die Luftbelastung

2	Die verkehrsbedingten Emissionen wichtiger Schadstoffe (CO, Benzol, NO _x) sind in den letzten Jahren stark gesunken.....	2
3	Die Luftbelastung durch die Schadstoffe CO, Benzol und NO _x ist ebenfalls stark zurückgegangen	3
4	Die Reduktion der Dieselpartikelemissionen aus Kraftfahrzeugen hat zu einem Rückgang der Rußkonzentration an Straßen geführt.....	4
5	Die Luftbelastung mit Feinstaub blieb dagegen in den letzten Jahren unverändert hoch	5
6	Die Höhe der täglichen Feinstaubkonzentration wird auch durch die meteorologische Situation bestimmt	6
7	Der Verkehr ist etwa zur Hälfte für die Feinstaubbelastung an hoch belasteten Straßen verantwortlich	7
8	Diesel-Pkw tragen hauptsächlich im Innerortsbereich, Diesel Lkw im Außerortsbereich zu den Emissionen von Dieselpartikeln bei	8
9	Die für eine Nachrüstung geeigneten Kraftfahrzeuge tragen heute zu etwa 65% zu den Dieselpartikelemissionen bei	9

Wirkung der Nachrüstung

10	Die Nachrüstung mit Partikelfiltern reduziert die Dieselpartikelemissionen der Pkw um 30% und der Lkw um 60%	10
11	Die Nachrüstung mit Partikelfiltern kann die Dieselpartikelemissionen im Innerortsbereich kurzfristig um bis zu 21% senken	11
12	Die Nachrüstung hat den größten Effekt, wenn Fahrzeuge baldmöglichst nachgerüstet werden.....	12
13	Die Nachrüstung von Kraftfahrzeugen mit Partikelfiltern reduziert die Feinstaubbelastung an hoch belasteten Straßen bis zu 6 %	13
14	Die Nachrüstung von Kfz mit Partikelfiltern senkt die Belastung an Spitzentagen und kann Grenzwertüberschreitungen vermindern	14
15	Die Nachrüstung von Kraftfahrzeugen mit Partikelfiltern bewirkt eine Reduktion der gesundheitlichen Belastung der gesamten Bevölkerung.....	15
16	Zusätzlich zur Minderung der Dieselpartikelemissionen können durch einen Partikelfilter die direkten NO ₂ Emissionen gesenkt werden.....	16
17	Schlussfolgerungen.....	17
18	Quellenverzeichnis	18

1 Ziel und Inhalt der Studie

Für einige Luftschadstoffe, insbesondere Kohlenmonoxid und Benzol, haben technische Maßnahmen, vor allem die Einführung des Katalysators für Otto-Pkw, zu deutlichen Emissionsminderungen im Straßenverkehr geführt und für eine Verbesserung der Luftqualität gesorgt. Die Grenzwerte für Kohlenmonoxid und Benzol werden in Deutschland deutlich unterschritten.

Anders ist die Situation bei den Feinstäuben (PM_{10}). Seit dem 1.1.2005 gelten EU-weit Immissionsgrenzwerte für PM_{10} , die bereits innerhalb der ersten 4 Monate dieses Jahres in zahlreichen Bundesländern überschritten wurden. Die hohe Schadstoffbelastung wurde besonders an verkehrsreichen Innerortsstraßen gemessen. Sie ist nach heutigem Wissen auch weiterhin zu erwarten. Damit besteht großer Handlungsbedarf zur Reduktion der Emissionen, die diese Überschreitungen verursachen.

Da die PM_{10} -Konzentration mit zunehmender Nähe zu einer stark befahrenen Straße zunimmt, ist offensichtlich, dass die Kfz des Straßenverkehrs zu den Verursachern der PM_{10} -Belastung gehören. Demzufolge sollte eine Reduktion der Partikelemissionen der Kfz zu einer Absenkung der PM_{10} -Immissionen führen. Eine häufig diskutierte Maßnahme besteht in der Nachrüstung der Dieselfahrzeuge mit einem Abgasnachbehandlungssystem (Partikelfilter oder -katalysator), mit dessen Hilfe die Dieselpartikelemissionen von älteren und höher emittierenden Kraftfahrzeugen reduziert werden.

Doch wurden viele weitere Quellen identifiziert, die auch an einer viel befahrenen Straße zu der PM_{10} -Belastung beitragen. Neben den Partikelemissionen im Abgas der Dieselfahrzeuge sind dies Brems-, Reifen- und Straßenabrieb. Hinzu kommt die Wiederaufwirbelung von Feinstäuben durch die Turbulenz der Fahrzeuge. Weiterhin gibt es auch Emissionen aus Hausbrand und Industrie, daneben auch Feinstäube durch Baustellen, durch Umladung von staubenden Gütern oder auch Aufwirbelung von Bodenpartikeln – und schließlich die so genannten Sekundäraerosole, die aus gasförmigen Emissionen wie dem Ammoniak aus der Landwirtschaft und den Stickoxiden gebildet werden können.

Daher soll in dieser Studie untersucht werden, inwieweit die Nachrüstung älterer Dieselfahrzeuge mit einem Partikelfilter zu einer Umweltentlastung beitragen kann. Dazu werden

- die Entwicklung und heutige Situation der verkehrlichen Umweltbelastung dargestellt,
- die Feinstaubbelastung und ihre Quellen analysiert,
- der Einfluss einer Partikelfilternachrüstung auf die verkehrlichen Emissionen ermittelt und
- die Auswirkung auf die Luftqualität abgeschätzt.

Die zu ermittelnde Umweltentlastung hängt neben der Bedeutung der Partikelemissionen für die PM_{10} -Konzentration von der Wirksamkeit der Technik und zudem von dem Durchdringungsgrad der Nachrüstung ab. Dieser wird von den umweltpolitischen Randbedingungen wie fiskalische Förderungen, Nutzervorteile (Zugangsberechtigungen) und Umweltbewusstsein beeinflusst.

2 Die verkehrsbedingten Emissionen wichtiger Schadstoffe (CO, Benzol, NO_x) sind in den letzten Jahren stark gesunken

Trotz einer Zunahme der Fahrleistungen gingen die Emissionen wichtiger Schadstoffe aus den Kraftfahrzeugen in Deutschland in den letzten Jahren zurück. Dies war eine Folge der immer strengeren Abgasgesetzgebung der Europäischen Union und der entsprechenden technischen Verbesserung der Neufahrzeuge.

Besonders stark war dieser Rückgang bei den Schadstoffen **Kohlenmonoxid (CO)** und Benzol ([IFEU 2005]). Die berechneten städtischen CO-Emissionen sind seit 1980 um etwa 80% gesunken. Dies ist vor allem auf die Einführung und Verbesserung des Katalysators für Otto-Pkw zurückzuführen.

Bei **Benzol** sind die berechneten städtischen Emissionen seit 1990 um 90% gesunken. Zu diesem besonders starken Rückgang hat, neben der Einführung des Katalysators für Otto-Pkw sowie einer Verringerung des Benzol-Gehalts im Kraftstoff, auch die Außerbetriebnahme älterer Fahrzeuge mit Zweitaktmotoren aus der Flotte der DDR beigetragen.

Die ermittelten **Stickoxid-Emissionen (NO_x)** aus dem Straßenverkehr sind ebenfalls stark zurück gegangen ([IFEU 2005]). Sie haben sich seit 1987 etwa halbiert. Besondere Reduktionen wurden – bedingt durch die Einführung des Katalysators – bei den Emissionen von Otto-Pkw verzeichnet. Bei den innerörtlichen Emissionen haben aber auch die Nutzfahrzeuge und die Diesel-Pkw einen hohen Anteil. Da die Emissionen der Nutzfahrzeuge seit 1980 in etwa konstant blieben und die der Diesel-Pkw wegen deren steigendem Fahrleistungsanteil sogar zunahmen, sind die Reduktionen geringer als bei den von Otto-Pkw dominierten Kohlenmonoxid- und Benzolemissionen.

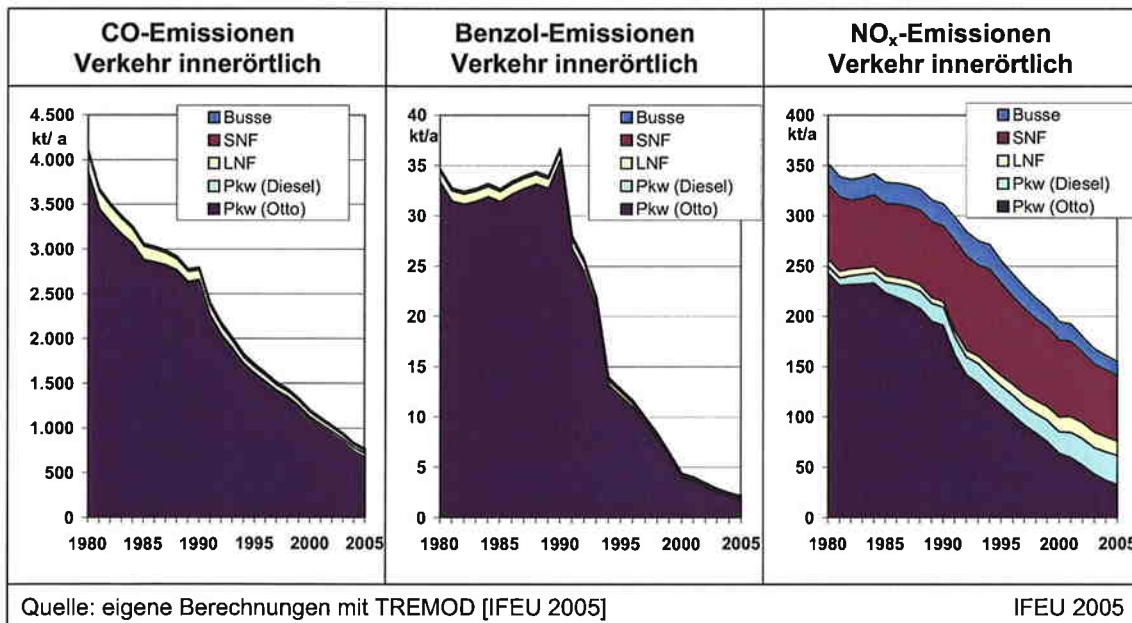


Abb. 1: Abgasemissionen des innerörtlichen Straßenverkehrs in Deutschland

3 Die Luftbelastung durch die Schadstoffe CO, Benzol und NO_x ist ebenfalls stark zurückgegangen

Die Luftqualität an einem Standort wird als die Konzentration eines bestimmten Schadstoffs angegeben (z.B. µg pro m³). Sie hängt sowohl von den direkten Emissionen aus verschiedenen Quellen als auch von chemischen (z.B. Umwandlung) und physikalischen (z.B. Ferntransport, Vermischung) Prozessen ab. Zur Beurteilung der Luftqualität können die von der EU festgelegten Grenzwerte herangezogen werden.

