



GSF – Forschungszentrum
für Umwelt und Gesundheit
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Feinstaub – Kleine Partikel mit großer Wirkung

Am 01. Januar ist die EU-Richtlinie 1999/30/EG zur Begrenzung von Feinstaubemissionen in Kraft getreten. Im Jahresmittel dürfen seither nur noch 40 Mikrogramm Feinstaub in einem Kubikmeter Luft enthalten sein. Ausnahmen sind für maximal 35 Tage pro Jahr zugelassen, an denen wiederum höchstens 50 Mikrogramm erreicht werden dürfen. Diese zugelassene Überschreitung wurde bereits nach drei Monaten in mehreren deutschen Großstädten übertreten und löste kontroverse Debatten über Ursachen und Maßnahmen zur lufthygienischen Verbesserung aus.

Der FLUGS- Fachinformationsdienst bietet mit dem vorliegenden Papier aktuelle Hintergrundinformationen zu Quellen, Mengen, Wirkung und gesundheitlichen Risiken von Feinstaub.

1. Begriffe und Einheiten

Die Erdatmosphäre und damit der unmittelbare Lebensraum des Menschen ist ein Aerosol, ein Zweiphasensystem bestehend aus Gas- und Partikelphase.

Sämtliche dieser in der Luft verteilten Feststoffe werden - unabhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung - unter den Begriffen „Staub“ oder „Partikel“ zusammengefasst. Ihre Größe liegt zwischen 0,001 und 100 Mikrometern (μm). Für den Menschen bedeutsam sind vor allem die Feinstäube.

Man teilt partikelförmige Stoffe nach ihrem aerodynamischen Durchmesser folgendermaßen ein:

Gesamtschwebstaub (Total Suspended Particulates, TSP) umfasst bei der derzeit üblichen Messung Partikel mit einem Durchmesser $< 15 \mu\text{m}$. (Bei älteren gravimetrischen Messungen reichte der Partikeldurchmesser bis $35 \mu\text{m}$).

Der inhalierbare Schwebstaub umfasst Partikel $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) *. Im deutschen Sprachraum spricht man auch vom PM_{10} -Feinstaub.

Der lungengängige Feinstaub umfasst Partikel $< 2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) Im deutschen Sprachraum spricht man auch von $\text{PM}_{2.5}$ -Feinstaub. Im englischen Sprachraum hingegen unterscheidet man zwischen fine particulates ($\text{PM}_{2.5}$) und coarse particulates (PM_{10} - $\text{PM}_{2.5}$)

Die ultrafeinen Partikel umfassen Partikel $< 0,1 \mu\text{m}$ (UP). Sie können nicht nur tief in die Atemwege eindringen sondern auch in die Blutbahn übertreten.

*PM: Particulate Matter

Welche gesundheitlichen Wirkungen Feinstaub haben kann, hängt von verschiedenen physikalischen und chemischen Parametern der Partikel ab. Relevante Faktoren sind Größe, Masse, Anzahlkonzentration, Oberfläche und Struktur der Partikel.

Mit Blick auf die Lungengängigkeit der Partikel wird eine Größe von 2,5 Mikrometern und darunter als maßgeblich erachtet.

Die Massenkonzentration von Feinstaub wird in Milligramm, Mikrogramm oder Nanogramm pro Kubikmeter Luft angegeben. Üblich ist auch die Angabe PM, (Particulate Matter). PM₁₀ beinhaltet beispielsweise alle Partikel kleiner 10 Mikrometer.

Die Massenkonzentration wird als Parameter zur Beurteilung der Luftqualität herangezogen. Sie bestimmt sich vor allem aus der Menge an feinen Partikeln, ultrafeine Partikel tragen aufgrund ihrer geringen Masse wenig dazu bei.

Mit der Anzahlkonzentration wird die Partikelzahl in einem Luftvolumen angegeben. In deutschen Städten liegt sie im Mittel bei etwa zehn Milliarden Partikeln pro Kubikmeter Luft oder 10.000 Partikeln pro Kubikzentimeter. Im Gegensatz zur Massenkonzentration ist für die Anzahlkonzentration in den letzten Jahren ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Die Partikelkonzentration im Umweltaerosol unterliegt sowohl im Tages- wie auch im Jahresgang erheblichen Schwankungen. Emissionen aus Autoabgasen folgen einem typische Tagesgang (s. Abb.). Aber auch die Jahreszeit und das Wetter beeinflussen maßgeblich, wie viele Partikel in der Luft verbleiben. So werden im Sommer generell geringere Konzentrationen gemessen als im Winter.

