

Luftverschmutzung durch Partikel

Ein Handlungsfeld für „Public Health“

Joachim Groß

Das Risiko, an den Folgen der Luftverschmutzung zu erkranken, ist zwar für das Individuum gering, es betrifft jedoch die ganze Population und erreicht daher gesamtgesellschaftlich große Ausmaße. Neuere epidemiologische Untersuchungen belegen das Risiko. Trotz insgesamt sauberer Luft in den Industrieländern gibt es jetzt mehr ultrafeine Partikel, die toxikologisch bedenklicher sind als die früher vorwiegend vorhandenen gröberen Partikel. Als Quelle der ultrafeinen Partikel gelten vorwiegend Dieselmotoren zu finden. Der Autor geht auf die aktuelle Diskussion um Dieselmotoren ein.

Seitdem der homo sapiens gelernt hat, mit Feuer umzugehen, ist er auch mit dem Problem der Luftverschmutzung durch Rauch konfrontiert. Eine Exposition gegenüber Partikeln in der Atemluft ist zudem nicht nur durch anthropogene Quellen wie zum Beispiel der Verbrennung von Holz, Kohle und Erdöl gegeben. Etwa 90 Prozent der globalen Kontamination der Atmosphäre mit Partikeln hat natürliche Ursachen. Diese sind vorwiegend Vulkanausbrüche, aufgewirbelter Staub in trockenen Gegenden und Meeressalzkern durch die aufgewirbelte Gischt der Weltmeere. Bereits im London des Mittelalters wurde die Luftverschmutzung durch Holz- und Kohlenfeuer als sehr störend wahrgenommen (1):

„By reason likewise of the Smoak it is, that the Air of the City, especially in the Winter time, is rendered very unwholesome: For in case there be no Wind, and especially in Frosty Wheather, the City is cover'd with a thick Brovillard or Cloud, which the force of the Winter-Sun is not able to Scatter; so that the Inhabitants thereby suffer under a dead benumbing Cold, being in a manner totally depriv'd of the warmths and comforts of the Day...when yet to them who are but a Mile out of Town, the Air is sharp, clear, and healthy, and the Sun most comfortable and reviving“

Kontakt:

Dr. med. Joachim Groß
Facharzt für Arbeitsmedizin - Sozialmedizin - Umweltmedizin
Lengfelderstraße 34
97078 Würzburg
Tel. 0931/280101
E-Mail: gross.joachim@web.de

Einen gewissen Wendepunkt markierte die große Smog-Episode in London 1952, die nach epidemiologischen Berechnungen mehrere Tausend Todesfälle gefordert hat. In Deutschland allerdings nahm man bis in die Siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts die Luftverschmutzung als eine unvermeidbare Begleiterscheinung der Industrialisierung hin¹.

Politiker sahen die Luftverschmutzung als einen zu zahlenden Preis für die Segnungen des materiellen Fortschritts. In den industrialisierten Ländern des Nordens wurde seit den Achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts nicht nur erreicht, dass, entgegen der Voraussagen des „Club of Rome“ der Produktionsfortschritt von einem steigenden Energieverbrauch abgekoppelt wurde. Mehr Produktivität bedeutet seither nicht mehr automatisch ein Mehrverbrauch an Energie. Zudem machte der technische Fortschritt und das in den Industrieländern vorhandene Kapital möglich, Kraftwerke mit Entschwefelungsanlagen und Kraftfahrzeuge mit Katalysatoren auszurüsten. Der „schmutzige“ Kohleofen vieler Privathaushalte wurde in den vergangenen drei Jahrzehnten durch wesentlich sauberere Erdgasanlagen ersetzt. Durch alle diese Maßnahmen zusammen konnte erreicht werden, dass sich die Luftqualität in Europa und Nordamerika in den letzten 20 Jahren bezüglich der toxikologisch relevanten Hauptmarker Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x) und Kohlenwasserstoffe (VOC) deutlich gebessert hat.