Die Minderungen der Emissionen aus dem Straßenverkehr haben in den letzten Jahren zu einer Verbesserung der Luftqualität geführt. So sind die städtischen Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Benzol sehr stark zurückgegangen. Die aktuellen und zukünftigen Luftqualitätsgrenzwerte für diese Schadstoffe werden heute schon eingehalten.

Der Rückgang der **Stickoxid-(NO_x)-Emissionen** hat ebenfalls zu einem Rückgang der NO_x-Konzentration geführt. Stickoxide setzen sich jedoch aus Stickstoffmonoxid (NO) und dem gesundheitlich relevanteren und für die Luftqualitätsstandards maßgeblichem Stickstoffdioxid (NO₂) zusammen. Während bei der Stickstoffmonoxidkonzentration hohe Reduktionen gemessen wurden, blieb die Stickstoffdioxidkonzentration in etwa konstant.

Damit kam es zu einer Verschiebung im NO₂/NO-Verhältnis hin zu NO₂. Als Gründe hierfür werden zurzeit eine Erhöhung der städtischen Ozonkonzentration und eine Erhöhung der direkten NO₂-Emissionen im Abgas diskutiert. Die NO₂-Grenzwerte für 2010 werden in Deutschland heute an vielen Messstellen - insbesondere im Straßennahbereich - überschritten.

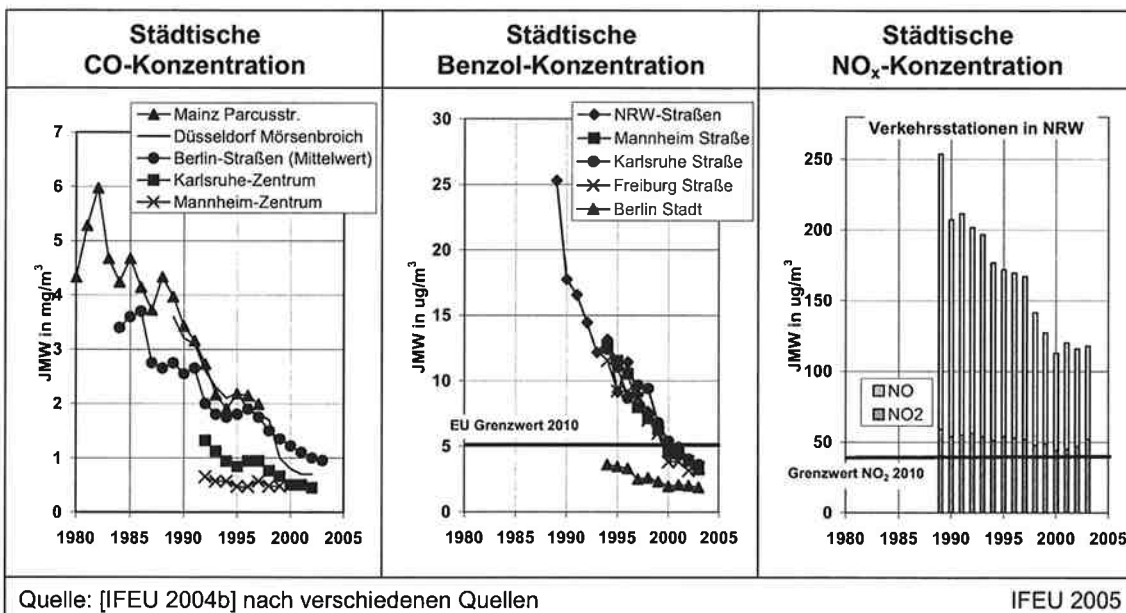


Abb. 2: Städtische Schadstoffkonzentrationen in Deutschland

4 Die Reduktion der Dieselpartikelemissionen aus Kraftfahrzeugen hat zu einem Rückgang der Rußkonzentration an Straßen geführt

Die berechneten Emissionen von **Dieselpartikeln** gingen seit 1995 um 45% zurück. Trotz einer Verschärfung der Grenzwerte bei Diesel-Pkw blieben die Emissionen dieser Fahrzeuggruppe wegen der stark ansteigenden Fahrleistungen im betrachteten Zeitraum in etwa konstant. Auch bei den leichten Nutzfahrzeugen (LNF) kann kein Rückgang festgestellt werden. Bei den schweren Nutzfahrzeugen (SNF) und den Bussen dagegen gingen die Emissionen um 62% bzw. 74% zurück.

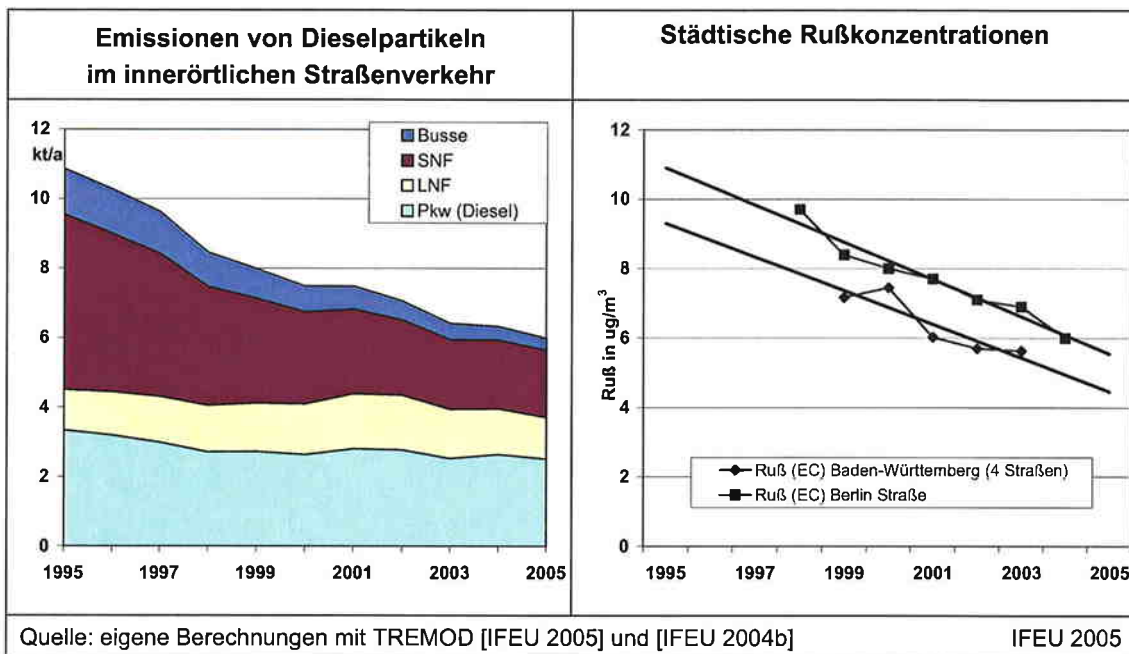


Abb. 3: Städtische Partikelemissionen – Städtische Rußkonzentrationen

Ein erheblicher Anteil der Dieselpartikel im Abgas der Fahrzeuge besteht aus Ruß („elementarer Kohlenstoff“ (EC)). Damit ist Ruß ein guter Indikator für Dieselpartikelemissionen (siehe hierzu auch [IFEU 1999]). Die Rußkonzentration an hoch belasteten Straßen in Deutschland hat zwischen 1998 und 2004 um etwa ein Drittel abgenommen. Damit spiegelt der Verlauf der Rußkonzentration etwa den Verlauf der Dieselpartikelemissionen wieder.

Für die Rußkonzentrationen gab es in Deutschland bis vor kurzem einen Grenzwert von $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel ([BlmSchV 1996]). Dieser Grenzwert wird heute an den meisten Messstationen problemlos eingehalten. Inzwischen wurde dieser Grenzwert jedoch aufgrund der EU-Gesetzgebung durch einen Grenzwert für Feinstaub (PM_{10}) ersetzt. Ruß ist dabei ein Bestandteil der gesamten Feinstaubbelastung.

5 Die Luftbelastung mit Feinstaub blieb dagegen in den letzten Jahren unverändert hoch

Trotz des Rückganges der berechneten Emissionen der Dieselpartikel und trotz des gemessenen Rückgangs der Rußbelastung an hoch belasteten Straßen haben sich die Werte der straßennahen Feinstaubbelastung in den letzten Jahren kaum verändert (Abb. 4 links).

Feinstaub bzw. PM₁₀ sind Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser unter 10 µm. Die PM₁₀-Konzentrationen liegen deutlich höher als die Rußwerte (Abb. 4 links). Direkte Abgasemissionen tragen also nur zum Teil zur Luftbelastung mit Feinstaub bei. Somit haben die direkten Dieselpartikelabgasemissionen auch nur einen begrenzten Einfluss auf die Höhe der Feinstaubkonzentrationen.