2. Natürliche und anthropogene Quellen von Feinstaub

Feinstäube stammen aus natürlichen und anthropogenen Quellen. Partikel natürlicher Herkunft werden vom Erdreich aufgewirbelt oder gelangen über Vulkanausbrüche in die Atmosphäre und werden über oft weite Strecken transportiert. Auch marine Aerosolpartikel aus den Meeren liefern einen zum Teil bedeutenden Beitrag zur Massenkonzentration Luft getragener Partikel. Bioaerosolpartikel wie Pollen, Pilzsporen, Bakterien oder mikroskopisch kleine Tier- und Pflanzenreste machen ebenfalls einen Teil der Partikel natürlicher Herkunft aus. Geogene und marine Aerosolpartikel bergen aus medizinischer Sicht in der Regel kein erkennbares Risiko.

Die Aufmerksamkeit der Aerosolwissenschaftler richtet sich auf anthropogen erzeugte Partikel. Sie entstammen im Wesentlichen dem Auspuff von Diesel betriebenen Personen- und Lastkraftwagen, den Schornsteinen von Industrieanlagen und Kraftwerken sowie dem Hausbrand. Auch beim Abrieb von Bremsen, Autoreifen und Straßenbelag werden Partikel freigesetzt.

3. Emission und Immission

Insgesamt wurden in beiden Teilen Deutschlands bis 1970 zusammen noch weit mehr als drei Millionen Tonnen Gesamtstaub jährlich (Mio t/Jahr) durch Verbrennungsvorgänge, Umschlag von Schüttgütern und andere Produktionsprozesse emittiert. Bis 1990 gingen die Staubemissionen in den westlichen Bundesländern – insbesondere dank der Staubabscheidung in den Großanlagen der Kraftwerke und der Industrie sowie durch Brennstoffumstellungen – von circa 1,4 Mio t/Jahr auf 0,4 Mio t/Jahr zurück. In den neuen Bundesländern verblieben die Gesamtemissionen bis 1990 auf einem hohen Niveau von mehr als 1,5 Mio t/Jahr.

In den Jahren 1990 bis 1995 fand in Deutschland ein weiterer signifikanter Rückgang der Gesamtstaubemissionen von 1,9 Mio. t/Jahr auf 0,3 Mio. t/Jahr statt (270 Kilotonnen/Jahr).

Dieser Rückgang wurde überwiegend in den neuen Ländern erzielt. Dafür gibt es einen einfachen Grund: In den neuen Bundesländern wurden in dieser Zeit viele veraltete Feuerungs- und Industrieanlagen stillgelegt, effektivere Filtersysteme eingebaut sowie fast alle „Trabis“ gegen moderne Kraftfahrzeuge ersetzt. Weiteren Einfluss hatte die Umstellung von festen Brennstoffen auf erheblich emissionsärmere flüssige und gasförmige Brennstoffe – vor allem in den kleineren Feuerungsanlagen. In den folgenden Jahren war der Rückgang der Staubemissionen deutlich geringer. So sank die Gesamtstaubemission von 270 kt/Jahr im Jahr 1995 auf 209 kt/Jahr im Jahre 2002.

Hauptverursacher der Gesamtstaubemissionen in Deutschland waren im Jahre 2002 Industrieprozesse mit 45 Prozent und der Schüttgutumschlag mit 21 Prozent. Im Straßenverkehr ausgestoßene Staubpartikel machten 2002 bundesweit 17 Prozent der Gesamtstaubemissionen aus. Rechnet man allerdings die nicht verbrennungsbedingten Emissionen des Straßenverkehrs wie Reifenabrieb, Emission von der Straßenoberfläche und der Bremsabrieb hinzu, steigt der Anteil der Gesamtstaubemissionen aus dem Sektor Verkehr auf 33 Prozent.

