Feinstaub – eine gesundheitspolitische Herausforderung

U. Lahl
W. Steven

Extremely Fine Dust – A Challenge in Health Care Policy

Zusammenfassung

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass Feinstaub (Partikel – PM_{10}) schwere Gesundheitsschäden und ein Ansteigen der Sterblichkeitsrate infolge von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Lungenkrebs verursacht. Nach Untersuchungen der Weltgesundheitsbehörde (WHO) wurde im Jahr 2000 durch Partikel die durchschnittliche Lebenszeit aller Europäer (EU25) im Mittel um 8,6 Monate und in Deutschland sogar um 10,2 Monate verkürzt. Die WHO, die EU-Kommission sowie der National Research Council und die US-amerikanische Umweltschutzbehörde EPA stellen die Wirkung von Partikeln auf die menschliche Gesundheit als eines der gegenwärtig vorrangigen umwelthygienischen Schwerpunktthemen heraus.

In der 22. BImSchV sind Immissionsgrenzwerte für Feinstaub (PM_{10}) insbesondere zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt, die ab dem 1.1.2005 eingehalten werden müssen. Im Vergleich mit diesen Werten ist die aktuelle Belastung der Umgebungsluft mit PM_{10} in Deutschland deutlich zu hoch. Nach §45 Abs. 1 BImSchG müssen die zuständigen Behörden die zur Einhaltung der Immissionsgrenzwerte erforderlichen Maßnahmen ergreifen.

Zu den zu ergreifenden Maßnahmen gehören insbesondere Luftreinhalte- und Aktionspläne. Auch der Verkehr muss entsprechend seinem Verursacheranteil in den Maßnahmenkatalog einbezogen werden. In vielen betroffenen Regionen enthält der Luftreinhalteplan bzw. der Aktionsplan aufgrund der dominierenden Rolle der Verkehrsemissionen in den Gebieten mit Grenzwertüberschreitung schwerpunktmäßig verkehrslenkende Maßnahmen [1]. Verkehrsbeschränkungen, wie die Sperrung von einzelnen Straßen für den gesamten Kfz-Verkehr oder Teilmengen (nicht schadstoffarme Autos, Autos ohne Partikelfilter oder LKW ohne Partikelfilter) kommen insbesondere in den Fällen infrage, in denen verkehrsplanerische Maßnahmen allein nicht zielführend sind. Solche Maßnahmen sind durch die zuständigen Straßenverkehrsbehörden umzusetzen. Sie sind in diesen Fällen zulässig und geboten.

Diesel-Pkw und -Lkw müssen umfassend und so schnell wie möglich mit Partikelfiltern ausgerüstet werden. Neue Diesel-Fahrzeuge sollten nicht ohne einen geeigneten Partikelfilter gekauft werden. Im Bereich der Industrieanlagen und Kraftwerke wird durch eine Verschärfung der TA Luft und der Großfeuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV) eine deutliche Reduzierung von Feinstaub und den Vorläufersubstanzen erreicht werden.

Durch die Gesetzgebung werden z. B. im Falle von PM_{10} vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2020 in der EU u. a. folgende gesundheitliche Positiveffekte erreicht:

- Reduzierung des Lebenszeitverlustes (Sterblichkeit – Langzeiteinwirkung) durch PM_{10}-Belastung um 1,1 Mio. Jahre (von ca. 3 Mio. Jahren),
- Reduzierung der Kindersterblichkeit von 600 auf 300 Fälle,
- Reduzierung der chronischen Bronchitis von 136 000 auf 98 000 Fälle und
- Reduzierung der Krankenhauseinweisungen wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen von 32 000 auf 20 000 Fälle.

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

Serienherausgeber: C. Witt, U. Costabel

Institutsangaben
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Ministerialdirektor Dr. habil. Uwe Lahl

Korrespondenzadresse
RD Dr. Wilhelm Steven · Ref. IG I 3, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit · Postfach 120629 · 53175 Bonn · E-mail: Wilhelm.Steven@bmu.bund.de

Bibliografie
Pneumologie 2005; 59: 704–714 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
DOI 10.1055/s-2005-915558
ISSN 0934-8387

Insgesamt werden danach die Krankheitseffekte durch Feinstaub um rund ein Drittel bis zur Hälfte gesenkt. Für Deutschland ergeben sich ungefähr gleiche proportionale Verhältnisse. Diese Positiveffekte können nur erreicht werden, wenn die bestehenden gesetzlichen Vorgaben auch eingehalten werden.

Luftbelastung

In den letzten Jahren wurde die Wissensbasis und Datenlage zur Entstehung und Zusammensetzung von kleinen und kleinsten Schwebstaubpartikeln (Feinstaub) stetig verbessert.

Definitionen

In der englischsprachigen Literatur wird der Begriff „Particulate Matter – PM" verwendet. Im Folgenden werden die Schwebstaubpartikel (Feinstaub) mit Partikel oder PM bezeichnet.

Eine gute Übersicht hat der VDI [2] erarbeitet, nach der die Partikel in erster Linie über ihre Größe eingeteilt werden (siehe hierzu auch Wichmann [3]):

Als Schwebstaub bezeichnet man feste oder flüssige Schwebstoffe (Aerosole), die in Gasen suspendiert sind. Hierunter fallen folgende Fraktionen:

- PM_{10} (Feinstaub) [4] umfasst alle Partikel bis zu einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm
- $PM_{2,5}$ umfasst alle Partikel bis zu einen Durchmesser von 2,5 µm
- UFP (ultrafeine Partikel) umfassen Teilchen mit einem Durchmesser von bis zu 0,1 µm.

Die Ultrafeinen Partikel (UFP) sind eine Teilmenge von $PM_{2,5}$, diese sind eine Teilmenge von PM_{10}, und diese wieder eine Teilmenge des gesamten Schwebstaubs (TSP – total suspended particulates – bis 30 µm). Die UFP tragen wenig zur Gesamtmasse bei, dafür ist aber ihre Anzahl bedeutend. Sie werden deshalb nicht in Masse-, sondern in Anzahl-Konzentration angegeben. In deutschen Städten liegt die UFP-Belastung im Durchschnitt bei 10 Milliarden Partikeln/m^3 oder 10 000 Partikeln pro Kubikzentimeter Luft.

Der Masse-Anteil von PM_{10} an TSP beträgt in der Regel etwa 60 bis 90 %, der von $PM_{2,5}$ an PM_{10} etwa bei 50 bis 80 %, woraus sich für $PM_{2,5}$ ein Anteil von ca. 30 bis 75 % am TSP ergibt. [5]

Partikel sind Teilchen unterschiedlicher Größe und chemischer Zusammensetzung, die entweder unmittelbar in die Luft emittiert werden (Primäre Partikel) oder aus Vorläufersubstanzen in einer chemischen Reaktion in der Luft entstehen (Sekundäre Partikel). Vorläufersubstanzen sind z. B. Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak, flüchtige organische Verbindungen (NMVOC = non methane volatile organic compounds = flüchtige organische Verbindungen mit Ausnahme von Methan). Sekundäre Partikel sind in der Regel sehr klein (UFP). Über die Entstehungsmechanismen von sekundären Partikeln aus den genannten Vorläufersubstanzen siehe UBA-Jahresbericht 2001 und UBA-Hintergrundpapier 2005. [6, 7]

Primäre Partikel können aus natürlichen und anthropogenen Quellen stammen

Wie aus Tab. **1** ersichtlich werden kleine bis sehr kleine Partikel (UFP) in erster Linie aus Verbrennungsvorgängen freigesetzt.

Tab. **1** Natürliche und anthropogene Quellen, Größe der Partikel [8]

Quelle		*Größe der Partikel in µm*
natürliche Quellen	Bodenerosion	1 bis 150
	Sandstürme	1 bis 150
	Vulkane	0,005 bis 150
	maritimes Aerosol	1 bis 20
	Waldbrände	0,005 bis 30
	biogene Stäube (Pollen, Schimmelpilze, Milbenexkremente)	2 bis 50
anthropogene Quellen	stationäre Verbrennung (Heizung, Energieerzeugung)	0,005 bis 2,5
	mobile Verbrennung (Verkehr)	0,005 bis 2,5
	Verhüttung	0,1 bis 30
	industrielle Prozesse (Metallverarbeitung)	0,005 bis 2,5
	Schüttgutumschlag	10 bis 150
	Zigarettenrauch	0,02 bis 10

Partikel sind nicht statisch, sondern sie unterliegen fortlaufend Umwandlungen. Ultrafeine Partikel können u. a. aufgrund ihrer hohen Eigenbeweglichkeit miteinander koagulieren. Hierdurch kommt es zur Bildung von größeren Teilchen. Ultrafeine Partikel werden darüber hinaus in Gegenwart von feinen und groben Partikeln adsorbiert (scavenging effect). Insgesamt hat die Reduktion größerer Partikel durch die Luftreinhaltemaßnahmen der vergangenen Jahrzehnte dazu geführt, dass der früher sehr effektive „scavenging effect" heute einen geringeren Einfluss hat. Dadurch ist die Konzentration ultrafeiner Partikel in der Umwelt relativ gesehen angestiegen, obwohl heute größenordnungsmäßig die Anzahl der emittierten ultrafeinen Partikel nicht größer ist.