¹ Herbert Grönemeyer sang über seine Heimatstadt Bochum: „Tief im Westen, dort wo die Sonne verstaubt...“

Diese Erfolgsgeschichte erscheint leider nur bei einer verengten Betrachtung der Industrieländer in solch positivem Licht. Sie sollte jedoch nicht darüber hinweg täuschen, dass die Luftverschmutzung, global gesehen, deutlich zunimmt. Eine Abschätzung der WHO über die 10 größten Ursachen für verlorene Lebensjahre aus dem Jahr 1996 nennt neben den bekannten Ursachen Mangelernährung, schlechte Wasserqualität, ungeschützter Geschlechtsverkehr (mit HIV/HBV/HCV-Problematik), Tabak, Alkohol, Arbeitsplatz, Bluthochdruck, Bewegungsmangel und illegalen Drogen die Luftverschmutzung als Hauptrisiko (2). Am Weltkindertag am 7. April 2003 wurden mangelnde Trinkwasserqualität und verschmutzte Luft als Hauptursache für umweltbedingte Erkrankungen genannt. Fünf Millionen Kinder sterben weltweit jährlich an den Folgen (3). In den wachsenden Megastädten Asiens wie Bangkok, Bombay, Neudelhi, Kalkutta, Peking und Shanghai haben industrielle Luftverschmutzung und Autoverkehr dermaßen zugenommen, dass die Abgasfahnen dieser Siedlungsgebiete aus dem Weltall nicht nur bei Inversionswetterlagen leicht zu erkennen sind². Auch in der dörflichen Umgebung Asiens, Südamerikas und Afrikas haben viele Menschen lediglich offene Holzfeuer als einzige Kochgelegenheit. Entsprechend sind die Expositionen gegenüber Holzrauch und deren nachteilige Folgen wie chronisch obstruktive Atemwegserkrankungen. Auch die WHO sieht die Luftverschmutzung in Innenräumen durch die Verwendung von Festbrennstoffen als eine der wichtigsten Ursachen von umweltbedingten Erkrankungen.

Nicht nur in Asien, auch in Nordamerika und Europa ist das Thema Luftverschmutzung durch Partikel seit einiger Zeit wieder aktuell. In der Hauptsache hat dies drei Gründe, auf die im Detail eingegangen werden wird. Zum einen zeigen neuere epidemiologische Studien, dass das Risiko durch Partikel in der Atemluft heute besser quantifizierbar ist und so eindeutige Dosis-Wirkungs-Beziehungen auch für relativ niedrige Verschmutzungsbereiche zu errechnen sind. Weiterhin hat sich die Größenverteilung der Partikel deutlich zugunsten der ultrafeinen Partikel verändert, was weitreichende toxikologische Folgen hat. Schließlich zeigten Studien, dass Partikel nicht nur in der Lunge, sondern in peripheren Organen (z.B. Herz, Gefäßsystem, Immunsystem) wirken (4: 47 ff.). Dies führte dazu, dass selbst ein Kritiker des Umweltschutzes wie der dänische Statistikprofessor Björn Lomborg in der Luftverschmutzung durch Partikel das derzeit gravierendste umweltbedingte Krankheitsrisiko sieht (5: 143 ff.).

Veränderung der Partikelgrößen in industrialisierten Ländern

Die Größe der Partikel spielt bei deren Verhalten nach einer Inkorporation eine entscheidende Rolle (Tabelle 1). Während die früher dominierenden größeren Teilchen PM 10 (bis 10 µm) vorwiegend im Nasopharynx deponiert werden und mit einer Clearance von ein bis drei Tagen eliminiert werden, dringen die jetzt immer häufiger werdenden feinen (< 2,5 µm) und ultrafeinen (< 0,1 µm) Partikel bis tief in die Alveolen vor, wo sie nicht mehr vom mukoziliaren System eliminierbar sind. Die hier einsetzende Clearance

2 www.visibleearth.nasa.gov: Hier stehen NASA-Satellitenbilder der Luftverschmutzung für den Internet-Nutzer kostenlos zum Download bereit.

