

Feinstaub – eine gesundheitspolitische Herausforderung

Vortrag

von

Dr. habil. Uwe Lahl

Ministerialdirektor

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

46. Kongress

Deutsche Gesellschaft für Pneumologie

17. März 2005

Berlin

Pneumologie-Bericht050317.doc

Gliederung

1. Hintergrund	S. 3
2. Luftbelastung	S. 3
2.1. Definitionen	S. 3
2.2. Belastung mit Partikeln	S. 6
3. Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln	S. 8
3.1. Abhängigkeit der Wirksamkeit von der Partikelgröße	S. 9
3.2. Epidemiologische Studien, Zeitreihen- und Kohortenstudien	S. 10
3.3. Toxikologische Untersuchungen	S. 12
3.4. Wahrscheinlichstes Schädigungsmodell	S. 14
3.5. Handlungsbedarf	S. 15
4. Das rechtliche Instrumentarium	S. 19
5. Zusammenfassung	S. 23

1. Hintergrund

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass Feinstaub (Partikeln - PM₁₀) schwere Gesundheitsschäden und das Ansteigen der Sterblichkeitsrate aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Lungenkrebs verursachen. Nach Untersuchungen der WHO wurde im Jahr 2000 durch Partikeln die durchschnittliche Lebenszeit in EU25 um 8,6 Monate und in Deutschland um 10,2 Monate verkürzt.

Die Weltgesundheitsbehörde, die EU-Kommission, sowie der National Research Council und die EPA der USA stellen die Wirkung von Partikeln auf die menschliche Gesundheit als eines der gegenwärtig vorrangigen umwelthygienischen Schwerpunktthemen heraus.

Hauptverursacher dieser gesundheitsschädlichen Partikelmissionen ist der Verkehr.

2. Luftbelastung

In den letzten Jahren hat sich die Datenlage zu den kleinen und kleinsten Staubpartikeln stetig verbessert.

2.1 Definitionen

In der englischsprachigen Literatur wird der Begriff „Particulate Matter - PM“ verwendet. Im folgenden werden die Schwebstaubpartikeln mit Partikeln oder PM bezeichnet.

Eine gute Übersicht hat die VDI-Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN¹ erarbeitet, die die Partikeln in erster Linie über ihre Größe einteilt (siehe hierzu auch Wichmann²):

Als **Schwebstaub** bezeichnet man feste oder flüssige Schwebstoffe, die in Gasen suspendiert sind. Es werden in dieser Ausarbeitung die folgenden Definitionen verwendet:

¹ Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft. Hrsg.: 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, Juli 2003

² Wichmann, E., Abschätzung positiver Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern in Dieselfahrzeugen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamt, Juni 2003

- **Der Schwebstaub** (total suspended particulates, **TSP**) ist die Aerosolkomponente der in der Luft vorhandenen Partikeln bis zu einem oberen aerodynamischen Durchmesser von rund 30 μm (VDI 2463, Bl. 1).
- **Der thorakale Schwebstaub** (thoracic particulates, **PM₁₀**) umfasst Partikeln, die einen in der ISO 7708 definierten gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 μm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.
- **Der alveolengängige Schwebstaub** (respirable particulates, **PM_{2,5}**) umfasst Partikeln, die einen in der ISO 7708 definierten gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 μm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Er wird auch als Feinstaub (FP) bezeichnet.
- **Die ultrafeinen Partikeln (UFP)** umfassen Teilchen mit einem thermodynamischen Durchmesser von weniger als 0,1 μm .
- **Grobe Partikeln (coarse particles)** sind im internationalen Schrifttum Partikeln mit dem Größenbereich von 2,5 bis 10 μm .

Die Partikeln haben entsprechend ihrer Größe sehr unterschiedliche Eindringtiefen und Schädigungspotentiale (siehe hierzu Kap. 3, Gesundheitliche Auswirkungen)

Die Ultrafeinen Partikeln (UFP) sind eine Teilmenge von PM_{2,5}, diese sind eine Teilmenge von PM₁₀, und diese wieder eine Teilmenge von TSP. Die UFP tragen wenig zur Gesamtmasse bei, dafür ist aber ihre Zahl bedeutend. Sie werden deshalb auch nicht in Masse-Konzentrationen, sondern in Anzahl-Konzentrationen angegeben.