Emissionen

Im globalen Maßstab überwiegen bei der Emission von primären Partikeln die natürlichen Quellen (Vulkanausbrüche, Wald- und Steppenbrände, Sandstürme). Hiervon zu unterscheiden sind die Emissionen, die vom Menschen verursacht werden (anthropogene Quellen). Die Emissionen von primären Partikeln (PM_{10}) und der Vorläufersubstanzen der sekundären Partikel aus anthropogenen Quellen in der EU und in Deutschland werden in Abb. **1** illustriert.

Soweit man die gesamten PM_{10}-Emissionen in der EU oder eines einzelnen Landes betrachtet, dominieren, anders als z. B. in einer stark befahrenen Straße mit Grenzwertüberschreitung, die Emissionen aus Industrie und Gewerbe [10]. In Deutschland betrugen die Emissionen an PM_{10} (primäre Emissionen) im Jahr 2002 durch Industrieprozesse 56,7 kt und durch Verkehr 34,8 kt, vgl. Tab. **2**. Auch die Landwirtschaft trägt nicht unerheblich zu den PM-Emissionen bei. So liegt der Beitrag der Landwirtschaft zu den europäischen Primäremissionen von PM_{10} zurzeit bei ca. 9 %, wobei die Tierhaltung den größten Anteil ausmacht [7].

Ein besonderes Problem stellt der Einsatz von Holz in Kleinfeuerungsanlagen (Hausbrand) dar. Nach einer internen Ermittlung im Umweltbundesamt haben solche Holzfeuerungen mit schätzungsweise 80 % den größten Anteil an den staubförmigen Emissionen aus Kleinfeuerungsanlagen. Deutschlandweit betrachtet erreichen die Emissionen von Feinstaub aus Holzfeuerungen die

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

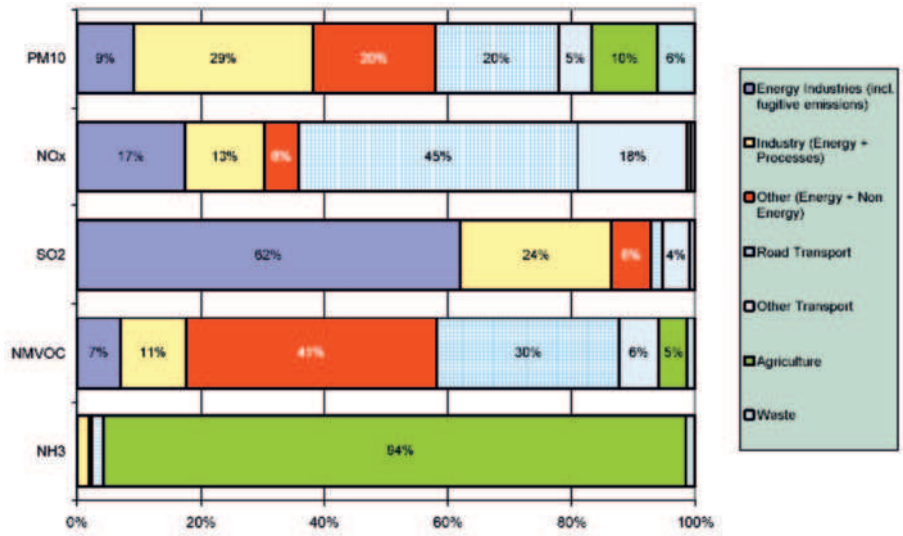

Abb. **1** EU15-Beiträge der Sektoren zu PM_{10} und Vorläufersubstanzen [9].

Tab. **2** Staubemissionen in Deutschland 2000 und 2002 – Anteil der PM_{10}-Emissionen am Gesamtstaub [7]

Quellgruppe	*Gesamtstaub Emissionen 2000 (in kt)*	*Gesamtstaub Emissionen 2002 (in kt)*	*PM_{10} Anteil am Gesamtstaub 2000 (in %)*	*PM_{10} Anteil am Gesamtstaub 2002 (in %)*	*PM_{10} Emissionen 2000 (in kt)*	*PM_{10} Emissionen 2002 (in kt)*	*> PM_{10} Anteil Quellgruppen 2000 (in %)*	*> PM_{10} Anteil Quellgruppen 2002 (in %)*	*> PM_{10} Emissionen 2000 (in kt)*	*> PM_{10} Emissionen 2002 (in kt)*
	227	209	65,7	64,4	148,8	134,6	100	100	77,8	74,4
Deutschland gesamt										
verbrennungsbedingte Emissionen einschließlich Verkehr	80	70	98,3	98,1	78,2	69,1	52,6	51,3	1,4	1,4
*davon: Verkehr**	43	35	100	100	43	34,8	28,9	25,9	0	0
sonstige Emissionen	147	139	48	47,3	70,6	65,5	47,4	48,7	76,4	73
davon Industrieprozesse	103	95	60	60	61,8	56,7	41,5	42,1	41,2	37,8
davon Schüttgutumschlag	44	44	20	20	8,8	8,8	5,9	6,5	35,2	35,2

*ohne folgende nicht verbrennungsbedingte Emissionen:
Reifenabrieb (geschätzte Emission 70 kt/a, davon PM_{10}-Fraktion knapp 10 %, Emission von der Straßenoberfläche (erheblicher PM_{10}-Anteil) und der Bremsabrieb (5,5 – 8,5 kt/a, im Wesentlichen PM_{10}).

Größenordnung der Emissionen aus dem Straßenverkehr. Die Zahl der Anlagen wird voraussichtlich wegen der Bedeutung von Holzbrennstoffen als alternative Brennstoffe zunehmen.

Bei den Vorläufersubstanzen, die zur Bildung von sekundären Partikeln beitragen, zeigt sich ein völlig anderes Bild. Bei SO_2 dominieren die Emissionen der Kraftwerke, bei NOx hat der Verkehrssektor den größten Anteil. Die Ammoniak-Emissionen (NH_3) stammen dagegen beinahe ausschließlich aus der Landwirtschaft, sie trägt in Deutschland mit 567 kt zu den Emissionen bei [11]. Bei den NMVOC dominieren der Verkehr und der Lösemittelverbrauch in Gewerbe und Haushalt, z. B. durch Einsatz lösemittelhaltiger Farben und Lacke (siehe Abb. **1**).

Immissionen

Für die Immissionskonzentrationen in den Industrienationen spielen die Emissionen aus anthropogenen Quellen gegenüber den Emissionen aus natürlichen Quellen wegen ihrer gesundheitlichen Auswirkungen und ihrer vergleichsweise längeren Verweildauer in der Atmosphäre und insbesondere wegen ihrer Nähe zu den bewohnten Gebieten eine wichtigere Rolle [12].

Die Emissionsmengen in Abb. **1** und Tab. **2** stellen die Gesamtemissionen für die EU bzw. für Deutschland dar. Aus diesen Emissionsmengen kann aber nicht unmittelbar auf die Immissionsbelastung der Menschen vor Ort (Konzentration in der Luft) geschlossen werden. Eine hohe Immissionsbelastung tritt insbesondere dort auf, wo eine große Zahl von Emittenten konzentriert ist und lokal Partikel freigesetzt werden. Dies ist teilweise in der Nähe von Industrieanlagen und in besonderem Maße an stark befahrenen Straßen der Fall. Die Hot Spots in den Straßen tragen deshalb zu den Grenzwertüberschreitungen mit PM in einem viel stärkeren Maße bei, als es nach den Emissionsdaten für die EU bzw. für Gesamtdeutschland zu vermuten wäre. Für die Frage der Grenzwertüberschreitungen (Immissionswerte) sind die obigen Emissionsdaten von untergeordneter Bedeutung, entscheidend sind die Immissionsdaten an den Hot Spots.

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

Die öffentliche Kontroverse in den Medien zum Thema Feinstaub hat es nicht geleistet, den Unterschied zwischen Emission und Immission verständlich zu machen. Im Folgenden wird daher die Bedeutung der einzelnen Quellgruppen für die Immissionssituation näher analysiert.