Abkürzung	Größe	Bezeichnung	Vorwiegende Deposition
TSP total suspended particulates	100-10 µm	Gesamt-schwebstaub	Nasopharynx
PM 10 Particulate Matter	< 10 µm	Inhalierbarer Schwebstaub	Nasopharynx
PM 2,5 = FP Fine Particles	< 2,5 µm	Lungengängiger Schwebstaub	Bronchial-Alveolär
PM 0,1 = UP Ultrafine Particles	< 0,1 µm	Lungengängiger Schwebstaub	Alveolär

Tab. 1: Größe der Teilchen

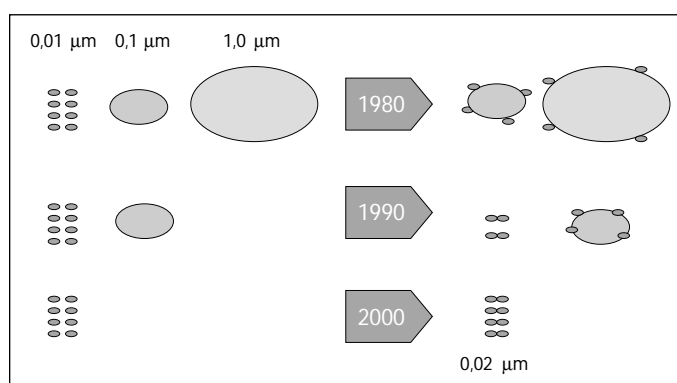


Abb. 1: Koagulation von Partikeln: Reinigender Effekt größerer Partikel (Quelle: WICHMANN et al. 2002)

durch Alveolarmakrophagen dauert mit 30 bis 3000 Tagen deutlich länger und erzeugt dadurch wesentlich längere Expositionszeiten. Bei einer Studie über mehrere Winter von 1991/92 bis 1998/99 in Erfurt zeigte sich, dass die Belastung durch PM 10 deutlich sank, während die Belastung mit ultrafeinen Partikeln signifikant anstieg (4 : 11). Als Ursache für die Zunahme der ultrafeinen Partikel werden mehrere Gründe genannt. Zum einen arbeiten moderne Heizungsanlagen mit einer optimierten, vollständigeren Verbrennung, so dass keine großen Rußflocken mehr entstehen. Modernere Dieselmotoren arbeiten bei direkter Einspritzung des Kraftstoffgemisches mit deutlich höheren Drücken als früher, so dass auch hier weniger und kleinere Rußpartikel entstehen. Weiterhin sind moderne Kraftwerke nicht nur mit Entschwefelungseinrichtungen, sondern auch mit Partikelfiltern ausgestattet, die grobe und mittelfeine Stäube und Partikel zurückhalten. Die Reduktion der Teilchen bis 10 µm hat aber auch eine negative Folge: Während früher ultrafeine Teilchen an viele größere Teilchen adsorbierten und durch deren schnellere Sedimentierung schneller aus der Atmosphäre verschwanden, finden ultrafeine Teilchen heute häufig keine größeren Teilchen mehr, an die sie sich anlagern können. Die Folge ist, dass sie, zu ultrafeinen Konglomeraten stabil verbunden, sehr lange in der Schwebelagere bleiben und mehrere Tausend Kilometer zurücklegen können (Abb. 1). Sie haben länger Zeit, mit atmosphärischen Gasen zu reagieren, können länger toxische und kanzerogene Substanzen wie N-Nitrosamine und polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe adsorbieren und können vor allem länger eingeatmet werden. Weiterhin spielen bei der Güte der Innenraumluft nicht die rasch

sedimentierenden gröberen Partikel der eingeführten Außenluft eine Hauptrolle, sondern die lange schwebenden ultrafeinen Partikel. Diese schlagen sich jedoch kaum als Hausstaub nieder, sondern bleiben längere Zeit in der Schwebe.