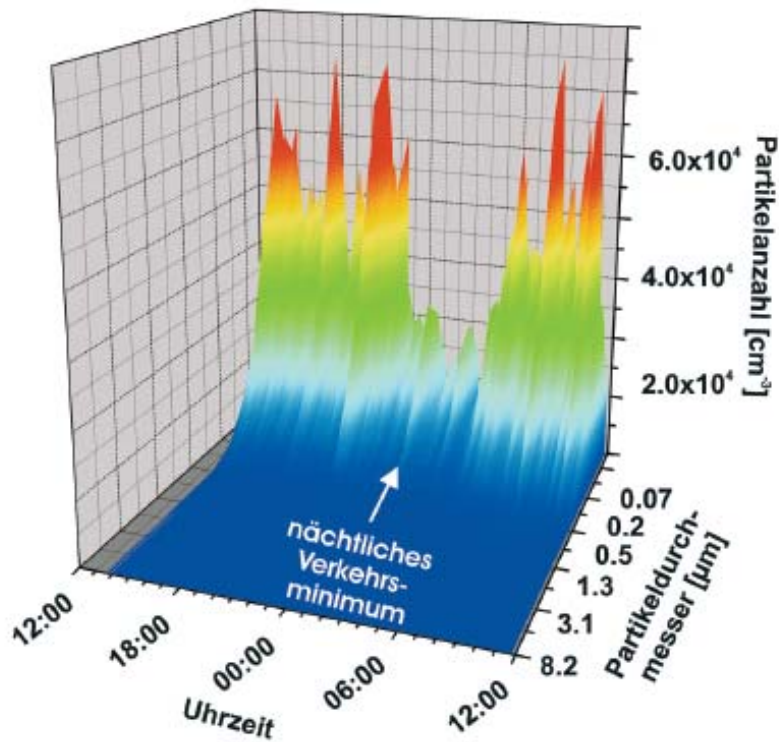
Der Anteil der jährlichen Feinstaubemissionen (PM₁₀), der durch den Verkehr verursacht wurde, lag im Jahre 2002 bei 51 Prozent (26 % abgasbedingt und 25 % sind auf die Staubaufwirbelung, Abrieb der Straßenoberfläche sowie Reifen und Bremsen zurückzuführen). Zwischen den einzelnen Bundesländern können diese Werte jedoch deutlich variieren. In Baden-Württemberg etwa waren die Abgase der Kraftfahrzeuge für 34 Prozent der produzierten Partikel PM₁₀ verantwortlich.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Entwicklung der Staubemissionen in Deutschland von 2000 bis 2003 sowie eine Schätzung der Feinstaubemission PM₁₀. Die Aufstellung der Anteile sagt allerdings nichts über den Beitrag der Quellen zu den gesundheitlichen Risiken aus. Diese hängen vielmehr von der Toxizität der jeweiligen Partikel ab und davon, in welchem Umfang die Bevölkerung gegenüber der jeweiligen Quelle exponiert ist.