Verkehrsbedingte Immissionen

Der Verkehrsbereich steht wegen seines hohen Beitrags zur Immissionsbelastung – insbesondere an Hot Spots – im Mittelpunkt der Maßnahmendiskussion [13]. Der Beitrag der Verkehrsemissionen an der Feinstaubbelastung variiert in Deutschland sehr stark. In aktuellen Untersuchungen schwanken beispielsweise die lokalen Verkehrsbeiträge an hoch belasteten Straßen zwischen etwa 10 % und 60 %, für städtische Hintergrundstationen ergaben sich Beiträge von 20 bis 35 % aus dem Verkehr [14 – 16].

Die Berliner Umweltbehörden haben in aufwändigen Analysen die Zusammensetzung und Herkunft der durchschnittlichen Feinstaubbelastung in hoch belasteten Straßen Berlins ermitteln lassen (Abb. **2**). Danach gilt:

- Zu rund einem Viertel trägt der lokale Straßenverkehr zur Belastung bei. Die direkten Abgasemissionen sind dabei für ca. die Hälfte dieses lokalen Beitrags verantwortlich. Die zweite Hälfte wird durch Abrieb von Bremsmaterial und Reifen sowie durch Aufwirbelung verursacht.
- Das zweite Viertel stammt aus dem „städtischen Hintergrund“, mehrheitlich aus dem Verkehrsbereich, aber auch aus Industrie und Haushalten.
- Die verbleibende knappe Hälfte wird Emissionen im „regionalen und überregionalen Hintergrund“ – zum großen Teil sekundäre Partikel – zugerechnet. Auch hier ist der Verkehr beteiligt.

Der Straßenverkehr ist auch nach der Berliner Analyse somit für rund die Hälfte der Feinstaubimmissionen verantwortlich.

Das Berliner Beispiel zeigt damit die prinzipiellen Quellen der Immissionsbelastung. Jeder einzelne Standort in Deutschland zeigt aber seine Eigenheiten, die durch die Stärke, die Ausprägung und die Entfernung der einzelnen Quellen, aber auch durch die Bebauung und Meteorologie geprägt sind. So hat der Anteil der Nutzfahrzeuge (inkl. Busse) sowie die Flottenzusammensetzung (Alter, Abgasminderung) einen großen Einfluss auf die Quellenanteile.

Immissionen durch industrielle Prozesse

In den hochindustrialisierten Gebieten können vor allem durch folgende Industriezweige hohe lokale Immissionsbelastungen mit Feinstaub hervorgerufen werden (Beispiel NRW):

- Braunkohletagebau
- Kokereien
- Teerverarbeitung
- Sinteranlage
- Stahlwerke
- Edelstahlwerke
- Zinkhütten
- Hafengebiete
- Schüttgutumschlag.

Ein großes Problem stellt das Heranwachsen der Wohnbebauung an die Industrieanlagen dar. Dadurch kann die Immissionsbelastung am Wohnort, die bei größerem Abstand deutlich unter dem Grenzwert liegen würde, in den Bereich des Grenzwerts angehoben werden.

Aufgrund der zahlreichen Minderungsmaßnahmen bei Industrieanlagen in den letzten Jahren ist aber schon heute bundesweit die Anzahl der industriellen Hot Spots deutlich geringer als die der verkehrlichen Hot Spots [18].

Durch Hausbrand und sonstige Quellen bedingte Immissionen

Von den Wärmeerzeugungsanlagen der Privathaushalte werden sowohl primäre PM (Gesamtstaub, Ruß) als auch Vorläufersubstanzen (SO_2, NO_x) für sekundäre PM emittiert. Die oben beschriebene bereits heute vorhandene hohe Emission findet lokal in den Ballungszentren statt und erreicht die Menschen weniger verdünnt, als dies beispielsweise bei Quellen mit hohen Schornsteinen (Industrie und Kraftwerken) der Fall ist. Zwar findet die Emission nicht ganz so nah am Menschen statt, wie die Emissionen des Verkehrs. Aber die steigende Tendenz zur Nutzung von Holz als Festbrennstoff kann diese Entwicklung wieder umkeh-

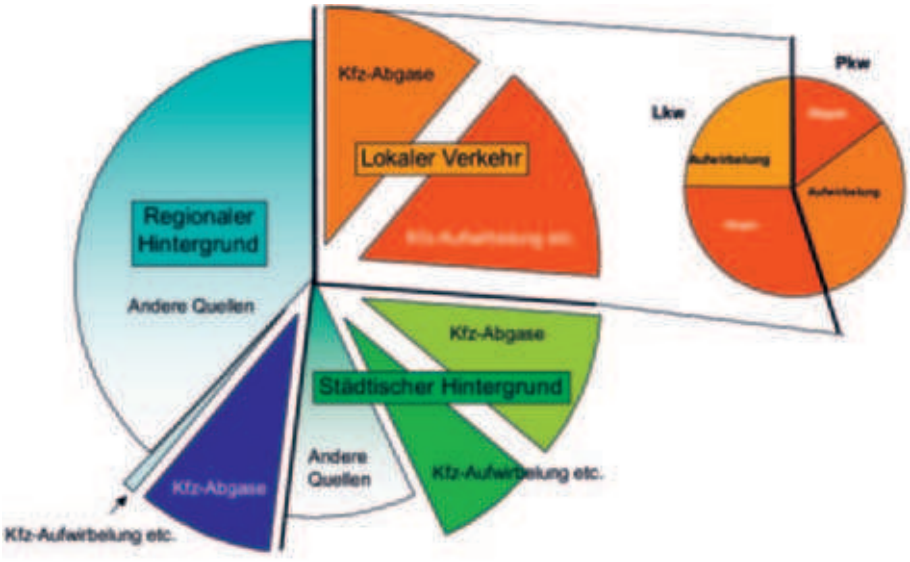

Abb. **2** Quellgruppen straßennaher Feinstaubkonzentrationen am Beispiel Berlin [17].

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

ren. Daher spielt der Hausbrand in einigen Ballungszentren unter Immissionsgesichtspunkten nach wie vor eine wichtige Rolle, auch wenn die Belastung durch Brennstoffumstellung auf insbesondere Gas in den 80- und 90-Jahren deutlich gesenkt wurde.

Die Landwirtschaft kann lokal und regional für die Immission mit Partikeln prägend sein. Diese Situation tritt insbesondere in Gebieten mit hoher Dichte an Massentierhaltung ein.

Anteil des Ferntransports an der PM_{10}-Belastung

Zur PM-Belastung tragen neben den lokalen und städtischen Quellen auch überregionale Quellen bei. Ein erheblicher Anteil der PM-Belastung in Mitteleuropa wird durch Ferntransport verursacht, wobei in der Regel sekundär (aus den Vorläufergasen SO_2, NO_2, NH_3, NMVOC) gebildete Feinstäube die dominierende Rolle spielen. Ferntransporte treten in Verbindung mit ungünstigen meteorologischen Bedingungen – manchmal sogar episodenartig – auf (s. u.).

Diese grenzüberschreitenden Immissionen sind durch Maßnahmen der Behörden vor Ort nicht zu beeinflussen. In den Ratsverhandlungen über die Richtlinie einigten sich die Mitgliedsstaaten deshalb auf eine zulässige Überschreitungshäufigkeit von 35 Tagen (siehe Tab. **5**). Dadurch werden solche Ereignisse kompensiert.

Einfluss der Meteorologie

Für die Höhe der kurzzeitigen Feinstaubbelastung spielt an allen Standorten neben den bisher genannten Quellen die meteorologische Situation eine entscheidende Rolle. Hohe kurzzeitige Konzentrationen treten überwiegend in winterlichen Episoden mit geringer Mischungsschichthöhe (Inversionswetterlagen) und dadurch stark eingeschränktem vertikalen Luftaustausch auf. Durch Wind und Niederschläge kann die Feinstaubkonzentration – auch großräumig und innerhalb sehr kurzer Zeit – schnell wieder absinken.

Beispielhaft für den Einfluss der meteorologischen Bedingungen wird der Verlauf der Feinstaubkonzentrationen im Februar 2005 an verschiedenen Orten in Rheinland-Pfalz und Hessen dargestellt. Die in Abb. **3** dargestellten Konzentrationsverläufe repräsentieren sowohl Standorte in der Nähe von verkehrsreichen Straßen, im städtischen Hintergrund als auch in wenig besiedelten ländlichen Gebieten. Trotz Entfernungen von teilweise über 100 km zeigen alle Stationen ein sehr ähnliches Profil des Konzentrationsverlaufs. Während der Episoden mit stabilen Wetterlagen und geringen Windgeschwindigkeiten (3.-9.2.) zeigt sich ein kontinuierlicher Aufbau der Feinstaubbelastung an den einzelnen Orten. Niederschläge (10.-13.2.) führen zu einer schnellen, starken Abnahme der Konzentrationen.