Der Masse-Anteil von PM₁₀ an TSP beträgt in der Regel etwa 60-90%, der von PM_{2,5} an PM₁₀ etwa bei 50-80%, woraus sich für PM_{2,5} ein Anteil von ca. 30-75% am TSP ergibt.³

Hinsichtlich des Entstehens sind Partikeln (PM) solche Teilchen unterschiedlicher Größe und chemischer Zusammensetzung, die entweder unmittelbar in die Luft emittiert werden (Primäre Partikeln) oder aus Vorläufersubstanzen in einer chemischen Reaktion in der Luft entstehen (Sekundäre Partikeln). Solche Vorläufersubstanzen sind Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak, flüchtige organische Verbindungen (NMVOC = non methane volatile organic compounds = flüchtige organische Verbindungen mit Ausnahme von Methan). Sekundäre Partikeln sind in der Regel sehr klein (UFP). Über das Entstehen und die Entstehungsmechanis-

³ 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, Düsseldorf, 2002. S. 91-100.

men von sekundären Partikeln aus den genannten Vorläufersubstanzen siehe UBA-Jahresbericht 2001.⁴

Primäre Partikeln können aus natürlichen und anthropogenen Quellen stammen.

Tabelle1: Natürliche und anthropogene Quellen, Größe der Partikel⁵

Quelle	Größe der Partikeln 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, Milbenexkrementen)	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

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

Die Partikel sind nicht statisch, sondern es kommt bei ihnen fortlaufend zu Umwandlungen. Ultrafeine Partikel können u.a. aufgrund ihrer hohen Eigenbeweglichkeit miteinander koagulieren. Hierdurch kommt es zur Bildung von größeren Teilchen. [2]

Ultrafeine Partikel werden darüber hinaus in Gegenwart von feinen und groben Partikeln adsorbiert (scavenging effect). Insgesamt hat die Reduktion größerer Partikel durch Luftreinhaltemaßnahmen 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 gegenwärtig die Anzahl der emittierten ultrafeinen Partikel nicht größer ist. [2]

⁴ UBA Jahresbericht 2001, Texte 69/02, S. 77-84, 111-113, 169-173

⁵ Daten Umweltbundesamt (2004)

2.2 Belastung mit Partikeln

Im globalen Maßstab überwiegen bei der Emission die natürlichen Quellen. Für die Immissionskonzentrationen in den Industrienationen spielen jedoch die Emissionen aus anthropogenen Quellen wegen ihrer vergleichsweise längeren Verweildauer in der Atmosphäre eine wichtigere Rolle.

Die folgenden beiden Tabellen zeigen die Immissionsbelastungen mit PM₁₀ und PM_{2,5} in verschiedenen Bereichen (Grenzwert PM₁₀ - Jahresmittel 40 µg/m³; Tagesmittel 50 µg/m³ mit 35 erlaubten Überschreitungen)

Tabelle 2: Typische Konzentrationsbereiche von PM₁₀ im Jahr 2001 an deutschen Messstationen (zusammengefasst aus den Internet-Angeboten der Messnetze der deutschen Bundesländer) [1]

Stationskategorie:	ländlich	städtischer Hintergrund	verkehrsnahe	Nähe Schwerindustrie (mit diffusen Quellen)
Jahresmittel [µg/m ³]	10 - 18	20 - 30	30 - 45	30 - 40
Anzahl der Tage mit Tagesmittel > 50 µg/m ³	0 - 5	5 - 20	15 - 100	50 - 90
Spitzenwerte, Tagesmittel [µg/m ³]	50 - 70	60 - 100	70 - 150	100 - 200

Tabelle 3: Typische Konzentrationsbereiche von PM_{2,5} im Jahr 2001 an deutschen Messstationen (zusammengefasst aus den Internetangeboten der deutschen Bundesländer) [1]

Stationskategorie	ländlich	städtischer Hintergrund	verkehrsnahe	industriell beeinflusst
Jahresmittel [µg/m ³]	10 - 15	15 - 20	25 - 30	15 - 25
Spitzenwerte, Tagesmittel [µg/m ³]	40 - 70	50 - 70	70 - 150	50 - 80

Der Verkehr ist der größte Verursacher der PM₁₀-Belastung.

Der Anteil des Verkehrs beträgt z.B. in Berlin (Messstelle MC 174) für Abgase sowie Aufwirbelung und Abrieb: 26% (Lokal), 15% (Städtischer Beitrag) und 8% (Hintergrund); zusammen also 49% (siehe Abb. 1).