Staubemissionen in Deutschland 2000, 2002 und 2003 - Schätzung der Feinstaubemission PM 10										
Quellgruppe	Gesamtstaubemissionen gemäß UNECE 2005			Anteil Feinstaub 1) (in %)	Feinstaubemissionen			Anteil an der gesamten Feinstaubemission		
	2000	2002	2003		2000	2002	2003	2000	2002	2003
	(in kt)	(in kt)	(in kt)		(in kt)	(in kt)	(in kt)	(in %)	(in %)	(in %)
Industrieprozesse 2)	103,0	95,1	95,4	60	61,8	57,1	57,3	39,9	40,4	41,5
Schüttgutumschlag	44,0	44,0	44,0	20	8,8	8,8	8,8	5,7	6,2	6,4
Kraft- und Fernheizwerke	11,3	11,6	11,9	95	10,7	11,0	11,3	6,9	7,8	8,2
Industriefeuerungen	3,1	3,2	3,1	95	3,0	3,0	2,9	1,9	2,1	2,1
Haushalte / Kleinverbraucher	22,1	20,9	20,9	97	21,4	20,2	20,2	13,8	14,3	14,7
Verkehr, verbrennungsbedingt 3)	43,0	34,8	30,9	100	43,0	34,8	30,9	27,7	24,6	22,4
Verkehr, Reifenabrieb 4)	62,8	63,7	64,6	10	6,3	6,4	6,5	4,1	4,5	4,7
Insgesamt	289,2	273,2	270,7	fallend	155,0	141,2	137,8	100,0	100,0	100,0
1) HuK (Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV) gem. III 2.3 Herr Weiss (in UBA-Texte 41/03, /5/); sonstige Quellgruppen gem. III 2.2 Herr Remus aus einer Abschätzung für das Bezugsjahr 1996: 90-100 % bei gefassten Punktquellen mit effektiven Abscheidern, 80 % bei teilweise gefassten Quellen mit gereinigten Abgasströmen und 30 % bei diffusen Prozessemissionen ohne Abgasreinigung. der verwendeten 10 % - Anteil beim Reifenabrieb liegt offenbar eher bei unter 9 % (vgl. "PAK Emission Rautenberg-Wulff.xls")										
2) inkl. Kohleaufbereitungsanlagen										
3) ohne Land- und Forstwirtschaft;										
4) folgende weitere nicht verbrennungsbedingte Emissionen wurden noch nicht berücksichtigt: Abrieb des Straßenbelags (erheblicher PM 10-Anteil) und der Bremsen (5,5-8,5 kt/a im wesentl. PM 10, davon kleiner als PM 2,5 ca. 30 %).										
Genauere PM10-Emissionsangaben in der Datei "PAK ..." (s.o.) vom 11.3.05 (5,5 kt 2000, 5,6 kt 2002 und 5,7 kt 2003)										