Ferneinträge, die ebenfalls zu einer starken Erhöhung der Feinstaubbelastung führen können, spielen bei Inversionswetterlagen wegen der geringen Windgeschwindigkeiten meist eine geringere Rolle. Es wird angenommen, dass die Höhe der Feinstaubbelastung und eine mögliche Überschreitung des Tagesgrenzwerts in diesem Fall hauptsächlich von den lokalen Emissionen bestimmt wird. Auch bei kurzzeitigen Belastungssituationen liegen die Werte an verkehrsdominierten Standorten (siehe Abb. **3** – Ludwigshafen-Heinigstr.) deutlich höher als im städtischen oder gar ländlichen Hintergrund. Eine Reduktion der Emissionen des Verkehrs führt damit – neben der Verringerung der Jahresmittelwerte – auch zu einer Reduktion der Kurzzeitbelastungen.

Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln

Die Frage, inwieweit PM eine gesundheitliche Schädigung verursachen können bzw. aus Vorsorgegründen von Bedeutung sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben der Konzentration der PM in der Luft spielen die chemische Zusammensetzung, die Beladung der Oberfläche der PM mit wirksamen chemischen Substanzen und vor allem die Größe der Partikel eine Rolle.

Abhängigkeit der Wirksamkeit von der Partikelgröße

Je gröber die Partikel, desto weiter oben werden sie im Atemtrakt abgefangen. Partikel über 10 µm können kaum den Kehlkopf passieren, von den kleineren Partikeln („thorakale Fraktion") können fast ausschließlich diejenigen, die kleiner als etwa 2 bis 3 µm sind, bis in den Alveolenbereich vordringen. [5] Die Depositionswahrscheinlichkeit in den Atemwegen hängt ebenfalls von der Partikelgröße ab. In einem Größenbereich um 0,5 µm ist aus physikalischen Gründen die Depositionswahrscheinlichkeit am geringsten.

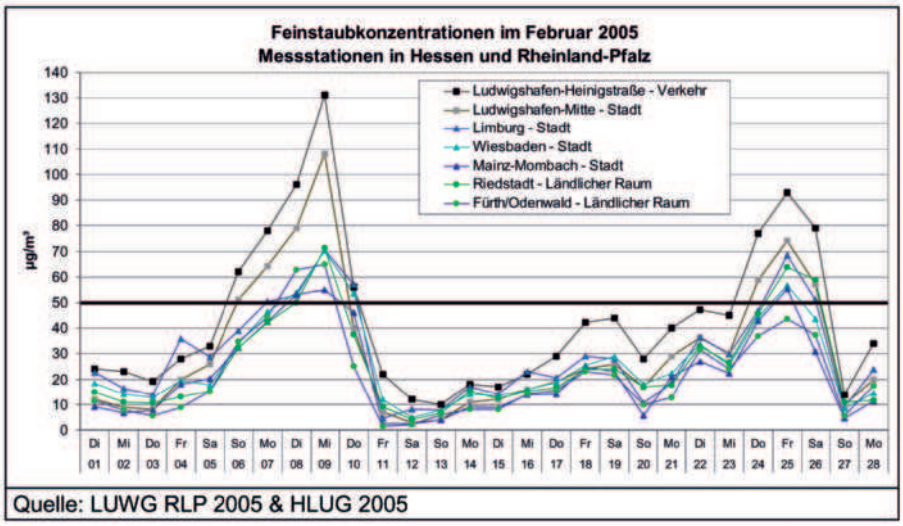

Abb. **3** Feinstaubkonzentrationen in Hessen und Rheinland-Pfalz im Februar 2005 [19].

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

Vorausgesetzt, dass Partikel nur dort eine Wirkung entfalten, wo in nennenswertem Umfang eine lokale Deposition stattfindet, so scheiden Partikel über 10 µm dafür (außer im Nasen-Rachenraum) weitgehend aus. Für Wirkungen, die im Tracheobronchialbereich ausgelöst werden (z. B. Husten), kommen primär Partikel in der Größe bis etwa 4 µm als die „wirksame" Fraktion infrage, für Veränderungen im Alveolarbereich hauptsächlich Partikel kleiner als 2,5 µm. [5]. UFP können nicht nur tief in die Atemwege eindringen, sondern auch in die Blutbahn übertreten.

Bei un- oder schwerlöslichen Partikeln stellt die Oberfläche der Partikel (Träger für toxische Substanzen) die Schnittstelle zu Zellen, Geweben und Lungenflüssigkeiten dar. Da die Oberfläche der großen Zahl ultrafeiner Partikel bei gleicher Massenkonzentration viel größer ist als diejenige der relativ wenigen feinen Partikel, ist die Wahrscheinlichkeit, dass unlösliche ultrafeine Partikel adverse Gesundheitseffekte hervorrufen können, größer als für unlösliche feine Partikel.

Aufgrund der Korngrößenverteilung ist zu erwarten, dass geogener Staub (natürliche Quellen) unter gesundheitlichen Gesichtspunkten weniger problematisch ist als anthropogener Staub. Die wenigen vorhandenen Untersuchungen zu diesem Thema scheinen diese Annahme zu bestätigen [20].

Dieselmotorabgase und Dieselruß – Tierversuche

Bereits 1954/55 wurde die tumorbildende Wirkung von Dieselmotorabgasen auf Mäusehaut beschrieben.

Das Interesse an Dieselmotorabgasen stieg noch mehr, als Ende der 70er-Jahre Tests eine starke Mutagenität der Abgase ergaben. Der Verdacht auf eine krebserzeugende Wirkung von Dieselmotorabgasen wurde dann in den 80er-Jahren in mehreren unabhängig voneinander durchgeführten Versuchen bestätigt: Dieselmotorabgas aus verschiedenen Motoren erzeugte beispielsweise bei Ratten Lungentumoren [21].

Das Erstaunen über die kanzerogene Wirkung der Dieselmotorabgase war deshalb so groß, weil belastbare Messungen zeigten, dass die im Dieselmotorabgas enthaltene Menge an PAH viel zu gering war, um Lungentumoren in der Ratte zu induzieren [22]. Es mussten also andere Teilchen ursächlich für die cancerogene Wirkung des Dieselmotorabgases sein. In weiteren Versuchen zeigte sich, dass auch Rußpartikel, die nahezu keine organischen Bestandteile angelagert hatten, nach inhalativer Aufnahme Lungentumore bei Ratten erzeugten. Die Wirkung der Partikel schien mit der Größe der Partikel und der spezifischen Partikeloberfläche zu korrelieren [23]

Epidemiologische Studien zu PM in der Außenluft

In den letzten Jahren wurde eine große Anzahl von Studien zur Wirkung von Partikeln auf die menschliche Gesundheit durchgeführt [2, 24, 25]. Ohne im Einzelnen auf die jeweiligen Untersuchungen einzugehen, kann zusammenfassend festgestellt werden: Große Kohortenstudien ergaben eindeutige Assoziationen zwischen verschiedenen Gesundheitsfaktoren (Gesamtmortalität, Mortalität durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Atemwegserkrankungen, bei Lungenkrebs zeichnet sich ebenfalls ein Zusammenhang ab) und PM_{10} und $PM_{2,5}$, wobei die Assoziation mit den feinen Partikeln stärker war als mit den gröberen Partikeln. Zeitreihenuntersuchungen zeigten ebenfalls signifikante Assoziationen zwischen der Partikelexposition einerseits und der Mortalität und der Morbidität der Bevölkerung andererseits.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse einer Meta-Studie der WHO (2004) zu Zeitreihenuntersuchungen:

Tab. **3** Meta-Analyse Europäischer Zeitreihenstudien zu PM_{10} und Gesundheit: Schätzung der Effektstärke (basierend auf dem relativen Risiko und dem 95 %-Konfidenzintervall C.I.) bei einer Erhöhung der PM_{10}-Konzentration um 10 µg/m³ (Quelle: WHO 2004) [26]. NS = nicht signifikant

gesundheitliche Auswirkungen	geschätzte Erhöhung des Risikos in % pro 10 µg/m³ PM10 (95 % C.I.)	Anzahl der Studien verfügbar für Meta-Analyse
Mortalität insgesamt	0.6 % (0,4 – 0,8 %)	33
Mortalität bei Atemwegserkrankung	1.3 % (0,5 – 2,0 %)	18
Mortalität bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen	0.9 % (0,5 – 1,3 %)	17
Krankenhauseinweisung wegen Atemwegserkrankung, Alter 65+	0.7 % (0,2 – 1,3 %)	8
Husten, Kinder von 5 – 15 Jahren mit chronischen Symptomen	0.0 % (– 1,3 – 1,1 %) (NS)	34
Einnahme von Medikamenten, Kinder von 5 – 15 Jahren mit chronischen Symptomen	0,5 % (– 1,9 – 2,9 %) (NS)	31

Epidemiologische Studien zeigen einen Anstieg der Mortalität und der Morbidität insbesondere bei alten Menschen und bei Personen mit Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Abb. **4** stellt dar, dass das Sterblichkeitsrisiko in Abhängigkeit einer Zunahme der Konzentration von 10 µg/m³ PM_{10} unabhängig von der Höhe der Basisbelastung ist. Das RR (relatives Risiko) bei einem Konzentrationsanstieg von 10 µg/m³ PM_{10} ist ungefähr an allen Orten der Welt im Mittel ungefähr gleich, auch bei Orten mit sehr niedriger Grundbelastung.