Epidemiologie der gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub

In vielen Studien seit Beginn der 90er Jahre wurde der Zusammenhang zwischen einer akuten Exposition gegenüber Feinstaubpartikeln und akuten gesundheitlichen Auswirkungen nachgewiesen. Die APHEA Studie (Air Pollution and Health, an European Approach) zeigte vermehrt Krankenhausaufnahmen und eine größere Mortalität bei Partikelbelastung (6). Andere Studien zeigten, dass Asthmatiker mehr Asthmamedikamente bei Partikelbelastung benötigen (7). Weitere Studien zeigen häufigere Arrhythmien, Verschlechterung von Lungenfunktionsparametern, Anstieg der Plasmaviskosität und Fibrinogen sowie vermehrte Frühgeburtlichkeit.

Auch Langzeiteffekte durch chronische Expositionen lassen sich epidemiologisch nachweisen. Bei einer Studie der American Cancer Society 1995 konnte nachgewiesen werden, dass höhere Konzentrationen von PM 2,5 mit einer höheren Gesamtsterblichkeit und kardiopulmonalen Sterblichkeit in 50 nordamerikanischen Städten einhergeht (8). Bei einer Studie an nichtrauchenden Seventh-day-Adventisten konnte der wichtigste Confounder, das Rauchen, als Ursache für die kardiopulmonale Übersterblichkeit sowie Lungenfunktionsveränderungen bei Partikelbelastung ausgeschlossen werden (9).

Extrapulmonale Wirkungen von ultrafeinen Partikeln

Zunehmend wächst die Evidenz, dass ultrafeine Partikel nicht nur am Ort ihrer Deposition, der Alveole wirken, sondern so klein sind, dass sie die Alveolarmembran zu durchdringen vermögen und mit dem Blutstrom verschleppt werden. Zudem scheinen ultrafeine Partikel eine ganze Kaskade an Akute-Phase-Reaktionen in Gang bringen. Eine der Hypothesen ist in Abb. 2 schematisch dargestellt. Nur so ist es zu erklären, dass in Studien immer wieder eine nachteilige Veränderung der Koagulabilität festzustellen ist (10).

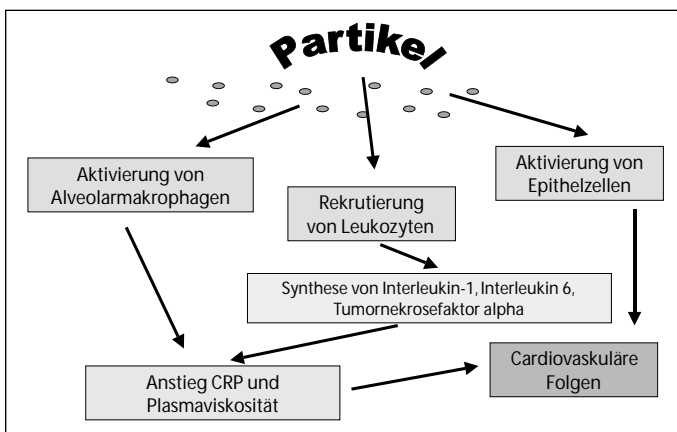


Abb. 2: Akute lungenferne Wirkungen von Partikelexpositionen

Verlorene Lebensjahre durch chronische Partikelbelastungen

Nach Berechnungen für die Niederlande von Brunekreef (1997) ist unter Annahme eines relativen Sterbe-Risikos von 1,10 pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM 10 bei einer Exposition über 15 Jahre bei Männern von 25 bis 75 Jahren basierend auf den Sterbetafeln der Niederlanden ein Verlust von 1,11 Lebensjahren anzunehmen (11). Langzeiteffekte auf Kinder und Personen unter 25 Jahren waren hierbei noch nicht einmal mit eingerechnet. Dies bedeutet, dass auch bei der gegenwärtigen Belastung der Luft mit Partikeln, die in Deutschland ähnlich hoch sein dürfte wie in den Niederlanden, auch nach den technischen Verbesserungen der letzten zwanzig Jahre noch mit einer deutlichen Sterblichkeit an Luftverschmutzung zu rechnen ist. Dies zeigt auch das enorme Präventionspotential, das Reinluftpolitik zur Krankheitsvermeidung hätte, wenn man es ernst genug nähme. Leider sind diese Effekte nur statistisch darstellbar, während die subjektive Erfahrung bei Krankheit oder Tod eines einzelnen Patienten weder für Angehörige noch für die Behörden den Zusammenhang mit der Luftverschmutzung zweifelsfrei zu erkennen gibt. Dies mag einer der Gründe sein, warum weder Betroffene, noch Medien oder Politik so heftig reagiert haben, wie beispielsweise bei der BSE-Krise, an der epidemiologisch gesehen sehr viel weniger Menschen sterben werden.