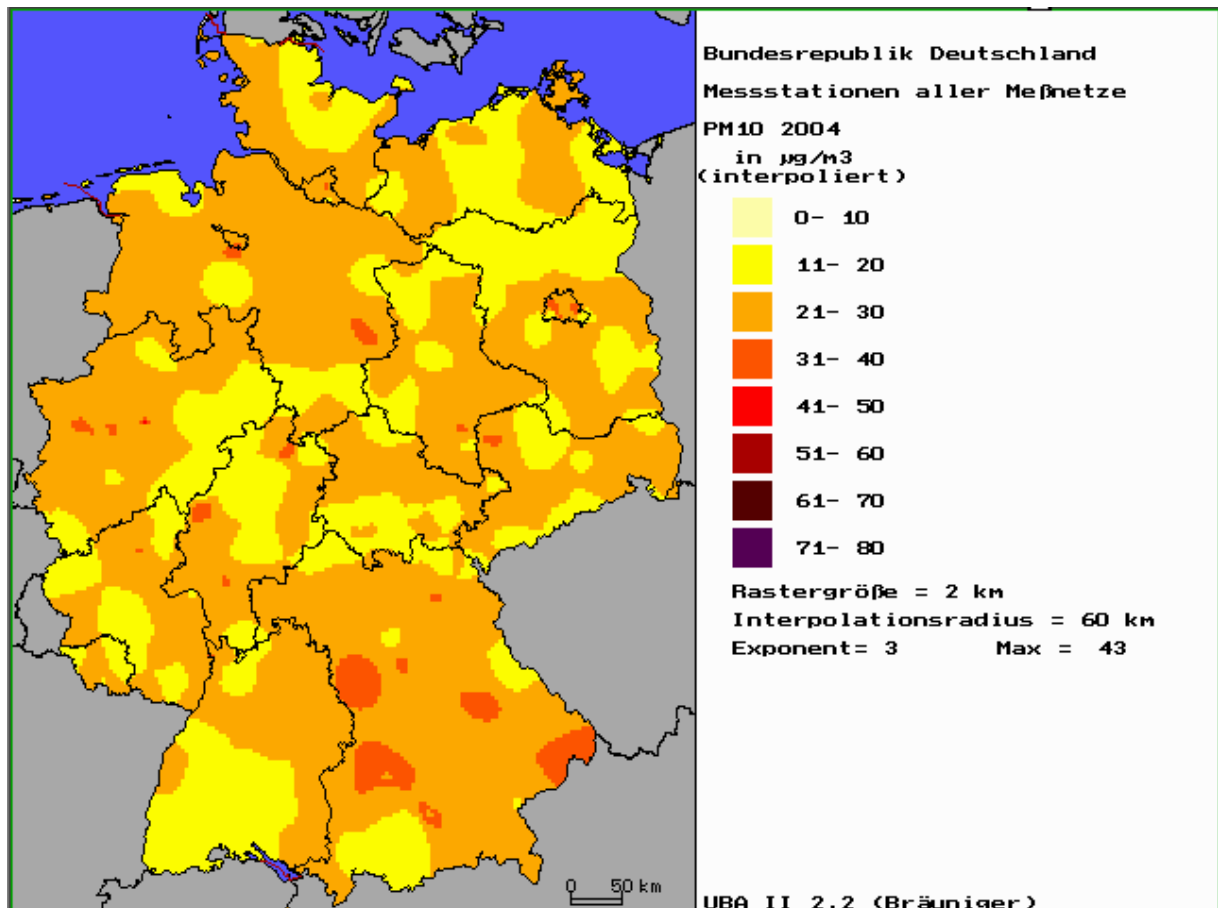
Quelle: Umweltbundesamt

An deutschlandweit etwa 420 Messstationen wird zurzeit die Massenkonzentration von Partikeln kleiner als $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) erfasst. In wenig befahrenen ländlichen Gebieten erreichen die Konzentrationen nur Größenordnungen von $10\text{-}18\ \mu\text{m}$. In der Nähe städtischer Quellen werden oft doppelt bis dreifach so hohe Werte gemessen. Spitzenwerte von $70\text{ bis }150\ \mu\text{m}$ treten vor allem in der Nähe von viel befahrenen Straßen und in Industriegebieten auf. Besonders in engen Straßenschluchten, die senkrecht zur Hauptwindrichtung ausgerichtet sind, kann die partikelförmige Luftbelastung stark ansteigen.



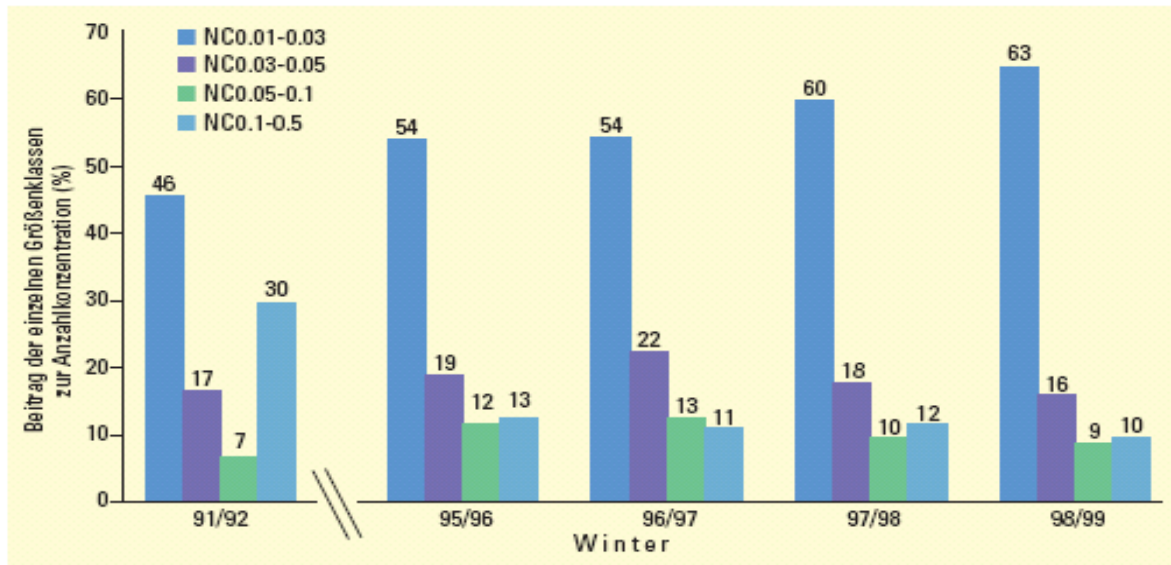
Nachmittags- und Morgenverkehr sind in der grafischen Auswertung deutlich an hohen Emissionswerten (rot) bei kleinen Partikeln erkennbar.
Quelle: R. Zimmermann

Die kartographische Dokumentation von Jahresmittelwerten der Partikelkonzentration für PM_{10} , wie sie vom Umweltbundesamt zusammengestellt wird, dient dabei lediglich der Orientierung. Eine kleinräumige Interpretation ist daraus aufgrund der weiträumigen Betrachtungsweise nicht möglich.