Feinstaub wird im Rahmen der EU-Gesetzgebung durch die Tochterrichtlinie ([EU 1999]) limitiert. Seit dem 1.1.2005 gelten danach folgende Grenzwerte:

- 40 µg/m³ im Jahresmittel sollen nicht überschritten werden
- 50 µg/m³ im Tagesmittel sollen nicht häufiger als 35-mal im Jahr überschritten werden.

Insbesondere der 35-Tage-Grenzwert wurde in den letzten Jahren an zahlreichen Messstationen überschritten (siehe Abb. 4 rechts). Im Jahr 2005 wurde die 35 Tage-Schwelle bereits zum 1. Mai 10 Städten erreicht.

Auch für den Jahresgrenzwert gab es, vor allem im Jahr 2003, zahlreiche Überschreitungen. Betroffen waren dabei insbesondere straßennahe Messstationen.

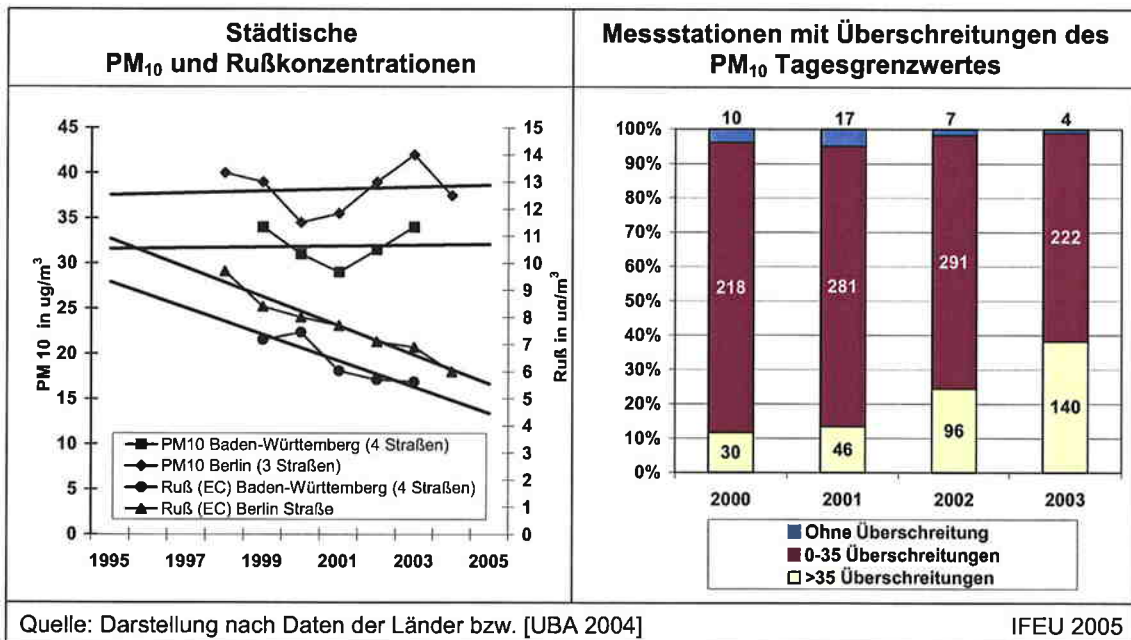


Abb. 4: Städtische PM₁₀-Rußkonzentrationen – Überschreitungen in Deutschland

6 Die Höhe der täglichen Feinstaubkonzentration wird auch durch die meteorologische Situation bestimmt

Bei der Höhe der lokalen Belastungsspitzen spielt vor allem die meteorologische Situation eine wichtige Rolle. Hohe PM₁₀-Konzentrationen treten überwiegend in winterlichen Episoden mit niedriger Mischungsschichthöhe (Inversionswetterlagen) auf. Dabei kann die Schadstoffkonzentration - auch großräumig - innerhalb sehr kurzer Zeiträume durch Wind- und Feuchtigkeitsbedingungen (Regen) auch schnell wieder absinken.

Für den Februar 2005, in dem teilweise sehr stabile Wetterlagen (Inversion) mit geringen Windgeschwindigkeiten und niedrigem Niederschlag vorherrschten, zeigte sich z.B. ein sehr ähnliches Profil der Feinstaubkonzentration an verschiedenen, über 100 km voneinander entfernten Stationen in Rheinland-Pfalz und Hessen (Abb. 5). Dieses Profil zeigt sich sowohl für Messstationen in der Nähe von hoch belasteten Straßen, Stationen im städtischen Hintergrund als auch Stationen, die fern vom direkten Einfluss von Emittenten liegen.

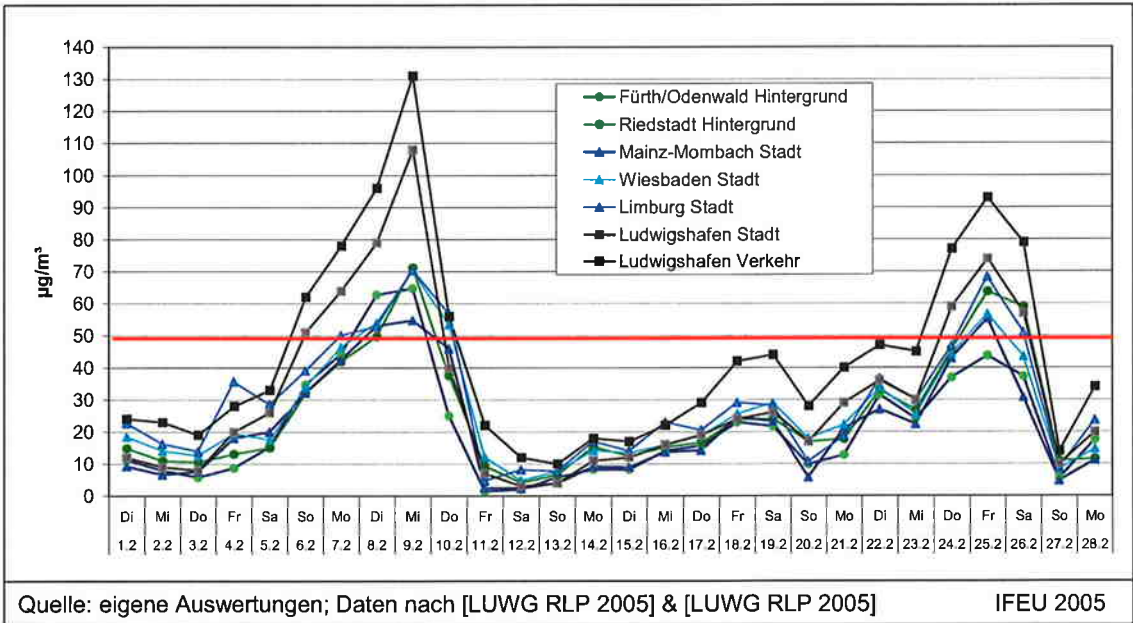


Abb. 5: PM₁₀-Konzentrationen Februar 2005 in Hessen und Rheinland Pfalz

Während der Episoden zeigt sich ein kontinuierlicher Aufbau der Feinstaubbelastung an den einzelnen Orten. Niederschläge (z.B. am 10. – 13. 2.) führten zu einer starken Abnahme der Feinstaub-Konzentrationen.

Wegen der geringen Windgeschwindigkeiten spielen Ferneinträge bei diesen Inversionswetterlagen eine geringere Rolle als bei anderen Wetterlagen. Dadurch kann den lokalen Emissionen bei den Überschreitungen der 24-h-Grenzwerte eine größere Rolle zukommen als im Jahresmittelwert.

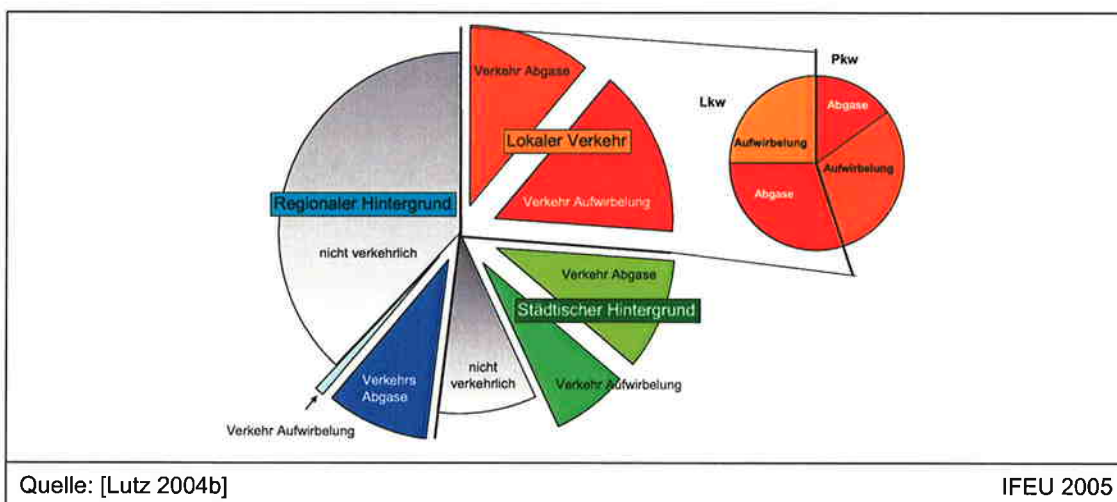
7 Der Verkehr ist etwa zur Hälfte für die Feinstaubbelastung an hoch belasteten Straßen verantwortlich

Die höchsten Feinstaubkonzentrationen werden an hoch belasteten Straßen gemessen. Die Feinstaubkonzentration setzt sich sowohl aus primären Partikeln als auch aus sekundären Partikeln zusammen. Primäre Partikel entstammen direkt aus verschiedenen Verbrennungsprozessen (z.B. Dieselfahrzeuge) und aus dem mechanischen Abrieb und der Aufwirbelung von Staub. Der Beitrag von Ottopartikelemissionen ist zurzeit noch ungeklärt und wird daher hier nicht weiter berücksichtigt. Sekundäre Partikel entstehen aus der Reaktion von Gasen in der Atmosphäre und der Zusammenlagerung verschiedener Teilchen. Wichtig sind besonders Nitrate und Sulfate, die sich aus Ammoniak, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid bilden.