Der Straßenverkehr als wesentliche Quelle partikulärer Atemluftbelastung

Auf der Suche nach der Quelle ultrafeiner Partikel geben die zeitlichen Verläufe wesentliche Hinweise. So wurde bei der Erfurter Studie ein ausgeprägter Wochentagseffekt mit 40 % niedrigeren Konzentrationen am Wochenende festgestellt. Ein deutlicher Anstieg während der verkehrsreichen Stunden weist darauf hin, dass der Kraftfahrzeug-Verkehr eine wesentliche Quelle darstellt. Wie in der Abb. 3 zusammengestellt, ist bei den toxikologisch besonders kritischen ultrafeinen Partikel der Straßenverkehr als vorwiegende Quelle anzusehen (12). Eine Studie für Österreich, Schweiz und Frankreich aus dem Jahr 2000 zeigt, dass die Luftverschmutzung in den drei Ländern etwa 6 % der Gesamtsterblichkeit oder 40.000 Sterbefälle pro Jahr verursacht. Die Hälfte davon, also ca. 20.000 Sterbefälle, wurde den Verkehrsemissionen zugeschrieben, ebenso mehr als 25.000 neue Erkrankungsfälle an chronischer Bronchi-

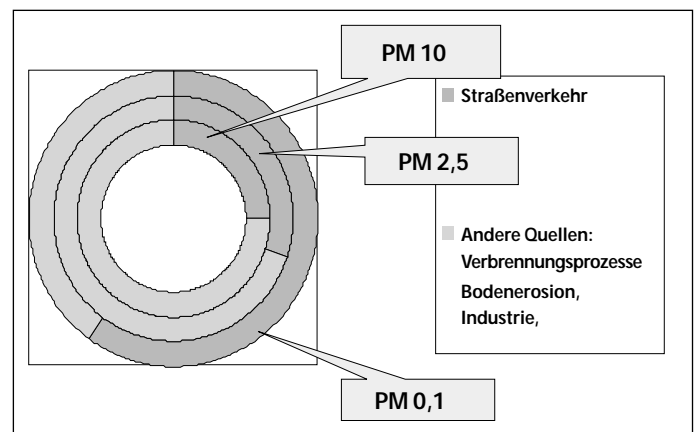


Abb. 3: Quellenzuordnung nach Größe der Partikel in Großbritannien 1996 (Quelle: Harrison RM et al. 1999)

tis bei Erwachsenen, mehr als 29.000 Bronchitis-Episoden bei Kindern, mehr als 500.000 Asthma-Attacken bei Kindern und Erwachsenen und mehr als 16 Millionen Personen-Tage mit eingeschränkter Aktivität pro Jahr (13).