Quelle: Umweltbundesamt

Um sichere Aussagen über zeitliche Trends in der Partikelbelastung für PM_{10} und $PM_{2,5}$ machen zu können, sind die Zeitreihen an den meisten Messstationen noch zu kurz. Es deuten sich in den letzten Jahren allerdings mehr oder weniger deutliche Abnahmen der Belastung an. Etwas anders ist dies bei den ultrafeinen Partikeln, hier werden in Erfurt, der einzigen Station, an welcher diese seit mehr als zehn Jahren dokumentiert werden, schwankende Verläufe sowie bei der kleinsten Fraktion von 10-30 Nanometern eine deutliche Zunahme des prozentualen Anteils festgestellt.



7-Jahres-Trend der relativen Anzahlkonzentration (in Prozent) für verschiedene Partikelgrößenklassen (0.01-0.03, 0.03-0.05, 0.05-0.1, 0.1-0.5 μm) in Erfurt, Winter 1991/92 bis 1998/99. Der Anteil in der kleinsten Größenklasse steigt kontinuierlich an.

Quelle: J. Cyrus

4. Transport und Verbleib der Partikel im Körper

Ob inhalede Aerosolpartikel ein Gesundheitsrisiko darstellen, hängt natürlich auch davon ab, wo die Partikel im Atemtrakt abgeschieden werden, und wie lange sie dort verbleiben. Eine wesentliche Frage ist auch, wie effektiv die Partikel wieder aus der Lunge ausgeschieden und ob sie in sekundäre Gewebe und Organe transportiert werden.

Neben Größe und Form der Partikel bestimmt das Atemmuster, wo Partikel abgeschieden werden: So werden zum Beispiel bei einem schnellen Atemzug die Teilchen im Wesentlichen in Mund- und Rachenraum sowie den großen Bronchien abgeschieden. Dagegen gelangen bei langsamen, tiefen Atemzügen Partikel in die Lunge bis zu den Alveolen.

Ultrafeine Partikel können in die Blutbahn übertreten. Auch in Leber, Herz und sogar im Gehirn wurden im Tierversuch ultrafeine Partikel (UP) gefunden, sie machen allerdings nur einen kleinen Anteil der insgesamt inhaleden UP aus. Offensichtlich haben sie aber über die Blutzirkulation Zugang zu jedem Organ. Hier besteht Forschungsbedarf

5. Gesundheitliche Bedeutung von feinen und ultrafeinen Partikeln

5.1 Kurz- und Langzeitwirkungen

Die amerikanische Umweltbehörde EPA hat 2004 eine umfassende Bewertung von Feinstäuben vorgelegt. Darin hält sie fest, dass die Exposition gegenüber Feinstaub negative gesundheitliche Auswirkungen auf Menschen mit Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen hat. Diese Einschätzung beruht sowohl auf der Bewertung epidemiologischer Studien zur Kurzzeiteexposition als auch der Bewertung toxikologischer Studien sowie dosimetrischer Evidenz.

Die Liste der dokumentierten Kurzzeiteffekte ist lang: Sie reicht von erhöhten Mortalitätsraten, vermehrten Krankenhausaufnahmen und Arztbesuchen wegen Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen bis hin zu Veränderungen des Herzrhythmus, des EKGs sowie anderer Funktionsparameter des Herz-Kreislauf-Systems und der Atemwege.

Studien zur Langzeiteexposition gegenüber Feinstaub ergeben einen Anstieg der Sterblichkeit an kardiopulmonalen Ursachen und Lungenkrebs. Der Verlust an Lebenserwartung in der Bevölkerung kann dabei die Größenordnung eines Jahres erreichen. Die Langzeitstudien zeigen ferner, dass die Feinstaubexposition zu chronischen Atemwegserkrankungen oder vermindertem Lungenwachstum führen kann. Das Fatale zudem: Möglicherweise erhöht chronische Feinstaubexposition auch die Empfindlichkeit gegenüber akuten Veränderungen in der Feinstaubbelastung.