Die Berliner Umweltbehörden haben in aufwändigen Analysen die Zusammensetzung und Herkunft der durchschnittlichen Feinstaubbelastung in hoch belasteten Straßen Berlins ermitteln lassen (Abb. 6). Danach gilt:

- Rund ein Viertel wird vom lokalen Straßenverkehr verursacht. Die direkten Abgasemissionen sind dabei für die eine Hälfte dieses lokalen Beitrags verantwortlich, für die andere Hälfte sind es Aufwirbelung und Abrieb von Bremsmaterial und Reifen.
- Das zweite Viertel stammt aus dem „städtischen Hintergrund“, d. h. mehrheitlich aus dem Verkehrsbereich, dann aus Industrie und Haushalten.
- Die verbleibende knappe Hälfte wird den Emissionen im „regionalen und überregionalen Hintergrund“ – zum großen Teil sekundäre Partikel - zugerechnet. Auch hieran ist der Verkehr beteiligt.

Der Straßenverkehr ist nach dieser Analyse für rund die Hälfte der Feinstaubbelastung verantwortlich. Dieses ist nur ein Beispiel für hoch belastete Straßen. Je nach Standort (z.B. im städtischen Hintergrund) und meteorologischen Randbedingungen unterscheiden sich die Anteile des Verkehrs beträchtlich. Nach aktuellen Untersuchungen zeigen die lokalen Verkehrsbeiträge Unterschiede zwischen 10 % und 60 % ([IUTA 2004a]). Trotz einer Vielzahl anderer Quellen sind die verkehrlichen Abgasemissionen in vielen Fällen die dominierende Quellgruppe, die zur Feinstaubbelastung beiträgt.



Quelle: [Lutz 2004b]

IFEU 2005

Abb. 6: Quellgruppen straßennaher PM₁₀-Konzentrationen (Beispiel Berlin)

8 Diesel-Pkw tragen hauptsächlich im Innerortsbereich, Diesel Lkw im Außerortsbereich zu den Emissionen von Dieselpartikeln bei

Der Höhe der Dieselpartikelemissionen der einzelnen Fahrzeuggruppen in Deutschland wird vor allem von ihrer Fahrleistung sowie den fahrzeugspezifischen Emissionen bestimmt, die durch die Grenzwertgesetzgebung bzw. das Alter der Fahrzeuge beeinflusst sind. Die knappe Hälfte der Dieselpartikel wird im Bereich der Bundesautobahnen emittiert. Dabei dominieren hier wegen der hohen Fahrleistungen die schweren Lkw die Emissionen mit über 50%.

Im Innerortsbereich – also im Nahbereich der Bevölkerung – liegt der durchschnittliche Anteil der Lkw an den Partikelemissionen des Jahres 2005 bei 32%; Diesel-Pkw tragen zu 42% zu den Emissionen bei. Die leichten Nutzfahrzeuge haben einen durchschnittlichen Anteil von nahezu 20%. Diese Verhältnisse können zwischen verschiedenen Orten in Abhängigkeit vom lokalen Anteil der Fahrzeugarten an der Fahrleistung variieren.

In den nächsten Jahren werden die Partikelemissionen der Dieselfahrzeuge langsam zurückgehen. Dieses folgt aus dem Ersatz alter Kraftfahrzeuge mit neuen Fahrzeugen geringerer spezifischer Emission. Die Absenkung wäre größer, wenn die Bestandsumwälzung schneller wäre. Dem steht die heutige lange Lebenszeit der Dieselfahrzeuge entgegen.

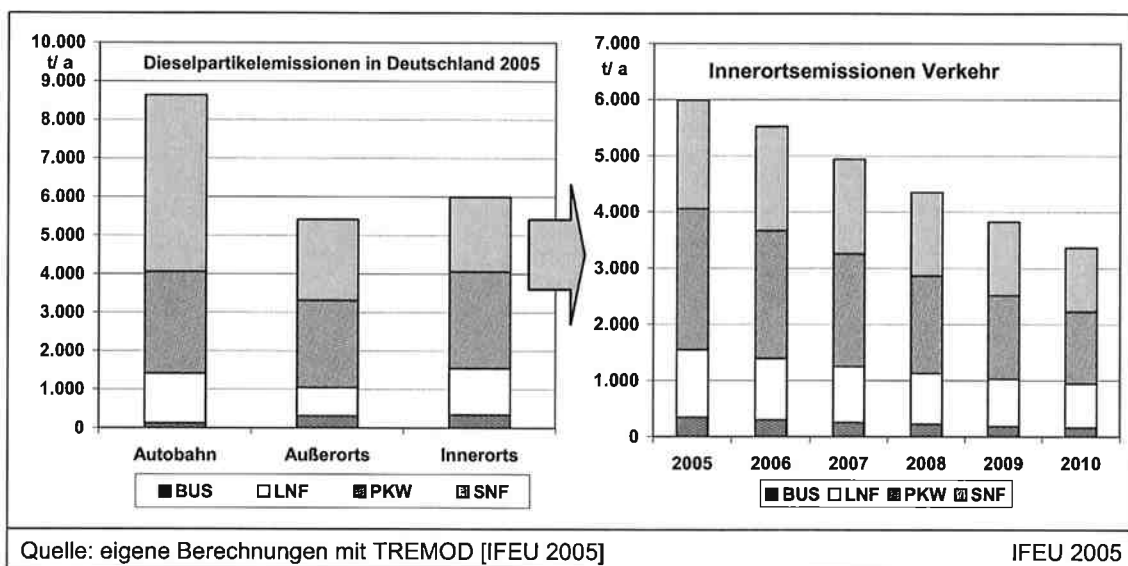


Abb. 7: Emissionen von Dieselpartikeln aus dem Straßenverkehr in Deutschland

9 Die für eine Nachrüstung geeigneten Kraftfahrzeuge tragen heute zu etwa 65% zu den Dieselpartikelemissionen bei

Für die Nachrüstung mit Partikelfiltern sind unseres Erachtens vor allem Fahrzeuge, die die EURO 2 und EURO 3-Norm erfüllen, geeignet. Unsere technischen und wirtschaftlichen Kriterien zum lohnenden Einsatz von Partikelfiltern sind: Mindestanzahl von Fahrzeugen, attraktive Restlaufzeit und Restwert der Fahrzeuge sowie technische Voraussetzungen (z.B. Oxidationskatalysator).

Fahrzeuge, die noch nicht die EURO 2-Norm erfüllen (EURO 1 und älter), sind heute über 9 Jahre alt und werden deshalb nur ausnahmsweise nachgerüstet werden. Ihr Anteil an den Dieselpartikelemissionen im Innerortsbereich ist allerdings relevant: Er beträgt heute (2005) trotz eines Anteils von nur 7% an der Fahrleistung fast 40%.

Fahrzeuge, die die EURO 4-Norm erfüllen, haben schon heute ein deutlich niedrigeres Emissionsniveau als EURO 2-Fahrzeuge. Zudem werden diese Fahrzeuge nach dem Vorschlag der Bundesregierung zur Kennzeichnung in die beste Klasse eingestuft. Somit wird hier von einer geringen Nachrüstungsquote ausgegangen.

Der Anteil der für eine Nachrüstung geeigneten EURO 2- und EURO 3-Fahrzeuge an den Kfz-Emissionen im städtischen Bereich beträgt bei Dieselpartikeln im Jahr 2005 etwa 57%. Über die Hälfte der Emissionen stammt dabei von Diesel-Pkw.

Die Emissionen der Schwere Nutzfahrzeuge (SNF) nehmen in den nächsten Jahren etwas langsamer und insgesamt etwas weniger stark ab als die von Pkw. Bei Pkw und Nutzfahrzeugen wird der Anteil der EURO 2- und EURO 3-Fahrzeuge an den Partikelemissionen abnehmen. Während diese z.B. 2005 noch etwa 70% der Pkw Emissionen verursachen, sinkt der Anteil bis 2010 auf 50% (siehe Abb. 8).