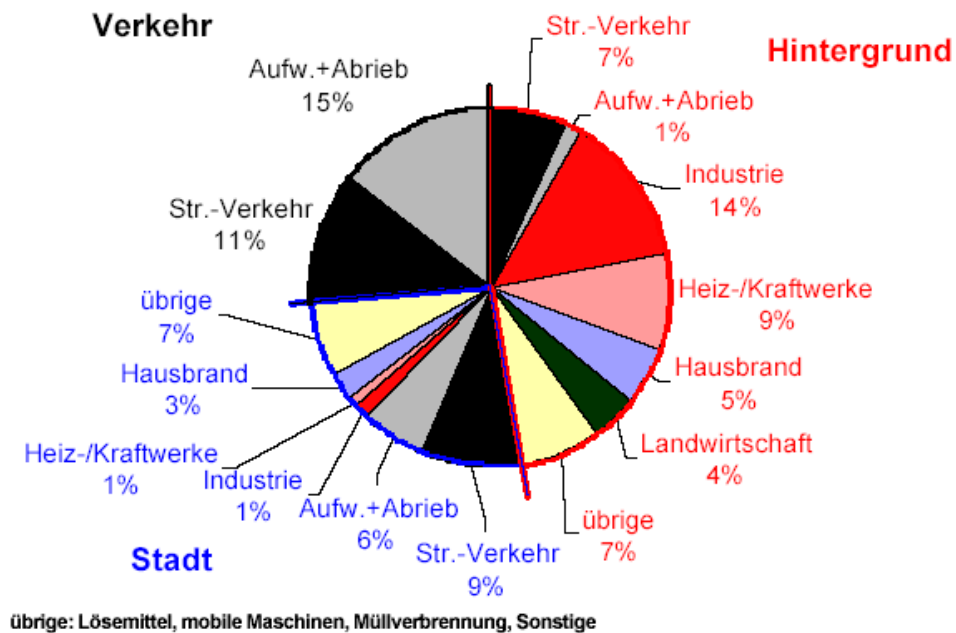


Abb. 1: Beiträge der einzelnen Quellgruppen zu PM₁₀, gegliedert nach Quellregion⁶

Der Entwurf des Luftreinhalteplans der Stadt München⁷ hebt den ganz überwiegenden Einfluss des Verkehrs auf die Luftverschmutzung in großen Städten hervor. Ca. 65 % der NO₂- und 62 % der PM₁₀-Belastung stammen aus dem Verkehr. Nahezu 100 % der Dieselpartikeln (Ruß) werden dem Verkehr zugeordnet.

⁶A. John, T. Kuhlbusch, M. Lutz, „Quellenzuordnung anhand aktueller Immissions- und Emissionsdaten in Berlin“, IUTA-Workshop “PMx-Quellenidentifizierung, Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmepläne” Umweltbundesamt 2004, S. 112, S. 120 i.V. mit S. 118

⁷http://www.regierung.oberbayern.bayern.de/pr1/pr1presse/pm2004/pm0804/LRP_M_Kapitel_1_5.pdf, Kap. 1-5, S. 41

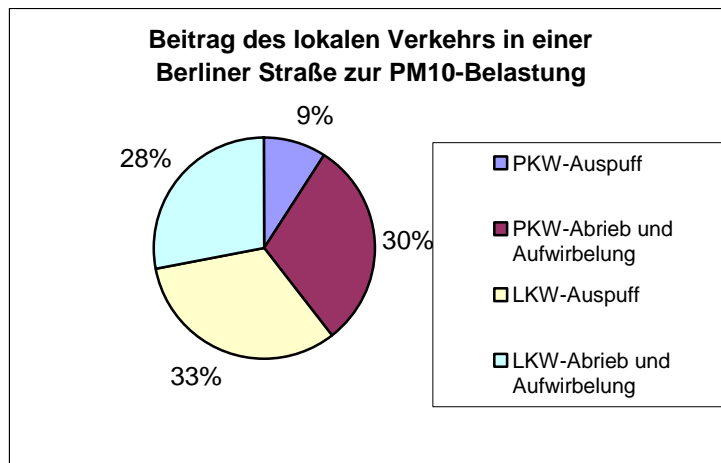


Abb. 2: Beiträge des lokalen Verkehrs in einer Berliner Strasse zur PM10-Belastung

Der Beitrag des Lastkraftwagenverkehrs beträgt in der Summe 61% (33% + 28%) der lokalen Verkehrsbelastung an PM₁₀ (siehe Abb. 2).⁸

Die besondere Rolle des Verkehrs und hier vor allem des Bus- und LKW-Verkehrs wird auch im Luftreinhalteplan Rhein-Main dargestellt.⁹ Danach sind die Emissionen des Verkehrs die Hauptursache der erhöhten PM₁₀- und NO₂-Belastungen. Im Rhein-Main-Gebiet liegen die Anteile des Verkehrs für PM₁₀ bei 62 % und für NO₂ bei 55 %.