————— Dieselfahrzeuge als Hauptverursacher

Eine Studie aus England zeigt auf, dass Dieselfahrzeuge, die dort nur etwa 6 % des Fahrzeug-Bestands ausmachen, etwa 92 % der gesamten Fahrzeugemissionen verursachen. (14). Dieselfahrzeuge sind in Deutschland in den letzten Jahren immer häufiger geworden. Gegenwärtig haben sie fast 40 % aller Neuzulassungen erreicht (15). Sie galten als umweltfreundlicher als Otto-Motoren, da sie etwa 25 % weniger Kraftstoff verbrauchen. Allerdings wird dieser Nachteil hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes durch den 20 % höheren Kohlenstoff-Anteil des Diesel-Kraftstoffes fast wieder aufgehoben. Der geringfügig geringere des CO₂-Ausstoß wird allerdings durch einen zur Zeit leider noch vielfach höheren Ausstoß an Partikeln erkaufte. Moderne Einspritztechnologien verringern zwar den Partikel-Ausstoß insgesamt, andererseits werden die noch ausgestoßenen Partikel immer kleiner und damit immer gefährlicher. Nach einer neuen epidemiologischen Studie ist in Deutschland mit etwa 10.000 bis 19.000 Todesfällen/Jahr durch Kfz-Abgase aus Dieselfahrzeugen zu rechnen, davon zwischen 8.000 und 17.000 durch Atemwegs- und Herz/Kreislaufkrankungen und zwischen ca. 1.100 und 2.200 Todesfälle/Jahr durch Lungenkrebs (16). Rein rechnerisch sind dies sind mehr Todesfälle durch Dieselabgase als durch Verkehrstote pro Jahr, die durch bessere Fahrzeuge und Strecken auf unter 7000/Jahr gesunken sind! Von der Politik ist zu fordern, dass Abgasgrenzwerte umgehend so anzusetzen sind, dass neuzugelassene Diesel-Kraftfahrzeuge nur noch mit Filteranlagen neue Partikelgrenzwerte erfüllen können. Von der Kraftfahrzeug-Industrie ist zu fordern, dass Neufahrzeuge umgehend nur noch mit Filteranlagen nach dem neuesten Stand angeboten werden. Zwar wurde auf der IAA im September 2003 von den Marken Mercedes, Audi und BMW für einzelne Modelle Partikelfilter in unmittelbarer Zukunft angekündigt. Diese Abgasreinigungsanlagen sollten jedoch für alle Fahrzeugtypen zur Verfügung stehen und nicht zusätzlich (bei Mercedes C- und E-Klasse ca. 580 €) bezahlt werden müssen. Für Altfahrzeuge sollten die von den Zulieferfirmen bereits entwickelten Nachrüstätze in der Fläche zur Verfügung stehen. Entsprechende Steuererleichterungen wie zur Nachrüstung von Otto-D3-Katalysatoren in den vergangenen Jahren sollten umgehend beschlossen werden. Durch Rußfilter könnte nach der o.g. Studie die mittlere Lebenserwartung zwischen einem und drei Monaten steigen.

————— Der Public-Health-Ansatz

Die obengenannten Fakten machen deutlich, dass ein vorbeugender gesundheitlicher Umweltschutz eine enormes Präventionspotential hat. In den bisherigen Diskussionen um die Gesundheitsreform wird immer wieder von mehr Prävention gesprochen, hierunter werden sinnvollerweise unter anderem Krebsvorsorgeuntersuchungen, Schutzimpfungen und pädiatrische Vorsorgeuntersuchungen verstanden. Prävention durch bessere Abgasreinigungssysteme wurde bislang hierbei nicht genannt. Es ist höchste

Zeit, dass der Gedanke von „Public-Health“ auch in Deutschland verbreitet wird und Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft ihrer Verantwortung für die Gesundheit bewusst werden. In der „Endstrecke“ bei der Behandlung von Krankheiten kann das deutsche Gesundheitswesen im internationalen Vergleich durchaus mithalten, jedoch blieb ein ganzheitlicher Ansatz für die Gesundheit einer ganzen Population bislang in den Kinderschuhen stecken. So ist in Deutschland, im Gegensatz zu anderen Ländern, kein detailliertes Public-Health-Impact-Assessment zum Gesundheitsrisiko durch Partikel durchgeführt worden. Dieses hätte deutlich genauere und detailliertere Aussagen liefern können, als derzeit aufgrund vereinfachter Modellannahmen möglich ist. Weiterhin ist ein Informationsdefizit bei der Messung von Partikelbelastungen zu bemängeln. Es werden flächendeckend nur PM 10 gemessen. Die Ultrafeinen Partikel, die als Verursacher der kardiovaskulären Erkrankungen und der Lungenkrebsfälle eher in Betracht kommen, werden oft nur in Einzelfällen und nur an wenigen Standorten kontinuierlich gemessen. Auch hier ist von der Politik zu fordern, für belastbare, flächendeckende Messdaten zu sorgen.