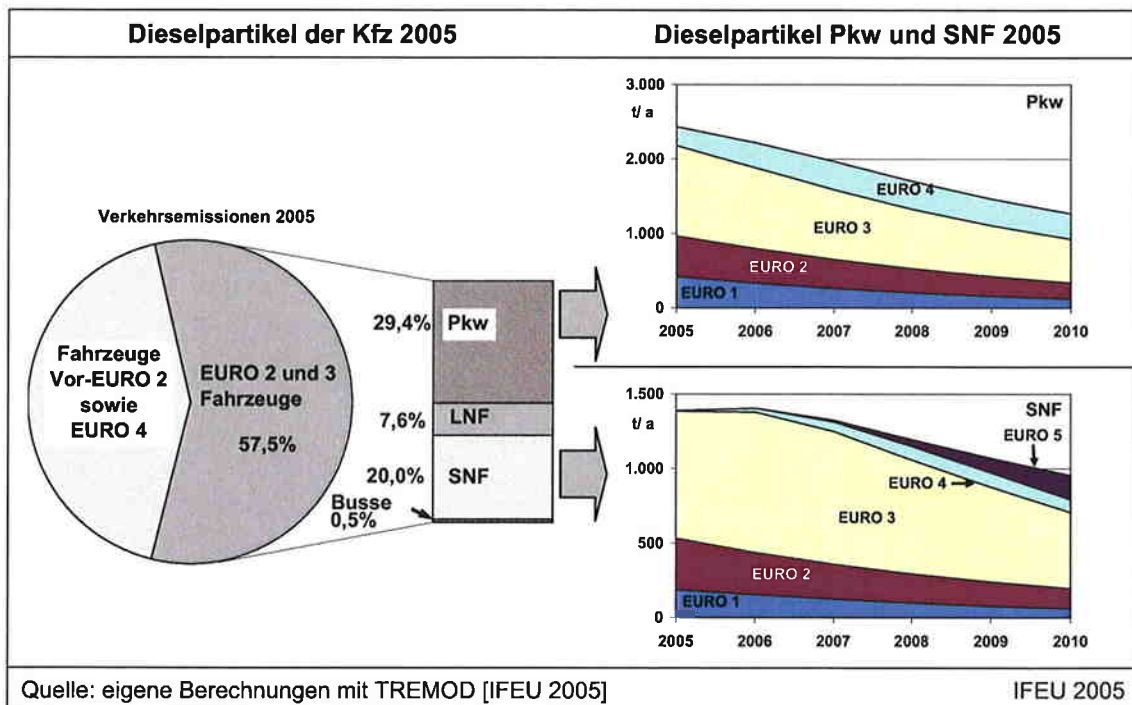


Abb. 8: Städtische Dieselpartikelemissionen in Deutschland

10 Die Nachrüstung mit Partikelfiltern reduziert die Dieselpartikelemissionen der Pkw um 30% und der Lkw um 60%

Die Dieselpartikelemissionen können bei Fahrzeugen des Bestandes mit nachträglich angebauten Partikelfiltern („Nachrüstung“) gesenkt werden. Dazu stehen verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Wirkungsweisen und Minderungsgraden zur Verfügung. Wie zuvor begründet, werden Partikelfilter hauptsächlich bei Pkw mit Oxidationskatalysatoren (EURO 2 und besser) und Lkw dieser Grenzwertstufen eingebaut werden.

Die Nachrüstung eines Partikelfilters wird nach dem aktuellen Vorschlag der Bundesregierung ([BMU 2005]) bei Pkw nur dann steuerlich gefördert, wenn eine Verbesserung um eine Grenzwertstufe und eine Minderung der Dieselpartikelemissionen um mindestens 30% nachgewiesen werden. In dieser Studie wird deshalb eine Reduktion der Partikelemissionen für Pkw mit 30% angesetzt. Das IFEU verwendet dabei Emissionsfaktoren, die reales Fahrverhalten abbilden und nicht auf dem Testzyklus für die EU-Grenzwertstufen (NEDC) basieren. Dabei erreichen EURO 2-Fahrzeuge etwa das Niveau der EURO 3-Fahrzeuge (siehe Abb. 9). Auf Außerortsstraßen und vor allem auf Autobahnen ist jedoch eine höhere Reduktion zu erwarten.

Für Lkw werden deutlich höhere Minderungen durch nachgerüstete Partikelfilter erwartet. Zurzeit werden Minderungen von 60% als Voraussetzung zur Zertifizierung diskutiert. Daher wird in dieser Studie für Lkw und Busse von einer 60%igen Reduktion ausgegangen. Die spezifischen Emissionen nachgerüsteter EURO 2-Fahrzeuge lägen damit etwas unter denjenigen der EURO 4-Fahrzeuge, EURO 3-Fahrzeuge lägen aufgrund des höheren Ausgangsniveaus noch etwas darüber.

Bei den leichten Nutzfahrzeugen gibt es sowohl Pkw-ähnliche, als auch Lkw-ähnliche Fahrzeuge. Dabei ist derzeit noch nicht genau abzusehen, wie groß der Anteil der Fahrzeuge ist, der den jeweiligen Klassen zugeordnet wird. Für die Szenarienberechnung wird daher von einer mittleren Minderung von 45% ausgegangen.

Katalytisch wirkende Partikelfilter reduzieren die kleinsten Abgaspartikeln in einem höheren Umfang als die zurzeit gesetzlich reglementierte Partikelmasse insgesamt. Dies ist dann von großer Bedeutung, wenn den sehr kleinen Partikeln eine sehr viel größere gesundheitsschädigende Wirkung zukommt (was vermutet wird) als den großen.

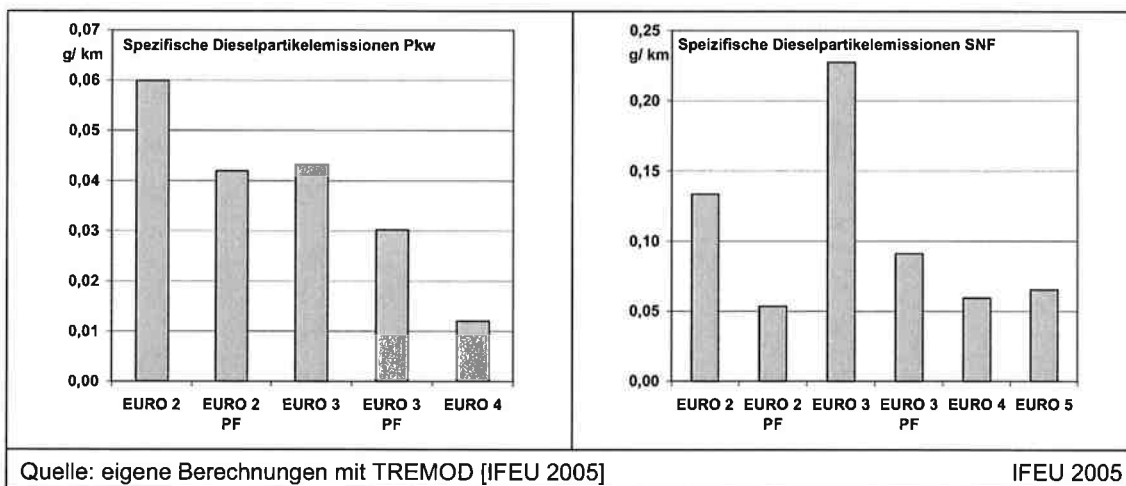


Abb. 9 Spezifische Dieselpartikelemissionen von Pkw und SNF im Stadtbereich (2007)

11 Die Nachrüstung mit Partikelfiltern kann die Dieselpartikelemissionen im Innerortsbereich kurzfristig um bis zu 21% senken

Mit nachgerüsteten Partikelfiltern sollen die Partikelemissionen des gesamten Innerortsverkehrs gesenkt werden. Diese Minderung hängt neben dem Wirkungsgrad des Filters insbesondere von der Durchdringung der Flotte mit Partikelfiltern ab. Die reale Nachrüstquote wird bestimmt von den Kosten der Systeme und den fiskalischen Anreizen, den technischen Randbedingungen, den Benutzervor- und -nachteilen bei selektiven Fahrverboten und auch der allgemeinen Akzeptanz der Nachrüstung.

Für eine Abschätzung der Wirkung der Nachrüstung von Partikelfiltersystemen wurden folgende Annahmen für die Szenariomodellierung getroffen:

- Umgerüstet werden Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie Busse.
- Die Umrüstungen erfolgen überwiegend im Jahr 2006.
- Bis zum Ende des Jahres 2006 sind 80% der EURO 2 und EURO 3-Fahrzeuge umgerüstet. Dann ist der Markt gesättigt, eine weitere Umrüstung findet nicht mehr statt. Damit sind 80% der EURO 2 und EURO 3-Fahrzeuge ab Anfang 2007 mit Partikelfiltern ausgestattet.
- Die spezifischen Partikelemissionen werden – wie oben dargelegt - bei den nachgerüsteten Pkw im Innerortsbereich um 30%, bei den leichten Nutzfahrzeugen um 45% und bei Lkw und Bussen um 60% reduziert.

In diesem Szenario werden bis zum Jahr 2007 über 6 Mio. Pkw und etwa 426.000 Lkw nachgerüstet. Die Emissionen der Dieselpartikel von Kfz würden unter diesen Annahmen im Innerortsbereich in Deutschland um über 21% zurückgehen (2007). Dabei tragen die schweren Nutzfahrzeuge aufgrund ihrer höheren Reduktion mit 10% fast die Hälfte dieser Minderung, die Pkw etwas mehr als ein Drittel. Der Minderungsanteil der Busse ist ihrer Fahrleistung entsprechend relativ gering.

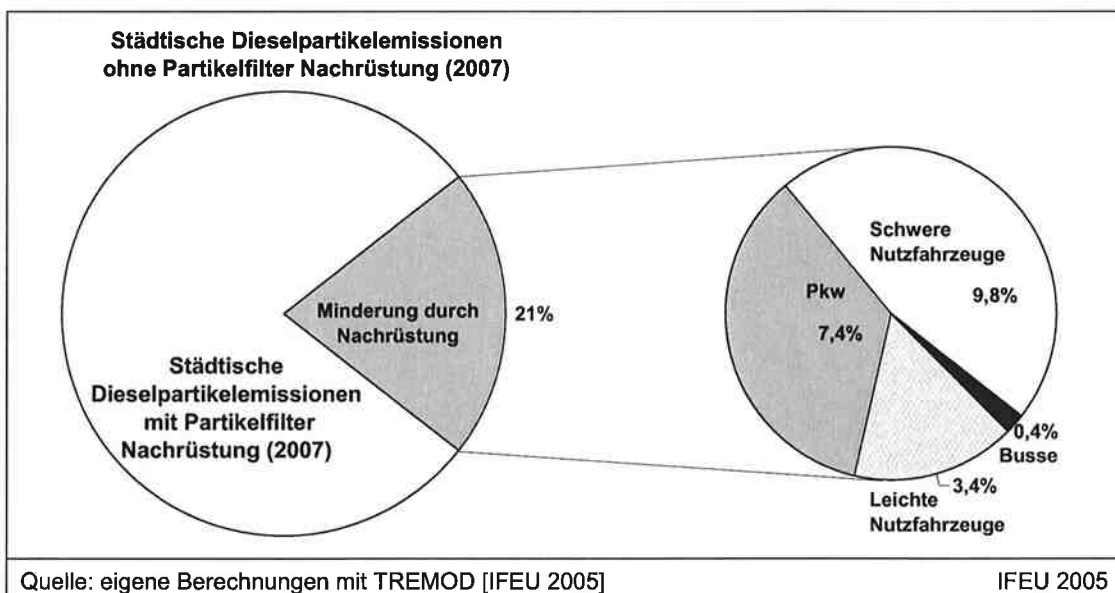


Abb. 10 Minderung der Dieselpartikelemissionen in Deutschland im Jahr 2007 durch Nachrüstung der Kraftfahrzeuge mit Partikelfiltern

12 Die Nachrüstung hat den größten Effekt, wenn Fahrzeuge baldmöglichst nachgerüstet werden

Die Minderung der Partikelemissionen durch die Nachrüstung hängt von der Zahl der nachgerüsteten Fahrzeuge, von der spezifischen Emissionsminderung sowie der Fahrleistung der ausgerüsteten Fahrzeuge ab. Der Entlastungseffekt für die Umwelt nimmt im Lauf der Jahre ab. Er ist umso größer, je früher diese Minderung einsetzt und je länger sie anhält.