Das offensichtliche Nichtvorhandensein einer Wirkungsschwelle wird damit erklärt, dass es in einer großen Population immer auch einige Individuen gibt, die auch auf sehr niedrige PM-Konzentrationen reagieren.

Interventionsstudien zeigen weiter, dass eine Reduktion der PM-Konzentrationen einen positiven Effekt auf die menschliche Gesundheit hat [2]. Zwei Beispiele sollen hier dargestellt werden [28]:

- Während der olympischen Sommerspiele 1996 in Atlanta wurde der Einfluss von Verkehrsbeschränkungen auf kindliches Asthma untersucht. Der Rückgang war teilweise signifikant. Die Verbesserung der Luftqualität betraf neben PM_{10} auch Ozon, Stickstoffdioxid und Kohlenmonoxid.
- In der Children's Health Study in Südkalifornien wurde der Einfluss einer veränderten Luftschadstoffbelastung auf die longitudinale Zunahme der Lungenfunktion untersucht [29]. Bei Kindern, die aus dem Studiengebiet weggezogen waren, wurden im Follow up Lungenfunktionstests durchgeführt

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

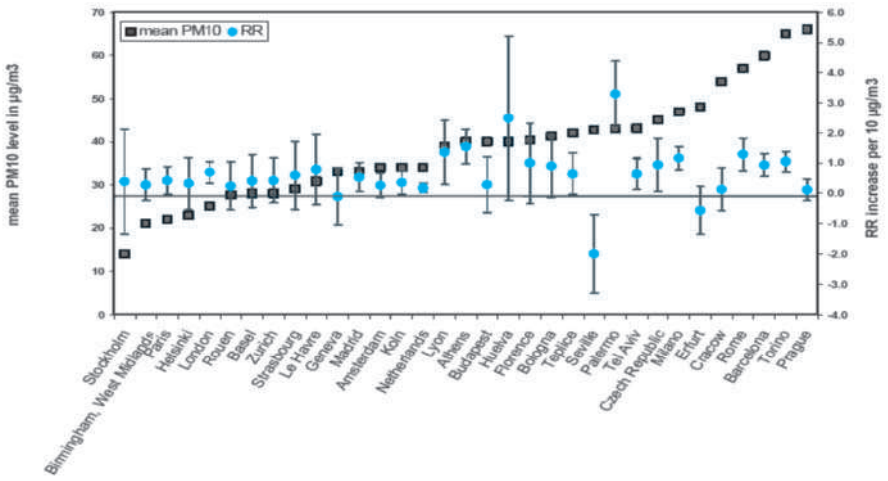

Abb. **4** Zeitreihenstudien – Zusammenhang zwischen Sterblichkeit und PM [27].

und mit früheren Lungenfunktionstests aus der Zeit verglichen, als die Kinder im Studiengebiet wohnten. Der Umzug in eine Gemeinde mit niedrigerer PM_{10}-Konzentration war mit einem Anstieg der Wachstumsrate der Lungenfunktion assoziiert, und das Wegziehen in eine Gemeinde mit höherer PM_{10}-Konzentration war mit einem reduzierten Wachstum assoziiert. Entsprechende Zusammenhänge mit Konzentrationen von O_3 und NO_2 waren schwächer.

Das Bundesumweltministerium hat auf Basis der vorhandenen epidemiologischen Erkenntnisse eine Abschätzung durchführen lassen, welche positiven gesundheitlichen Auswirkungen durch den großflächigen Einsatz von Partikelfiltern für Diesel-PKW zu erwarten sind [3]. Nach diesem Bericht ergibt sich unter konservativen Annahmen theoretisch ein Minderungspotenzial durch Partikelfilter in Dieselfahrzeugen von 3 µg/m³ $PM_{2,5}$. Die mittlere Immissionskonzentration in Deutschland würde dabei von 15 auf 12 µg/m³ $PM_{2,5}$ fallen. Die Studie kommt zu folgenden Ergebnissen: Die rechnerische Lebenserwartung der Gesamtbevölkerung wird durch Diesel-Ruß-Abgase um 1 bis 3 Monate reduziert.

Toxikologische Untersuchungen [2, 24]

In den letzten 10 Jahren wurde eine große Zahl von toxikologischen in vivo und in vitro Untersuchungen publiziert. Eine ausführliche Übersicht findet sich in [30]. In Anbetracht der unbestreitbaren Evidenz der epidemiologischen Untersuchungen (s. o.) wurden toxikologische Untersuchungen hauptsächlich mit folgenden Zielrichtungen durchgeführt:

- die medizinische Plausibilität der epidemiologischen Ergebnisse zu belegen,
- die für die gesundheitlichen Wirkungen verantwortlichen Staubkomponenten zu ermitteln,
- den Wirkungsmechanismus und eine Dosis-Wirkungs-Beziehung für die verantwortlichen Staubkomponenten zu analysieren.

Die toxikologischen Studien ergaben u. a. folgende Ergebnisse:

- Die chemische Zusammensetzung der Partikel scheint die Toxizität zu beeinflussen (organische Bestandteile, Metalle).
- Stäube aus bestimmten Quellen (z. B. Ölflugasche mit unterschiedlichen Gehalten an Übergangsmetallen) sind toxischer als andere.
- Bisher gibt es keine Klarheit, in welchem Maße Metallverbindungen für die gesundheitlichen Auswirkungen von Partikeln verantwortlich sind.
- Zahlreiche Studien belegen die systemische (kardiovaskuläre) Toxizität von Partikeln.
- UFP zeigen im Tierversuch teilweise eine größere Wirkung als feine Partikel.

Das Schädigungspotenzial von UFP auf Zellen (siehe kardiovaskuläre Symptome) wird durch eine neue Untersuchung des Instituts für umweltmedizinische Forschung (IUF) an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf weiter aufgeklärt [31]. Die Forschergruppe wies erstmals nach, dass sehr kleine Partikel (Durchmesser von 5 – 100 nm = 0,005 – 0,1 µm) im Gegensatz zu größeren Partikeln in den Zellkern vordringen können und die nukleare Architektur und Funktion verändern. Neben strukturellen Veränderungen wie Eiweißablagerungen blockieren diese sehr kleinen Partikel (UFP) wichtige Funktionen des Zellkerns wie die Replikation und Transskription der DNS. Ab einer Größe von 200 nm (0,2 µm) hatten diese Partikel keine Effekte auf Struktur und Funktion des Zellkerns.

Wahrscheinlichstes Schädigungsmodell [5]

Ein Erklärungsmodell [32] geht davon aus, dass vorwiegend ultrafeine Partikel, die im Alveolarbereich Kontakt mit den Pneumozyten haben, dort zur Bildung freier Radikale beitragen, die entzündliche Veränderungen auslösen. Dieses entzündliche Geschehen beeinflusst einerseits Atemwegserkrankungen und führt andererseits zu einer Freisetzung von Mediatoren aus Leukozyten und Makrophagen, die einen Anstieg der Blutkoagulabilität und dadurch der Plasmaviskosität bewirken. Sowohl die Atemwegsbeeinträchtigung selbst als auch die erhöhte Plasmaviskosität führen zu einer erhöhten Herz-Kreislauf-Belastung, woraus sich eine erhöhte Mortalität ergeben kann. Erhöhungen der Plasmaviskosität im Zusammenhang mit erhöhten Partikelkonzentrationen konnten in Smogepisoden [33] nachgewiesen werden. Ob Erhöhungen der Herzfrequenz, die ebenfalls in epidemiologischen Untersuchungen [34] demonstriert werden konnten, über eine erhöhte Plasmaviskosität oder eine Beeinflussung des vegetativen Nervensystems zustande kommen, ist noch unklar. Für letzteres könnte sprechen, dass auch eine Einschränkung der Herzfrequenz-Variabilität beobachtet wurde [35, 36].