Ältere Erwachsene, Kinder und Kranke sind als empfindliche Gruppen anzusehen. Neuere Studien weisen darauf hin, dass es genetisch vorbelastete Bevölkerungsgruppen geben könnte, die auf Feinstaubbelastungen stärker reagieren. Auch gibt es Teile in der Bevölkerung, die aufgrund ihres sozioökonomischen Status von Feinstaubwirkungen stärker betroffen sind, oder weil sie an stark befahrenen Strassen oder in der Nähe anderer Quellen wohnen.

Die epidemiologischen Studien geben keine Hinweise auf eine Schwelle bei den Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Feinstaubexposition und Mortalität im Konzentrationsbereich, der von diesen Studien abgedeckt wurde. In der Praxis der Grenzwertfestsetzung geht man derzeit von einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung aus.

5.2 Unterschiede im Risiko nach Größe und Chemie der Partikel

In Hinblick auf die Partikelgröße zeigen die vorhandenen Studien, dass sowohl grobe als auch feine und ultrafeine Partikel Einfluss auf Mortalität und Krankheitsgeschehen nehmen. Die Datengrundlage ist am überzeugendsten für feine Partikel ($PM_{2.5}$). In Hinblick auf die chemische Zusammensetzung spielen Partikel aus Verbrennungsprozessen die größte Rolle. Für Partikel $PM_{10-2.5}$ ist offen, wie groß möglicherweise der Beitrag biogener Prozesse (Endotoxine, Schimmelpilze) am Gesundheitsrisiko ist. Unwahrscheinlich ist, dass Erdkrustenpartikel, die vom Wind verweht werden, mit negativen Gesundheitseffekten assoziiert sind.

Eine begrenzte Zahl von Studien deutet darauf hin, dass ultrafeine Partikel zusätzlich zu feinen Partikeln gesundheitliche Auswirkungen in Hinblick auf Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf Erkrankungen und die Sterblichkeit haben. Demnach könnten feine Partikel nicht als Indikatoren für ultrafeine Partikel verwendet werden.

5.3 Abgrenzung zu Wirkungen gasförmiger Luftschadstoffe

Immer wieder wird die Frage gestellt, ob sich die beobachteten Gesundheitseffekte von Feinstaub von den möglichen Auswirkungen gasförmiger Luftschadstoffe abgrenzen lassen. Obwohl die Partikelkonzentrationen mit den Konzentrationen zahlreicher Gase korrelieren, lässt sich zumindest für die Kurzzeitwirkungen eine derartige Abtrennung zufrieden stellend durchführen. So konnte durch die Auswertung epidemiologischer Studien mit „Mehrschadstoffmodellen“ nachgewiesen werden, dass Feinstaub bedeutsamer ist als gasförmige Schadstoffe wie etwa Ozon, NO₂, SO₂ und CO. Die Abgrenzung der Langzeitwirkungen verschiedener Schadstoffe voneinander ist dagegen schwieriger.

6. Emissionsminderungsmaßnahmen

Mit Ausnahme der natürlichen Quellen sind an allen Feinstaubquellen Reduzierungen möglich. In Bezug auf Industrie- und Feuerungsanlagen enthält die neue TA Luft nun auch für PM₁₀ Angaben zu Genehmigungsvoraussetzungen. Bei den derzeit laufenden Novellierungsverfahren für die 1. und 13. BImSchV (Klein- und Großfeuerungsanlagenverordnungen) wird die Feinstaubfrage ebenfalls berücksichtigt.

Das Umweltbundesamt diskutiert auch Emissionsminderungsmaßnahmen in anderen Emittentenbereichen (Landwirtschaft), auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll.