Der für das Jahr 2007 mit 21% berechnete Effekt der Nachrüstung wird in den Folgejahren geringer. Denn einige Fahrzeuge scheiden durch Stilllegung, Unfälle oder auch Verkauf ins Ausland aus der deutschen Flotte aus. Daher sinkt – bei insgesamt abnehmenden Partikelemissionen – die jährliche prozentuale Partikelminderung durch die Nachrüstung in Deutschland (Abb. 11, links) bis zum Jahr 2015 auf etwa 12%.

Dass die Partikelminderung umso eher wirksam wird, je schneller die Nachrüstung einsetzt, ist trivial. Zudem zeigt sich, dass der über die Jahre aufsummierte („kumulierte“) Minderungseffekt der Dieselpartikelemissionen umso höher ist, je früher die Fahrzeuge mit Partikelfiltern ausgerüstet werden (Abb. 11, rechts).

Bei einer 80%-igen Ausstattung der EURO 2 und EURO 3-Fahrzeuge mit Partikelfiltern bis Ende 2006 würden die innerörtlichen Emissionen im Jahr 2007 um über 1.000 t gesenkt. Diese Minderungen nehmen von Jahr zu Jahr wegen der Außerbetriebsetzung von nachgerüsteten Fahrzeugen ab und erreichen bis zum Jahr 2020 eine Gesamtminderung von über 6.000 t Dieselpartikel im Innerortsbereich. Werden dagegen die geeigneten Kfz erst 2007 mit Partikelfiltern nachgerüstet, dann sind dies weniger Fahrzeuge. Die bis 2020 kumulierten Emissionen liegen bei etwa 5.000 t. Ein noch späteres Einsetzen der Nachrüstung lässt den Effekt weit geringer werden.

Weiterhin nimmt die durchschnittliche Kosteneffizienz (€/t Dieselpartikelreduktion) mit einem späteren Einsetzen der Nachrüstung wegen der kürzeren mittleren Nutzungsdauer der nachgerüsteten Fahrzeuge ab.

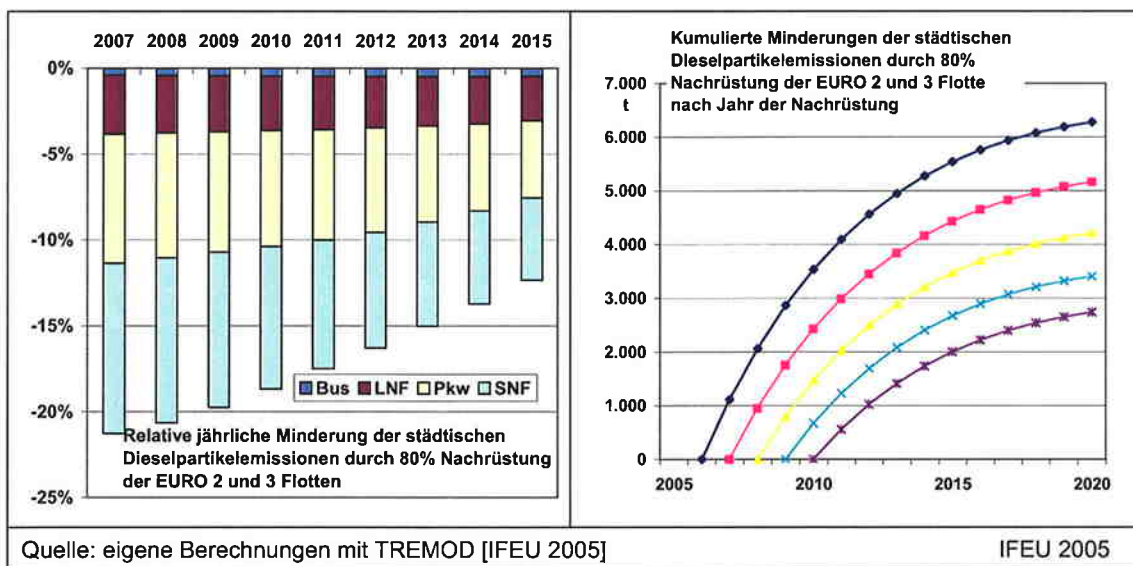


Abb. 11: Minderung städtischer Dieselpartikelemissionen durch Partikelfilternachrüstung

13 Die Nachrüstung von Kraftfahrzeugen mit Partikelfiltern reduziert die Feinstaubbelastung an hoch belasteten Straßen bis zu 6 %

Überschreitungen der EU-Grenzwerte für Feinstaub treten derzeit vor allem an hoch belasteten Straßen auf. An diesen hoch belasteten Straßen bewirkt eine Minderung der Dieselpartikelemissionen des Verkehrs um 21 % – wie es im Szenario für das Jahr 2007 ermittelt wurde – den größten Effekt: Bei einem Feinstaub-Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, an denen die Dieselpartikelemissionen aus dem Verkehr einen Anteil von 30 % haben, kann der Jahresmittelwert um über $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, also um rund 6 % abgesenkt werden.

Dazu tragen die Minderungen hauptsächlich aus dem lokalen Verkehr in der Nähe der Messstelle sowie aus dem städtischen Verkehr bei. Die Reduktionen werden zu 50% von schweren Nutzfahrzeugen und 37% von Pkw erbracht. In Abhängigkeit von der Verkehrszusammensetzung können an Hauptverkehrsstraßen auch andere Minderungsraten erreicht werden. Liegt der Lkw-Anteil höher als im durchschnittlichen Innerortsverkehr, können höhere Minderungen erreicht werden.

Durch lokale Maßnahmen (z.B. Straßensperrungen) wird die lokale Feinstaubkonzentration im Vergleich zum Einsatz von nachgerüsteten Partikelfiltern stärker gesenkt. Denn bei dieser Maßnahme fallen die Abgasemissionen aller Diesel-Kfz und diejenigen aus Abrieb und Wiederaufwirbelung weg. Allerdings wirkt diese Maßnahme nur während des Zeitraumes der Sperrung und zudem ausschließlich lokal. Sie entlastet daher die Anwohner der Straße. In der näheren Umgebung wird es durch Ausweich- und Umwegverkehrs eher zu einer höheren Belastung kommen.

Für die $\text{PM}_{2,5}$ -Belastung an Hauptverkehrsstraßen kann durch die Nachrüstung mit einer höheren Reduktion gerechnet werden. Während es sich bei Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen, die z. T. aus Prozessen mechanischer Zerkleinerung stammen, häufig um größere Partikel handelt, gehören die verkehrlichen Abgasemissionen fast ausschließlich zur $\text{PM}_{2,5}$ -Fraktion. Damit steigt der Anteil der verkehrlichen Abgase an der $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentration im Vergleich zur PM_{10} -Konzentration. Dies zeigen auch verschiedene Messungen aus der Schweiz für elementaren Kohlenstoff (EC) ([EMPA 2000]).

Liegt der Anteil der verkehrlichen Abgasemissionen an der $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentration an hoch belasteten Straßen bei angenommenen 35%, kann diese Immissionsbelastung durch eine Minderung der Dieselpartikelemissionen des Verkehrs um 21% - wie es im Szenario für das Jahr 2007 ermittelt wurde – um über 7,4% und damit stärker als bei einer Bilanzierung der PM_{10} -Belastung gesenkt werden.

Allerdings bleibt festzuhalten, dass die Unsicherheiten bei der Quantifizierung der $\text{PM}_{2,5}$ -Belastung noch größer sind als bei PM_{10} . Viele Quellen und Prozesse der Immissionsbelastung können nach dem heutigen Stand der Wissenschaft noch nicht genau beschrieben und quantifiziert werden.

14 Die Nachrüstung von Kfz mit Partikelfiltern senkt die Belastung an Spitzentagen und kann Grenzwertüberschreitungen vermindern

Neben einer Reduktion der mittleren jährlichen Belastung mit Feinstaub kann die Nachrüstung mit Partikelfiltern auch zu einer Reduktion der Tage mit Überschreitung des Tagesgrenzwertes an hoch belasteten Straßen führen. An diesen Belastungstagen können wegen des geringen Windes die lokalen Emissionen eine größere Rolle spielen. Hat der Verkehr also in einem Belastungsgebiet einen hohen Anteil an den Emissionen, dann kann der Einsatz von Partikelfiltern zu einer höheren Reduktion führen als im Jahresmittelwert.

Die Anzahl der Überschreitungstage mit einer Belastung über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist stark von der Meteorologie abhängig und damit von Jahr zu Jahr sehr verschieden. Dies zeigen auch die Daten der meteorologisch sehr unterschiedlichen Jahren 2003 und 2004 an der hoch belasteten Frankfurter Allee in Berlin (Abb. 12):

- 2003 kam es zu 96 Überschreitungen des Tagesgrenzwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 2004 war die Anzahl der Überschreitungstage mit 44 deutlich geringer.