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

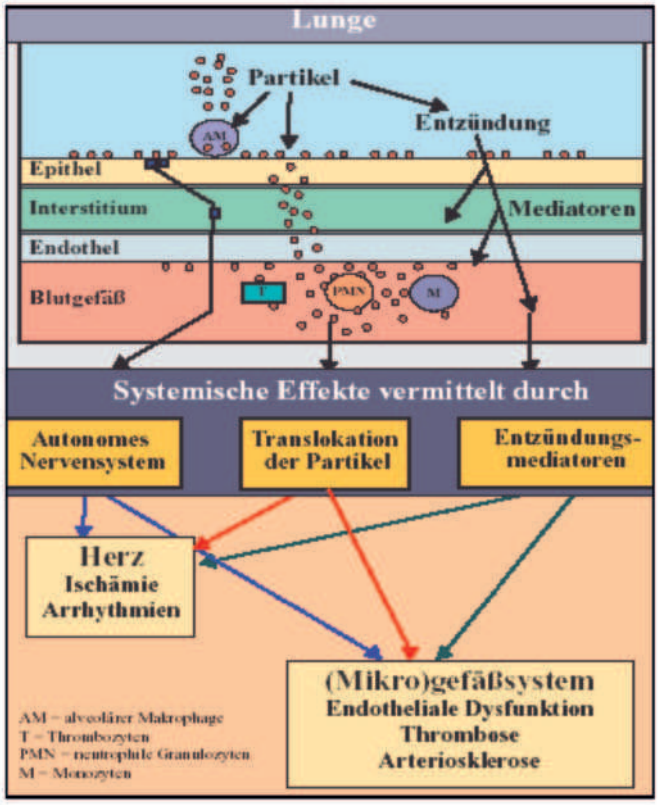

Abb. **5** Schädigungsmodell mit drei möglichen Wegen.

Eine Veröffentlichung des GSF-Forschungszentrum in Neuherberg zeigt drei mögliche Wege auf, wie ultrafeine Partikel, die von den Fresszellen wegen ihrer geringen Größe (kleiner als 100 nm) nur schlecht erkannt werden, den Organismus schädigen, vgl. Abb. **5** [37].

Danach können ultrafeine Partikel den Körper auf drei Wegen schädigen:

- Zum einen beeinflussen sie das vegetative Nervensystem über Rezeptoren (links).
- Sie können aber auch direkt durch die dünnen Membranen der Lungenbläschen in die Blutbahn eindringen und von hier aus zu jedem Organ gelangen (Mitte).
- Als dritte Möglichkeit können UFP über Mediatoren das Lungengewebe entzünden und so Herz und Gefäße beeinträchtigen (rechts). Mögliche Folgen sind Herzrhythmusstörungen, Ischämie, endotheliale Dysfunktion, Thrombose und Arteriosklerose.

Die gesundheitspolitische Herausforderung

Die weltweit durchgeführten Studien zeigen, dass die Reduzierung der Partikelbelastung des Menschen die wichtigste lufthygienische Herausforderung unserer Zeit ist [38]. Nach Aussagen der WHO (2004) bewirkt die gegenwärtige PM-Konzentration eine Verkürzung der durchschnittlichen Lebenserwartung von 8,6 Monaten in der EU25 und von 10,2 Monaten in Deutschland u. a. durch Herz-Lungen-Krankheiten und durch Lungenkrebs.

Tab. **4** zeigt die geschätzte Wirkung der EU-Gesetzgebung auf Gesundheitsschäden durch PM_{10}.

Tab. **4** zeigt, dass die bestehenden Rechtsnormen (EU und Deutschland – s. u.) in der Lage sind, PM-Emissionen, die Immissionskonzentrationen und die damit in Zusammenhang stehenden Gesundheitseffekte deutlich zu senken. Voraussetzung ist allerdings, dass die festgesetzten Grenzwerte eingehalten werden.

Im Einzelnen werden in der EU durch die Anwendung der Rechtsnormen vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2020 die Krankheitseffekte durch PM um rund ein Drittel bis zur Hälfte gesenkt, z. B.:

- Reduzierung des Lebenszeitverlustes (Sterblichkeit – Langzeiteinwirkung) durch PM_{10}-Belastung um 1,1 Mio. Jahre (von ca. 3 Mio. Jahren),
- Reduzierung der Kindersterblichkeit von 600 auf 300 Fälle,
- Reduzierung der chronischen Bronchitis von 136 000 auf 98 000 Fälle und
- Reduzierung der Krankenhauseinweisungen wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen von 32 000 auf 20 000 Fälle.

Für Deutschland ergeben sich ungefähr gleiche proportionale Verhältnisse.

Das rechtliche Instrumentarium

In der EU basiert das System der Luftreinhaltungsgesetzgebung in erster Linie auf der EU-Richtlinie über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität und den hierzu erlassenen Tochterrichtlinien sowie der NEC-Richtlinie [40]. Das neue Luftqualitätsrecht der EU [41] wurde umgesetzt durch die 7. Novelle des BImSchG und die 22. und 33. BImSchV.

Die 7. Novelle des BImSchG hat im Wesentlichen folgende Neuerungen eingeführt:

- § 45 BImSchG: die allgemeine Pflicht der Behörden, die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um die Einhaltung der Immissionswerte sicherzustellen.
- § 47 BImSchG: Pflicht zur Aufstellung von Luftreinhalteplänen, wenn die Grenzwerte der 22. BImSchV (einschließlich der dort festgesetzten Toleranzmargen) überschritten werden bzw. von Aktionsplänen bei Gefahr der Überschreitung bzw. eingetretener Überschreitung bereits geltender Grenzwerte. Die Maßnahmen richten sich entsprechend dem Verursacheranteil unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit gegen alle Verursacher.
- § 40 BImSchG: Pflicht der Straßenverkehrsbehörde zur Durchführung von Verkehrsbeschränkungen oder -verboten, soweit diese im Luftreinhalte- oder Aktionsplan aufgeführt sind.

Die 22. BImSchV enthält vier wesentliche Regelungselemente:

- Immissionsgrenzwerte für SO_2, NO_2, NO_x, PM_{10}, Blei, Benzol und CO sowie Alarmschwellen für SO_2 und NO_2; Schutzziele sind die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme; im Falle von SO_2 und NO_x dient sie auch dem Schutz von Ökosystemen und der Vegetation .
- detaillierte Vorgaben für die allen Mitgliedstaaten auferlegte so genannte Beurteilung der Luftqualität;
- eine Konkretisierung der Luftreinhalteplanung für Gebiete und Ballungsräume mit erheblichen Luftverunreinigungen sowie

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

Tab. **4** Geschätzte Veränderungen bei durch PM hervorgerufenen Gesundheitsschäden zwischen 2000 und 2020 durch Implementierung der EU-Gesetzgebung in der EU25 und in Deutschland (Quelle: CAFE 2005) [39]

gesundheitlicher Endpunkt	*Einheiten (in 1000)*	*2000*	*2020 – aktuelle Gesetzgebung*	*Differenz 2000–2020*
		EU25		
Mortalität bei Langzeitbelastung	verlorene Lebensjahre	3001	1900	1101
Mortalität bei Langzeitbelastung	Anzahl frühzeitiger Todesfälle	288	208	80
Kindersterblichkeit	Fälle	0,6	0,3	0,3
chronische Bronchitis	Fälle	136	98	37
Krankenhauseinweisung wegen Atemwegserkrankung	Fälle	51	33	19
Krankenhauseinweisung wegen Herzerkrankung	Fälle	32	20	12
Tage mit eingeschränkter Aktivität	Tage	288 292	170 956	117 336
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Kinder)	Tage	3510	1549	1961
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Erwachsene)	Tage	22 990	16 055	6935
Symptome der unteren Atemwege (Kinder)	Tage	160 349	68 819	91 529
Symptome der unteren Atemwege bei Erwachsenen mit chronischer Erkrankung	Tage	236 498	159 723	76 773
		Deutschland		
Mortalität bei Langzeitbelastung	verlorene Lebensjahre	657	413	244
Mortalität bei Langzeitbelastung	Anzahl frühzeitiger Todesfälle	65	48	17
Kindersterblichkeit	Fälle	0,09	0,05	0,04
chronische Bronchitis	Fälle	31	21	10
Krankenhauseinweisung wegen Atemwegserkrankung	Fälle	11	7	4
Krankenhauseinweisung wegen Herzerkrankung	Fälle	7	4	3
Tage mit eingeschränkter Aktivität	Tage	63 832	36 216	27 616
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Kinder)	Tage	781	324	457
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Erwachsene)	Tage	5166	3522	1645
Symptome der unteren Atemwege (Kinder)	Tage	32 291	13 406	18 884
Symptome der unteren Atemwege bei Erwachs. mit chron. Erkrankung.	Tage	52 636	34 993	17 644

– Publikationspflichten gegenüber der EU-Kommission und Informationspflichten gegenüber der Öffentlichkeit.