In Düsseldorf verursachen ÖPNV-Busse mit nur 0,8 % Verkehrsaufkommen 21 % der NO₂-Emissionen.

Vor dem Hintergrund dieser Zahlen ist es kurzsichtig und nicht mehr zeitgemäß, wenn auch heute noch ÖPNV-Busse ohne die wirkungsvollsten Abgasreinigung angeschafft und eingesetzt werden.

3. Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln

Die Frage, inwieweit PM eine Gefahr darstellen 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 che-

⁸ Martin Lutz, Überblick über die Schwerpunkte, Herkunft und Verursacher der Luftverschmutzung in Berlin, Vortrag 2004, Daten übertragen

⁹ Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main (Entwurf), Land Hessen, 2004

mischen Substanzen, wie Schwermetallen oder polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, und vor allem die Größe der Partikel eine Rolle.

3.1 Abhängigkeit der Wirksamkeit von der Partikelgröße [3]

Die Partikel stellen ein Konglomerat von festen und flüssigen Bestandteilen dar, die in der Luft suspendiert sind. Diese Partikel unterscheiden sich in Größe, Zusammensetzung und Entstehung. Wie in 2.1 beschrieben, werden die PM über ihre Größe (aerodynamischer Durchmesser) klassifiziert, da die Größe der PM auch über ihre gesundheitliche Wirkung wesentlich mitentscheidet.

Je größer 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 2-3 µm sind, bis in den Alveolenbereich vordringen.

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.

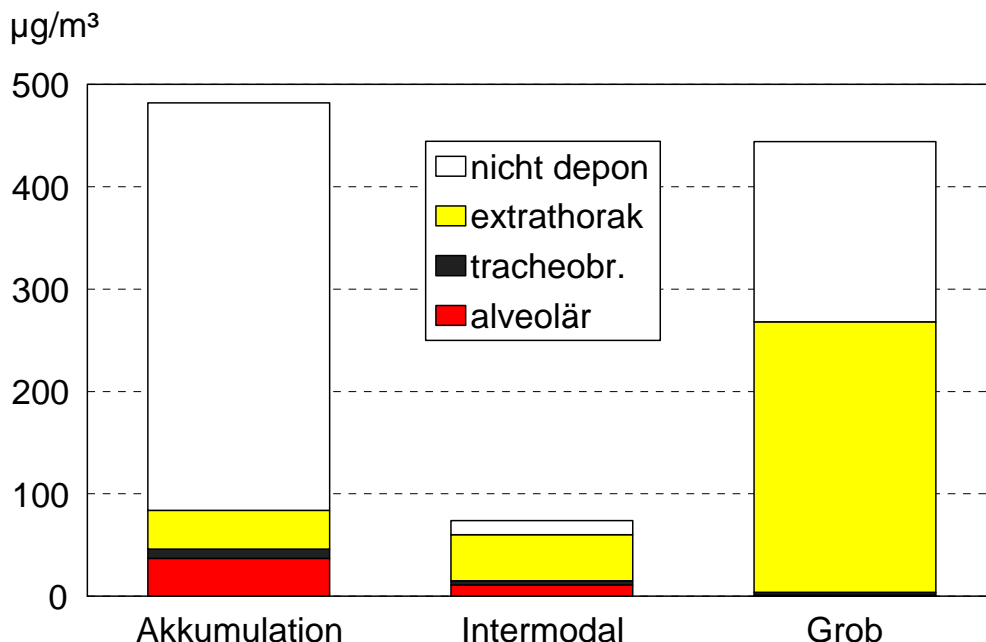


Abbildung 3 :Inhalierter und deponierter Staubmasse, aufgeschlüsselt nach Verteilungsmodus in der Außenluft und Depositionsort in den Atemwegen. [3]

Wenn man voraussetzt, dass nur dort eine Partikelwirkung auftritt, 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 des Intermodal- und des Akkumulationsmodus als die „wirksame“ Fraktion in Frage, für Veränderungen im Alveolarbereich hauptsächlich Partikel kleiner als 2,5 µm.

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 unter gesundheitlichen Gesichtspunkten weniger problematisch ist als anthropogener Staub. Die wenigen vorhandenen Untersuchungen zu diesem Thema scheinen diese Annahme zu bestätigen¹⁰.