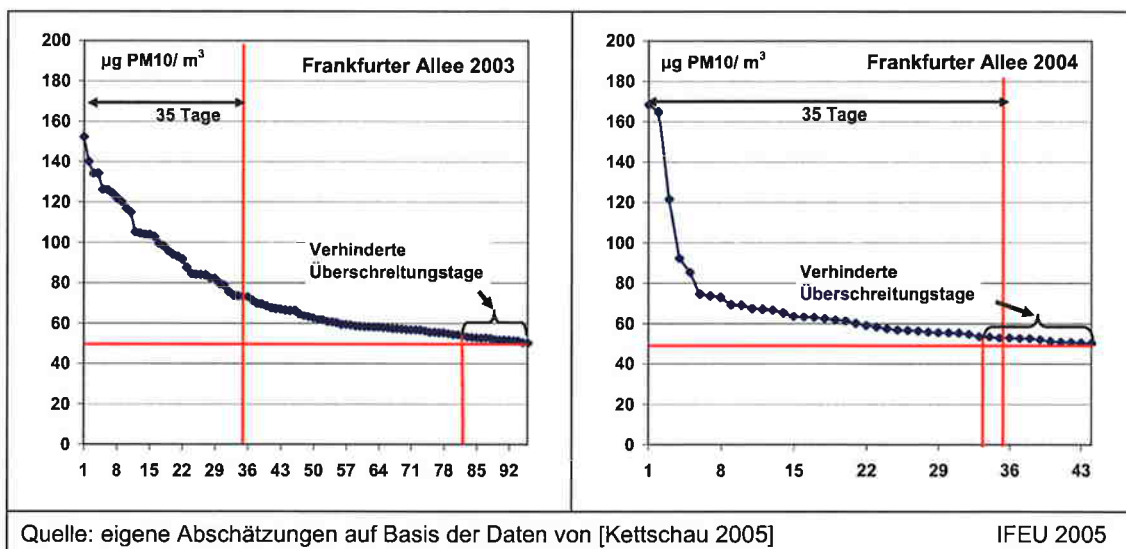


Abb. 12: Überschreitungstage des Tagesgrenzwertes für PM_{10} an der Frankfurter Allee

Wird der Überschreitungswert durch die lokalen Emissionen ebenso wie im Jahresdurchschnitt bestimmt, kann eine Reduktion der Dieselpartikel aus den verkehrlichen Abgasen zu einer Minderung der Überschreitungstage führen. Dies gilt insbesondere für die Tage, an denen der Tagesgrenzwert nur knapp überschritten wird.

Unter der Annahme, dass die verkehrlichen Abgasemissionen auch an Überschreitungstagen 30% zu der Immissionskonzentration an Hauptverkehrsstraßen beitragen, hätte eine 21%ige Absenkung der Dieselpartikelemissionen aus dem Kfz-Verkehr an der Frankfurter Allee:

- im Jahr 2003 14 Überschreitungstage und
- im Jahr 2004 11 Überschreitungstage

verhindern können. Damit kann die Nachrüstung mit Partikelfiltern auch einen u. U. relevanten Beitrag zum Unterschreiten der Luftgrenzwerte leisten.

15 Die Nachrüstung von Kraftfahrzeugen mit Partikelfiltern bewirkt eine Reduktion der gesundheitlichen Belastung der gesamten Bevölkerung

Bei der Gesundheitswirkung von Feinstaub spielt nicht nur die Höhe der Belastung an Spitzentagen, sondern auch die Belastungsdauer und die Anzahl der betroffenen Bevölkerung eine Rolle. Die Fokussierung von Maßnahmen auf die Überschreitung von Tagesgrenzwerten an hoch belasteten Straßen ist für eine Reduzierung der gesundheitlichen Wirkungen nur begrenzt sinnvoll.

Für die Feinstaubbelastung gibt es keinen gesundheitlichen Schwellenwert, so dass von einer linearen Korrelation zwischen Feinstaubbelastung und gesundheitlichen Schäden ([WHO 2002], [UBA 2003]) ausgegangen wird. Daher führt jede Minderung der Feinstaubkonzentration zu einer Reduktion der Gesundheitsbelastung. Je höher die Zahl der durch eine Minderungsmaßnahme entlasteten Menschen ist, desto größer sind auch die Auswirkungen auf die gesellschaftliche Gesundheit.

Bei einer Minderung der Dieselpartikelemissionen des Verkehrs um 21% – wie es im Szenario für das Jahr 2007 ermittelt wurde – wird die Belastung im städtischen Hintergrund um bis zu 4,3% abgesenkt, wenn den direkten Dieselpartikelemissionen ein Beitrag zur Hintergrundbelastung von 20% zugeschrieben wird. Eine ähnliche Reduktion ist auch für $PM_{2,5}$ zu erwarten. Bei einer durchschnittlichen jährlichen PM_{10} -Belastung von etwa $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ resultiert daraus eine Minderung von etwa $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Diese Minderung der Belastung des „städtischen Hintergrunds“ ist erwartungsgemäß kleiner als an so genannten „Hot Spots“ mit hoher Verkehrsbelastung. Durch die Nachrüstung der Flotte mit Partikelfiltern wird jedoch nicht nur die Bevölkerung direkt an hoch belasteten Straßen entlastet, sondern in allen Bereichen, die von der PM_{10} -Belastung berührt sind. Die gesundheitsrelevante Entlastung erstreckt sich also auf die gesamte Bevölkerung (80 Mio. Menschen) und ist daher in jedem Fall erheblich: *„Effektiver aus humanhygienischer Sicht erscheinen somit Strategien, die eine signifikante Reduktion der Exposition der Gesamtbevölkerung zum Ziel haben“* ([Schneider 2004]).

Partikelfilter sind damit geeignet, die gesundheitliche Belastung der Bevölkerung nicht nur direkt an den belasteten Straßen, sondern insgesamt zu reduzieren.

Bei nur lokal wirksamen und zeitlich begrenzten Maßnahmen besteht die Gefahr, dass Ausweich- und Umwegverkehre dazu führen, dass die gesundheitliche Belastung direkt an der Straße zwar reduziert, die Belastung der Bevölkerung insgesamt allerdings erhöht wird.

16 Zusätzlich zur Minderung der Dieselpartikelemissionen können durch einen Partikelfilter die direkten NO₂ Emissionen gesenkt werden

Neben der Feinstaubbelastung wird in den nächsten Jahren verstärkt die erwartete Überschreitung der zukünftigen EU-Grenzwerte für Stickstoffdioxid (NO₂) in den Mittelpunkt der Anstrengungen zur Schadstoffminderung rücken. Schon heute werden in zahlreichen deutschen Städten die Grenzwerte für 2010 deutlich überschritten. Ein Trend zu einer deutlichen Minderung zeichnet sich nicht ab.

Für die Stagnation dieser Luftbelastung an Hauptverkehrsstraßen werden zum einen die zunehmend ländlicheren Verhältnisse von NO, NO₂ und Ozon verantwortlich gemacht, die für ein zunehmend größeres Verhältnis von NO₂ zu NO verantwortlich sind. Zusätzlich zeigen auch aktuelle Untersuchungen der Luftbelastung an deutschen Autobahnen, dass auch der steigende Anteil der direkten NO₂-Emissionen aus dem Auspuff von Diesel-Kfz eine zusätzliche Ursache der nicht abnehmenden bzw. teilweise zunehmenden NO₂-Belastung sein kann ([Höpfner 2005]). Des Weiteren lassen aktuelle Emissionsmessungen an Fahrzeugen erkennen, dass insbesondere die in den letzten Jahren zunehmend verkauften Diesel Pkw hohe Anteile von Stickstoffdioxid an den Stickoxiden der Abgase aufweisen ([IFEU 2004a]).

Einige der im Markt angebotenen Partikelfiltersysteme benötigen zur Reduktion der abgeschiedenen Partikel das aus dem Motor emittierte NO₂. Dabei wird der im Filter abgeschiedene Ruß mit NO₂ zu CO₂ und NO umgewandelt. Für eine vollständige Reaktion muss das NO₂ zu Ruß-Verhältnis 7,666 betragen. Dazu muss jedoch eine Temperatur von mindestens 180°C erreicht werden. Theoretische Überlegungen zeigen, dass eine Minderung der Partikelemissionen um 30% mit einer NO₂-Minderung um etwa 50% einhergeht.

Somit führen bestimmte nachgerüstete Partikelkatalysatoren zu einer Minderung der NO₂-Konzentrationen des motorischen Abgases von Diesel-Kfz und dürften daher auch zu der sehr erwünschten Minderung der innerörtlichen NO₂-Luftbelastung beitragen.

Allerdings können wir an dieser Stelle keine Quantifizierung derartiger Effekte leisten. Zum einen wird eine solche Minderung der NO₂-Emissionen des Abgases nur bei unbeschichteten Partikelfiltern realisiert, die etwa 75% der Nachrüstungen ausmachen. Zum zweiten unterliegt der Anteil von NO₂ an den von der EU regulierten NO_x-Emissionen großen Schwankungen und hängt stark von der verwendeten Nachbehandlungstechnologie ab ([IFEU 2004a]). Zum weiteren ist das Ausmaß der NO₂-Absenkung durch einen nachgeschalteten Partikelfilter erst wenig zuverlässig beziffert. Schließlich steht eine Quantifizierung des Anteils aus, den die direkten NO₂-Emissionen der Kfz zu den zu hohen NO₂-Belastungen in den Städten leisten.

Dennoch gilt, dass eine Nachrüstung mit einem unbeschichteten Partikelfilter tendenziell die ansonsten in unbeeinflusster Höhe emittierten NO₂-Emissionen von Diesel-Kfz vermindert. Dies ist ein noch nicht quantifizierbarer, aber in seiner Richtung dem Umweltschutz sehr willkommener Nebeneffekt einer Nachrüstung.