Ziel der 22. BImSchV ist die Vermeidung, Verhütung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt.

Für PM_{10} ist wichtig, dass sich aus epidemiologischen Studien kein Wirkungsschwellenwert ableiten lässt, unterhalb dessen gesundheitliche Auswirkungen nicht mehr festzustellen sind [9,42]. Deshalb müssen für PM_{10} besonders strenge Maßstäbe an die Einhaltung der Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit gelegt werden (Mindestanforderungen). Ein Aufweichen dieser Grenzwerte, wie dies teilweise politisch gefordert wird, da man sich Problemen bei der Umsetzung der 22. BImSchV ausgesetzt sieht, ist unter dieser Prämisse nicht akzeptabel.

In der 22. BImSchV werden folgende Grenzwerte für PM_{10}, die ab dem Jahr 2005 gelten, festgelegt [43]:

Tab **5** PM_{10}-Grenzwerte der 22. BImSchV [44]

Stoff	*Art des Grenzwertes*	*Grenzwert*	*erlaubte Überschreitungen*	*Zeitpunkt der Einhaltung*
PM_{10}	24-Stundenmittel	50 µg/m³	35 Tage/Jahr	1.1.2005
	Jahresmittel	40 µg/m³	–	2005

Weiterhin sind Immissionsgrenzwerte für SO_2 und NO_2 in der 22. BImSchV festgelegt, deren Schutzziel die Vermeidung, Verhütung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt ist. Die Einhaltung dieser Grenzwerte trägt auch zur Verminderung der sekundären Feinstaubbildung bei.

Tab. **6** SO_2-und NO_2-Grenzwerte der 22. BImSchV

Stoff	*Art des Grenzwertes*	*Grenzwert*	*erlaubte Überschreitungen*	*Zeitpunkt*
SO_2	1-Stundenmittel	350 µg/m³	24 Stunden/Jahr	1.1.2005
	1-Tagesmittel	125 µg/m³	3 Tage/Jahr	1.1.2005
NO_2	1-Stundenmittel	200 µg/m³	18 Stunden/Jahr	1.1.2010
	Jahresmittel	40 µg/m³		2010

Die beiden übrigen Vorläufersubstanzen NH_3 und NMVOC sind neben SO_2 und NO_x in der 33. BImSchV geregelt (Umsetzung der NEC-Richtlinie). Diese Verordnung regelt die Emissionsminderung über nationale Höchstmengen.

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

Tab **7** Emissionen in D und Emissionshöchstmengen für D in der 33. BImSchV und im UN-ECE-Protokoll

Emissionen und Emissionshöchstmengen	*SO_2 (kt)*	*NO_x (kt)*	*NH_3 (kt)*	*NMVOC (kt)*
Emissionshöchstmengen der 33. BImSchV 2010	520	1051	550	995
Emissionshöchstmengen des UN-ECE-Protokolls 2010	550	1081	550	995
Emissionen in Deutschland im Jahre 2000[11]	634	1634	602	1697

Handlungsmöglichkeiten zur Reduzierung der Feinstaubbelastung

Die erheblichen Gesundheitsbeeinträchtigungen, die durch Feinstaub hervorgerufen werden (s. o.), verlangen, die Immissionsbelastung mit Partikeln so weit wie möglich zu senken. Die Immissionsgrenzwerte müssen in jedem Fall eingehalten werden. Hierzu sind Minderungsmaßnahmen in allen Quellgruppen und auf allen Ebenen parallel durchzuführen. Diese Maßnahmen, die sich gegenseitig beeinflussen und ergänzen, beziehen sich sowohl auf die Reduzierung von primären Partikeln als auch der Vorläufersubstanzen von sekundären Partikeln (SO_2, NO_x, NH_3, NMVOC) und sollten auf

- Hintergrundbelastung (u. a. Ferntransport)
- Regionaler Hintergrund
- Hot Spot

wirken. Als Akteure sind somit angesprochen: UN-ECE, EU, Bund, Land, Kommune, Industrie und Bürger.

Auf UN-ECE und EU-Ebene sind weitere internationale Vereinbarungen und Regelungen (NEC) anzustreben, die die Hintergrundbelastung durch eine Reduktion der Ferntransportlasten europaweit senken. Der Bund initiiert gegenwärtig solche Aktivitäten.

Die EU ist gefordert, über die geschaffenen Regelungen zur Luftqualität hinaus, für Dieselfahrzeuge verschärfte Grenzwerte festzulegen, damit der Partikelfilter für alle Fahrzeuge verbindlich wird. Dies würde neben einer Entlastung an Hot Spots zu einer Reduktion der Emissionen im städtischen und regionalen Hintergrund führen. Hierzu liegt zwischenzeitlich ein Vorschlag für Pkws vor, der für Partikel einen befriedigenden Grenzwert enthält und der zügig beschlossen werden soll.

Der Bund hat, wie oben dargestellt, in den letzten Jahren die erforderlichen rechtlichen Instrumente für alle Quellbereiche geschaffen, um die Partikelbelastung deutlich senken zu können. Im Quellbereich Industrie und Gewerbe bieten die novellierte TA Luft und verschiedene andere Rechtsverordnungen den zuständigen Vollzugsstellen ausreichende Handlungsmöglichkeiten [45],die Hintergrundbelastung zu senken.

Der Vollzug der Gesetze und Verordnungen liegt in unserem föderalen System im Aufgabenbereich der Länder. Diese müssen die geeigneten Maßnahmen ergreifen. Die Maßnahmen an den einzelnen Quellen senken nicht nur die Immissionsbelastung im unmittelbaren Umfeld der Quelle, sondern tragen damit insgesamt auch zur Senkung der regionalen Hintergrundbelastung bei, die ebenfalls zur Grenzwertüberschreitung beiträgt.

Sind Grenzwertüberschreitungen bereits eingetreten, müssen in erster Linie kurzfristig wirkende Aktionspläne aufgestellt werden, in denen unter Abwägung der örtlichen Verhältnisse die geeigneten Maßnahmen aufzuführen sind, mit denen die Luftbelastung kurzfristig unter den Grenzwert abgesenkt werden kann.

Die meisten Überschreitungen der Grenzwerte treten in der Nähe von stark befahrenen Straßen auf. Neben dem vollständigen Fahrverbot (z. B. für Dieselfahrzeuge ohne Filter) sind auch weniger einschneidende Handlungsmöglichkeiten denkbar, die natürlich in geringerem Umfang zu Immissionsminderungen führen. Sind die Grenzwerte nur mit Fahrverboten (z. B. für Diesel-Kfz ohne Partikelfilter) zu erreichen, so sind diese zu erlassen. Eine solche Maßnahme ist auch verhältnismäßig, da es nahezu für alle Diesel-Pkw und Lkw Nachrüstungsmöglichkeiten gibt. Die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit steht nicht zur Abwägung. Den Fahrzeughaltern muss allerdings ausreichend Zeit gegeben werden, um die Nachrüstmöglichkeiten nutzen zu können.

Im Vergleich mit den kurzfristig wirkenden Maßnahmen sind mittelfristig wirkende Handlungsmöglichkeiten vorzuziehen, weil sie weniger drastische Eingriffe zur Folge haben und zu nachhaltigeren Ergebnissen führen. Daher haben die EU und der Bund die geltenden Immissionsgrenzwerte, die die Handlungsnotwendigkeiten auslösen, mit sehr langen Vorlaufzeiten ausgestaltet.

Die mittelfristig wirkenden Maßnahmen sind in der Regel komplexer Natur. Sie tragen Überschriften wie:

- nachhaltige Stadtentwicklungspolitik oder
- nachhaltiger städtischer Verkehr.

Diese Handlungsmöglichkeiten dienen nicht nur der Luftqualität sondern der gesamten Lebensqualität in unseren Städten. Die Elemente dieses Handlungsfeldes sind sehr kompetent und prägnant durch die EU-Kommission in der „Thematischen Strategie für städtische Umwelt“ abgehandelt [46].