(Nach einem Vortrag, gehalten am 23.5.2003 auf der Umweltmedizinischen Tagung der Verbände dbu, DGUHT, IGUMED und ÖÄB in Würzburg)

Nachweise

- (1) BAUMOL, W. J. & W. E. Oates (1995): Long-run trends in environmental quality, in SIMON, J. (ed.): The State of Humanity, (Blackwell) Oxford: 448.
- (2) MURRAY, CH. J.L. & A. D. LOPEZ (ed.) (1996): The Global Burden of Disease: A Comprehensive Assessment of Mortality and Disability from Diseases, Injuries, and Risk Factors in 1990 and projected to 2020, (Harvard University Press) Cambridge MA, publ. by Harvard School of Public Health on behalf of the World Health Organization and the World Bank: 295-324.
- (3) WHO (2002): Shape the Future of Life, World Health Day 7. April 2003, Genf.
- (4) H.E. WICHMANN, J. HEINRICH & A. PETERS (2002): Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub, Fortschritte der Umweltmedizin, (ecomede-Verl.-Ges.) Landsberg, ISBN 3-609-16105.
- (5) LOMBORG, B. (2001): The Sceptical Environmentalist - Measuring the real state of the world, (Cambridge University Press): 143 ff., Deutsche Ausgabe (2002): Apokalypse: No! - Wie sich die menschlichen Lebensgrundlagen wirklich entwickeln, (Zu Klampen Verlag) Lüneburg 2002.
- (6) KATSOUYANNI, K., TOULOUMI, G., SPIX, C., SCHWARTZ, J., BALDUCCI, F., MEDINA, S. et al. (1997): Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: Results from time series data from the APHEA project, BMJ 314: 1658-1663.
- (7) PETERS, A., WICHMANN, H.E., TUCH, T., HEINRICH, J. & HEYDER, J. (1997): Respiratory effects are associated with the number of ultra-fine particles, Am J Respir Crit Care Med 155: 1376-1383.
- (8) POPE, C.A. 3RD, BATES, D.V. & RAIZENNE, M.E. (1995): Health effects of particulate air pollution: time for reassessment? Environ Health Perspect 103 (5): 472-480.
- (9) ABBEY, D.E., BURCHETTE, R.J., KNUSTEN, S.F., MC DONNEL, W.F., LOBOWITZ, M.D. & ENRIGHT, P.L. (1998): Long-term particulate and other air pollutants and lung function in nonsmokers, Am J Respir Crit Care Med 158: 289-298.
- (10) SCHWARTZ, J. (2001): Air pollution and blood markers of cardiovascular risk, Environ Health Perspect 109 Suppl 3: 405-409.
- (11) BRUNEKREEF, B. (1997): Air pollution and life expectancy: is there a relation? Occup Environ Med 54: 781-784.
- (12) HARRISON, R.M. et al. (ed.) (1999): Source apportionment of airborne particulate matter in the United Kingdom, The first report of the Airborne Particle Expert Group (APEG), Department of Environment, Transport and the Regions, London, Großbritannien.
- (13) KÜNZLI, N., KAISER, R., MEDINA, S. et al. (2000): Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment, Lancet 356: 795-801.
- (14) QUARG (1993): Diesel Vehicle Emissions and Urban Air Quality, Second Report of the Quality of Urban Air Review Group, www.aeat.co.uk/netcen/airqual/reports/quarg/q2intro.html
- (15) UBA (2003): Der Diesel der Zukunft - die Zukunft des Diesels, Hintergrundpapier des Umweltbundesamtes, Juli 2003, www.umweltbundesamt.de
- (16) WICHMANN HE (2003): Abschätzung positiver gesundheitlicher Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen in Deutschland, www.umweltbundesamt.de.