6.1 Maßnahmen im Straßenverkehr

Maßnahmen im Verkehrsbereich zielen im Wesentlichen auf eine Reduzierung der Feinstaubemissionen bei den Kfz-bezogenen Verbrennungsprozessen.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurde im Jahr 2003 das Potential der Emissionsminderung durch den Einsatz von Rußfiltern bei Dieselfahrzeugen abgeschätzt. Man ging dabei davon aus, dass Dieselfahrzeuge zur Feinstaubbelastung in Deutschland einen Beitrag von 3 µg/m³ PM_{2.5} liefern. Daraus ergibt sich rein rechnerisch, dass bei einer angenommenen sofortigen Ausstattung aller Dieselfahrzeuge mit Rußfiltern die Lebenserwartung der deutschen Bevölkerung um cirka zwei Monate ansteigen würde. Unter Berücksichtigung von Sensitivitätsanalysen ergibt sich eine Spanne von ein bis drei Monaten. Natürlich liegen diesen Zahlen zwangsläufig stark vereinfachte Annahmen zugrunde, so dass sie nur als grobe Annäherung an die tatsächlichen Gegebenheiten verstanden werden.

Warum ist gerade den Dieseldieselrußemissionen eine so zentrale Rolle in der Feinstaubproblematik zuzuschreiben? Bekanntlich sind die Komponenten des Feinstaubes von höchst unterschiedlicher Toxizität. Vereinfacht kann man davon ausgehen, dass primär die Partikel gesundheitsrelevant sind, die aus Verbrennungsprozessen stammen. Berücksichtigt man ferner, dass PM_{2.5} an straßennahen Messstationen fast doppelt so hoch ist wie im städtisch-ländlichen Hintergrund und dass der Beitrag von Diesel-Pkw und -Lkw mehr als 90% der Rußemissionen in Deutschland ausmacht, wird die Bedeutung der Dieselfahrzeuge für die Frage des Gesundheitsrisikos durch Feinstaub klar.

Literaturauswahl

GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (2005): Großes Netzwerk für kleine Teilchen - Aerosolforschung in der GSF – in Vorb.

Heinrich, J. et al. (2002): Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub: Epidemiologie der Langzeiteffekte. – Umweltmed Forsch Prax 7(2):91-99

Kappos, A. et al. (2003): Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft – Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. Umweltmed Forsch Prax 8, 257-278

Peters, A. et al. (2002): Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub: Epidemiologie der Kurzzeiteffekte. – Umweltmed Forsch Prax 7(2):101-15

Wichmann, H.-E. (2002): Dieselruß und andere Feinstäube – Umweltproblem Nummer Eins? – In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 62 Nr.1/2- Editorial

Wichmann et al (2002, aktualisierte Fassung 2005): Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub. - ecomed Verlag Landsberg

Wichmann, H.-E. (2004): Positive gesundheitliche Auswirkungen des Einsatzes von Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen – Risikoabschätzung für die Mortalität in Deutschland – Umweltmed Forsch Prax 8(2):85-99

Umweltbundesamt (2005): Hintergrundpapier zum Thema Staub/Feinstaub (PM). – Berlin 2005

Zimmermann, R. (2004): Erfassung und Analytik von Fein- und Ultrafeinstäuben. – In: Handbuch für Bioklima und Lüftthygiene – 11. Erg.Lfg. 4/2004

Internetseiten

Aktuelle Immissionsdaten des Umweltbundesamts
<http://www.env-it.de/luftdaten/map.fwd?measComp=PM1>

GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit: Ultrafeine Teilchen schädigen Herz und Gefäße
http://www0.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/m_1_04_web.pdf

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

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin: Werkstatt Feinstaub
http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/werkstatt_feinstaub/

Umweltbundesamt: Studie zur Abschätzung positiver gesundheitlicher Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen in Deutschland von Prof. Dr. H.- Erich Wichmann, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
<http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2352.pdf>

Umweltbundesamt: Hintergrundinformationen zum Thema Feinstaub (März 2005)
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/feinstaub.pdf>

Weltgesundheitsorganisation (WHO): Information zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung, Luftqualitätsrichtlinien der WHO
<http://www.euro.who.int/air>

Stand: Mai 2005

Ulrike Koller, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, ÖA-FLUGS
Wissenschaftl. Beratung: Prof.Dr.Dr.H.-E.Wichmann, Direktor des GSF-Instituts für Epidemiologie