Will man das Feinstaubproblem grundsätzlich und umfassend bekämpfen, müssen die langfristigen Maßnahmen alle Quellgruppen umfassen, um insbesondere die Hintergrundbelastung deutlich senken zu können. Mit einer geringeren Hintergrundbelastung wird gleichzeitig auch die Gefahr von Grenzwertüberschreitungen an den lokalen Hot Spots verringert. Die Reduzierung der lokalen Immissionsbelastung an den Hot Spots senkt aber gleichzeitig auch die Hintergrundbelastung. Die Maßnahmen bedingen sich also gegenseitig. Auf keine kann mit Hinweis auf andere mögliche Maßnahmen verzichtet werden [10,12].

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

Literatur

[1] Bezirksregierung Düsseldorf. Luftreinhalteplan Düsseldorf; enthält ausschließlich verkehrslenkende Maßnahmen. 2004

[2] Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit.. Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft. Juli 2003

[3] Wichmann E. Abschätzung positiver Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern in Dieselfahrzeugen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamt. Juni 2003

[4] Wichmann H-E. Expertengespräch im Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 65. Sitzung: im englischsprachigen Raum werde PM2,5 als Feinstaub und PM10 als Grobstaub bezeichnet. 11. Mai 2005

[5] Englert N. Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit – Welche Partikel-Eigenschaften korrelieren mit der Wirkung? In: Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität. VDI-Berichte 1656 Düsseldorf: VDI-Verlag, 2002: 91 – 100

[6] UBA Jahresbericht 2001, aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes, Texte 69/02.: 77 – 84: 111 – 113: 169 – 173

[7] Umweltbundesamt, UBA. Hintergrundpapier zum Thema Staub/Feinstaub (PM). 2005

[8] Daten Umweltbundesamt. 2004

[9] CAFE Working Group an Particulate Matter. Second Position Paper on Particulate Matter. CAFE-Report 2003

[10] Lahl U, Steven W. Reduzierung von Partikelimmissionen – eine gesundheitspolitische Schwerpunktaufgabe, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, Nr. 7/8 und Nr. 9. 2004. http://www.bmu.de/luftreinhaltung/doc/6513.php.

[11] Nationales Programm der Bundesrepublik Deutschland nach Art. 6 der Richtlinie 2001/81/EG vom März 2003 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe. http://www.bmu.de/luftreinhaltung/sommersmog/nationales_programm/doc/6884.php.

[12] Österreichisches Umweltbundesamt. „Schwebestaub in Österreich – Fachgrundlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung“. Wien: 2005. http://www.umweltbundesamt.at/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?&pub_id = 1558.

[13] Lahl U, Steven W. Verkehrslenkung und -beschränkung, Internationales Verkehrswesen, Nr. 4, 2005. http://www.bmu.de/verkehr/downloads/doc/35 364.php.

[14] IUTA-Workshop. „PMx-Quellenidentifizierung – Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne“, Bericht zum Workshop am 22./23.01.2004. Berlin: Umweltbundesamt Berlin (Hrsg.), 2004

[15] Luftreinhalteplan für die Stadt München Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. September 2004

[16] Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main. Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz. 2005

[17] Lutz M (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin). Luftreinhalteplanung in Berlin – Konzepte und erste Ergebnisse. Vortrag zum Workshop Analyse der Luftreinhaltesituation mit Blick auf die EU-Rahmenrichtlinien unter besonderer Berücksichtigung der modellgestützten Ursachenanalyse in Berlin. November 2004

[18] Hartmann U, Geiger J. Repräsentative Beurteilung der Luftqualität in Wohngebieten und an Belastungsschwerpunkten – ein Lösungsansatz. Bonn: KRdL-Expertenforum Partikel und Stickstoff, 2005

[19] Daten des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz und des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. 2005

[20] Health effects institute. Diesel Exhaust: A Critical Analysis of Emissions, Exposure, and Health Effects. Cambridge, MA 02 139: Health Effects Institute, 1995

[21] Pott F, Heinrich U. Dieselmotorabgas und Lungenkrebs – Tierexperimentelle Daten und ihre Bewertung im Hinblick auf die Gefährdung des Menschen In: Umwelthygiene, Bd. 19, Medizinisches Institut für Umwelthygiene, Jahresbericht 1986/87, Hrsg. V. d. Ges. z. Förderung der Lufthygiene und Silikoseforschung e. V., Düsseldorf, Stefan W. Albers. 1987

[22] Heinrich U. Krebsrisiken durch Benzol und Dieselruß. Vortrag auf dem Informationstag „Gesundheitliche Risiken durch den Kfz-Verkehr“ am 25. Juni 1994 beim Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg

[23] Heinrich U. Gesundheitliche Wirkung der Dieselabgasemission: Stand der Forschung. VDI Berichte Nr. 885 1991

[24] Air Quality Criteria for Particulate Matter (October 2004) Volume I und Volume II. Washington: EPA, 2004. http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid = 87 903

[25] Voshaar T et al. Partikuläre Luftverunreinigung und ihre Folgen für die menschliche Gesundheit; Stellungnahme der deutschen Gesellschaft für Pneumologie (DGP) zur aktuellen Feinstaub-Diskussion. Zeitschrift für Pneumologie 2005 im Druck

[26] WHO 2004: Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3), WHO 2004 (E82792); siehe auch: Health aspects of air pollution: Results from the WHO project “Systematic review of health aspects of air pollution in Europe”, WHO 2004 (E83080).

[27] World Health Organization. Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3). (document EUR/04/5 042 688) (http://www.euro.who.int/document/E82792.pdf. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2004

[28] Weitere Beispiele siehe [2].

[29] Avol EL, Gauderman WJ, Tan SM et al. Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. Am J Respir Crit Care Med 2001; 164: 2067 – 2072

[30] Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust. Washington D.C.: US-EPA, 2002. http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid = 29 060

[31] Chen M, Mikecz A von. Formation of nucleoplasmic protein aggregates impairs nuclear function in response to SiO2 nanoparticles, Experimental Cell Research 305. 2005

[32] Seaton A, MacNee W, Donaldson K et al. Particulate air pollution and acute health effects. Lancet 1995; 345: 176 – 178

[33] Peters A, Döring A, Wichmann HE et al. Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? Lancet 1997; 349: 1582 – 1587

[34] Peters A, Perz S, Döring A et al. Increased Heart Rate During an Air Pollution Episode. Am J Epidemiol 1999; 150: 1094 – 1098

[35] Godleski JJ, Lovett EG, Reinisch U et al. Assessment of Ambient Particle Toxicity in Canines (abstract). Boston, Massachusetts: The Fourteenth Health Effects Institute Annual Conference, 1998

[36] Shy C, Creason J, Williams R et al. Physiological Responses of Elderly Persons to Particulate Air Pollution (abstract). Boston, Massachusetts: The Fourteenth Health Effects Institute Annual Conference, 1998

[37] Mensch und Umwelt. GSF-Forschungszentrum; http://www.gsf.de/Aktuelles/mensch+umwelt/index.phtml. März 2004; Heft 1: 2 – 3

[38] Eikmann T, Seitz H, Herr C. Feinstaub ein Menetekel für Umweltpolitiker und Umweltverwaltung? Umweltmed Forsch Prax 2005; 10 (3)

[39] Pye S, Watkiss P. CAFE 2005: CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. AEAT/ED51014/Baseline Issue 2

[40] Richtlinie 2001/81 EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe.

[41] Luftqualitätsrahmenrichtlinie (1996/62/EG) nebst dreier Tochterrichtlinien (1999/30/EG; 2000/69/ EG; 2002/3/EG).

[42] Krzyzanowski M (WHO). Latest health evidence: the impetus for further air quality improvement, Vortrag auf der Konferenz“ Managing Air Quality“. London: 25. – 26. August 2004

[43] Die in der 1. Tochterrichtlinie enthaltenen Werte für das Jahr 2010 sind Richtgrenzwerte, die noch einer weiteren Überprüfung unterzogen werden müssen

[44] Diese Grenzwerte werden im Lichte der Erkenntnis des fehlenden Schwellenwertes, der neuen Ergebnisse zu Gesundheitsbeeinträchtigungen und der Hinweise der besonderen Gefahren durch PM2,5 und UFP in der EU zurzeit einer Prüfung unterworfen

[45] Lahl U, Salomon N. Möglichkeiten der Emissionsminderung stationärer Anlagen zur Einhaltung der Feinstaub-Emissionsgrenzwerte, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft. 2005 (7/8)http://www.bmu.de/luftreinhaltung/feinstaub/doc/35830-pHp

[46] Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Entwicklung einer thematischen Strategie für städtische Umwelt. Kom (2004) 60. http://europa.eu.int/eur-lex/de/com/cnc/2004/com2004_0060de01.pdf.

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.