17 Schlussfolgerungen

Verschiedene technische Maßnahmen haben in den letzten Jahren bei wichtigen Schadstoffen zu einem erheblichen Rückgang der verkehrlichen Emissionen geführt. So konnte die Luftbelastung im Hinblick auf diese Schadstoffe entscheidend verbessert werden. Für Dieselpartikel und NO_x war der Emissionsrückgang geringer. Die damit assoziierte Feinstaub- und NO_2 -Konzentration ist daher in den letzten Jahren kaum zurückgegangen oder sogar gestiegen, so dass heute und auch zukünftig Grenzwertüberschreitungen zu erwarten sind.

Die Nachrüstung von älteren Fahrzeugen mit einem Partikelfilter kann dazu beitragen, die direkten Emissionen von Dieselpartikeln und NO_2 zu senken. Für Dieselpartikel wurde die Wirkung einer Nachrüstung für verschiedene Nachrüstungsszenarien und Belastungssituationen quantifiziert. Die Reduktion der Partikelmasse im Innerortsbereich wurde dabei für Pkw mit 30%, für leichte Nutzfahrzeuge mit 45% und für Busse und schwere Nutzfahrzeuge mit 60% angesetzt.

Die für eine Nachrüstung als geeignet identifizierte Flotte (EURO 2 und EURO 3-Fahrzeuge) trägt heute einen beträchtlichen Teil (etwa 65%) zu den verkehrlichen Dieselpartikelemissionen bei. Bei einer Nachrüstung von 80% dieser Fahrzeuge bis Ende 2006 können die verkehrlichen Dieselpartikelemissionen des Jahres 2007 um bis zu 21% gesenkt werden. Fast die Hälfte dieser Reduktion geht auf die Minderungseffekte bei den schweren Nutzfahrzeugen zurück. Findet die Nachrüstung zu einem späteren Zeitpunkt statt, reduziert sich ihre Wirksamkeit auf die Gesamtemission, da die Zahl der für eine Nachrüstung geeigneten Fahrzeuge und deren Lebensdauer abnehmen. Die Nachrüstung ist daher vor allem ein Übergangsinstrument, welches die Emissionen kurzfristig senken und damit eine Verbesserung der Luftqualität bewirken kann.

Der Einfluss des Verkehrs auf die Feinstaubkonzentration an einer hoch belasteten Straße ist begrenzt. Denn die verkehrsbedingten Abgasemissionen sind dort nur zu knapp einem Drittel für die Feinstaubbelastung verantwortlich. Zudem hängt die Höhe Feinstaubbelastung stark von der meteorologischen Situation ab.

Bei den Auswirkungen einer Nachrüstung auf die Luftqualität sind daher zwei Effekte zu unterscheiden:

- **Grenzwertüberschreitungen** treten vor allem an hoch belasteten Straßen auf. Hier ist die Reduktionswirkung der Nachrüstung am größten (bis zu rund 6 %), so dass die Nachrüstung zur Einhaltung der Grenzwerte beitragen kann. Eine Entlastungswirkung für die gesundheitlich wohl relevantere $\text{PM}_{2,5}$ -Belastung wäre höher.
- Zur Reduzierung der **gesundheitlichen Auswirkungen** ist vor allem eine Entlastung der gesamten Bevölkerung anzustreben. Da es für Feinstaub keinen Schwellenwert gibt, kommt es hier nicht nur auf die Höhe der Entlastung an, sondern auch auf die Entlastungsdauer und die Anzahl der entlasteten Personen. Hier wirkt der Einsatz eines Partikelfilters ganzjährig und im gesamten Bundesgebiet.

Damit trägt die Nachrüstung mit Partikelfiltern sowohl zur Einhaltung der Feinstaubgrenzwerte als auch zur gesundheitlichen Entlastung der Bevölkerung bei. Sie ist nicht diejenige Maßnahme, die allein eine wesentliche Minderung der Feinstaubbelastung bewirken kann. Aber sie ist sicherlich eine derjenigen Maßnahmen, die nicht nur lokal und temporär wirken.

18 Quellenverzeichnis

- [ARTEMIS 2005] Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems (ARTEMIS). Europäisches Messprogramm. Internet Präsenz: <http://www.trl.co.uk/artemis/>.
- [Berlin 2004] A. v. Stüpenagel: Luftgütemessdaten. Jahresbericht 2003. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. Berlin 2004.
- [BMU 2005] Gesetzentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zur Förderung besonders partikelreduzierter Personenkraftwagen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. <http://www.bmu.de/verkehr/downloads/doc/7037.php>.
- [BlmSchV 1996] 23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationsgrenzwerten). 23. BImSchV. Bundesregierung 1996.
- [EMPA 2000] C. Hüglin: Anteil des Strassenverkehrs an den PM₁₀- und PM_{2,5}-Immissionen. Chemische Zusammensetzung und Quellenzuordnung mit einem Rezeptormodell. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Dübendorf 2000.
- [EU 1996] Richtlinie über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. 1996/62/EG. Rat der Europäischen Union 1996.
- [EU 1999] Richtlinie über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. 1999/30/EG. Rat der Europäischen Union 1999.
- [EU 2000] Richtlinie über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. 2000/69/EG. Rat der Europäischen Union 2000.
- [EU 2002] Richtlinie über den Ozongehalt der Luft. 2002/3/EG. Rat der Europäischen Union 2002.
- [Hainsch 2004] A. Hainsch: Ursachenanalyse der PM₁₀-Immission in urbanen Gebieten am Beispiel der Stadt Berlin. Fakultät III - Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin. Dissertation. Berlin 2004.
- [Höpfner 2005] U. Höpfner: Transport and air pollution in urban areas - an overview of the past and the current situation in Germany. Konferenz/ Workshop: European Energy and Transport Forum. Working Group 4 "Sustainable Development Policies". Meeting, Friday 20 May 2005. Brüssel 2005.
- [IFEU 1999] U. Lambrecht et al.: Immissionsnaher Risikovergleich von Diesel- und Ottoabgasen. Auswirkungen zukünftiger Emissionsgrenzwerte auf die Luftqualität und Gesundheit. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Heidelberg 1999.
- [IFEU 2004a] U. Lambrecht und F. Dünnebeil: Screening aktueller Kfz-Abgasmessungen in Hinblick auf den Anteil von NO₂ an den NO_x-Emissionen. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Screening Studie für das Umwelt und Verkehrsministerium Baden-Württemberg. Heidelberg 2004.
- [IFEU 2004b] U. Höpfner: Emissionen und Immissionen in Deutschland: Eine aktuelle Bestandsaufnahme. Konferenz/ Workshop: ADAC-Fachtagung. Berlin 2004.

- [IFEU 2005] W. Knörr: Fortschreibung "Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 - 2020", Erstellung und Aktualisierung der Software TREMOD - Transport Emission Model. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Ab 1993 im Auftrag des UBA und seit 2000 der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)/BMVBW; dazu Kooperationsabkommen mit dem Verband der Automobilindustrie, Frankfurt; mit dem Mineralölwirtschaftsverband, Hamburg; mit der Deutschen Bahn AG; laufende Arbeiten. Heidelberg 2005.
- [INFRAS 2004] Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr. INFRAS in Zusammenarbeit mit IFEU. Software. Version 2.1.
- [IUTA 2004a] T. Kuhlbusch et al.: Bericht zum Workshop. Konferenz/ Workshop: PMx Quellenidentifizierung. Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne. 2004.
- [IUTA 2004b] T. Kuhlbusch et al.: Feinstaubquellen in Rheinland-Pfalz. Konferenz/ Workshop: Workshop PMx-Quellenidentifizierung. Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne. Duisburg 2004.
- [IUTA 2004c] T. Kuhlbusch et al.: Quellenidentifizierung für Staub (PM₁₀, PM_{2.5}) im urbanen Ballungsraum des westlichen Ruhrgebiets. Konferenz/ Workshop: Workshop PMx-Quellenidentifizierung. Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne. Duisburg 2004.
- [IUTA 2004d] U. Quass et al.: Identifizierung von Quellgruppen für die Feinstaubfraktion. Insitut für Energie- und Umwelttechnik e.V. Im Auftrag vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV). Duisburg 2004.
- [Kettschau 2005] A. Kettschau: Luftqualitätsdaten Berlin. Text Datei.
- [Lutz 2004a] M. Lutz: Überblick über die Schwerpunkte, Herkunft und Verursacher der Luftverschmutzung in Berlin. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung. Berlin 2004.
- [Lutz 2004b] M. Lutz: Luftreinhalteplanung in einer Großstadt wie Berlin: Untersuchung der Wirkung und Umsetzbarkeit von konkreten Maßnahmen. Konferenz/ Workshop: Workshop PMx-Quellenidentifizierung. Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne. Duisburg 2004.
- [LUWG RLP 2005] Aktuelle Luftmesswerte. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Internet. <http://www.luft-rlp.de/aktuell/messwerte/>.
- [Schneider 2004] J. Schneider: Gesundheitseffekte durch Schwebestaub. Konferenz/ Workshop: PMx-Quellenidentifizierung: Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne. Mülheim/Ruhr 2004.
- [UBA 2003] H.-E. Wichmann: Abschätzung positiver gesundheitlicher Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen in Deutschland. Umweltbundesamt. Berlin 2003.
- [UBA 2004] Episodenhafte PM₁₀-Belastung in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 2000 bis 2003. Umweltbundesamt. Berlin 2004.
- [UBA 2005] Aktuelle Immissionsdaten. Umweltbundesamt. Internet. <http://www.env-it.de/luftdaten/trsyear.fwd>.
- [WHO 2002] World Health Report 2002. Weltgesundheitsorganisation (WHO). Genf 2002.