3.2 Epidemiologische Studien, Zeitreihen- und Kohortenstudien

In den letzten Jahren wurde eine große Anzahl von Studien zur Wirkung von Partikeln auf die menschliche Gesundheit durchgeführt. [1, zusammenfassende Darstellung der Studien mit zahlreichen weiteren Literaturstellen]

Ohne im einzelnen auf die jeweiligen Untersuchungen einzugehen kann zusammenfassend festgestellt werden:

Große Kohortenstudien ergaben eindeutige Assoziationen zwischen verschiedenen Gesundheitsfaktoren (Gesamtmortalität, Mortalität durch Herz-Kreislaufkrankungen, Atemwegserkrankungen, bei Lungenkrebs zeichnet sich ebenfalls ein Zusammenhang ab) und PM₁₀ 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.

¹⁰ HEALTH EFFECTS INSTITUTE (1995) Diesel Exhaust: A Critical Analysis of Emissions, Exposure, and Health Effects. Health Effects Institute. Cambridge, MA 02139

Die folgende Abbildung zeigt eine Meta-Studie der WHO (2004) zu Zeitreihenstudien:

Tabelle 4: Meta-Analyse Europäischer Zeitreihenstudien zu PM10 und Gesundheit: Schätzung der Effektstärke (basierend auf dem relativen Risiko und dem 95%-Konfidenzintervall) bei einer Erhöhung der PM10-Konzentration um 10 µg/m³ (Quelle: WHO 2004)¹¹

Gesundheitliche Auswirkungen	Geschätzte Erhöhung des Risikos in % pro 10 µg/m ³ 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

Die epidemiologischen Studien zeigen einen Anstieg der Mortalität und der Morbidität insbesondere bei alten Menschen und bei Personen mit Atemwegs- und Herz-Kreislauf-erkrankungen.

In den durchgeführten epidemiologischen Studien konnte keine Wirkungsschwelle festgestellt werden. Dies wird damit erklärt, dass in einer großen Population es immer auch einige Individuen gibt, die auch auf sehr niedrige PM-Konzentrationen reagieren.

Interventionsstudien zeigen darüber hinaus, dass eine Reduktion der PM-Konzentrationen einen positiven Effekt auf die menschliche Gesundheit hat [1]. Zwei Beispiele sollen hier dargestellt werden¹²:

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 PM₁₀ auch Ozon, Stickstoffdioxid und Kohlenmonoxid.

¹¹ 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)

¹² Weitere Beispiele siehe [1]

In der Children's Health Study in Süd-Kalifornien wurde der Einfluss einer veränderten Luftschadstoffbelastung auf die longitudinale Zunahme der Lungenfunktion untersucht¹³. Bei Kindern, die aus dem Studiengebiet weggezogen waren, wurden im Follow up Lungenfunktionstests durchgeführt und mit früheren Lungenfunktionstests aus der Zeit verglichen, als die Kinder im Studiengebiet wohnten. Der Umzug in eine Gemeinde mit niedrigerer PM₁₀ Konzentration war mit einem Anstieg der Wachstumsrate der Lungenfunktion assoziiert, und das Wegziehen in eine Gemeinde mit höherer PM₁₀-Konzentration war mit einem reduzierten Wachstum assoziiert. Entsprechende Zusammenhänge mit Konzentrationen von O₃ und NO₂ waren schwächer.

Epidemiologische Studien deuten weiter darauf hin, dass es eine Beziehung zwischen bestimmten Emissionsquellen, vor allem Automotoren und Kohlekraftwerken, und Gesundheitsbeeinträchtigungen gibt¹⁴.

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.[2]

Nach diesem Bericht ergibt sich unter konservativen Annahmen theoretisch ein Minderungspotential 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:

In Deutschland sterben an Diesel-Ruß-Abgasen jährlich zwischen 10.000 und 19.000 Menschen vorzeitig. Die rechnerische Lebenserwartung der Gesamtbevölkerung wird hierdurch um 1 bis 3 Monate reduziert.

3.3 Toxikologische Untersuchungen [1, mit zahlreichen Beispielen und weiteren Literaturzitate]

In den letzten 10 Jahren wurde eine große Zahl von toxikologischen in vivo und in vitro Untersuchungen publiziert. Eine ausführliche Übersicht findet sich in¹⁵.

¹³ Avol, E. L.; Gauderman, W. J.; Tan, S. M.; London, S. J.; Peters, J. M. (2001): Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 164: 2067-2072

¹⁴ CAFE Working Group on Particulate Matter, Second Position Paper on Particulate Matter, CAFE-Report 2003

In Anbetracht der unbestreitbaren Evidenz der epidemiologischen Untersuchungen (s.o.) wurden toxikologische Untersuchungen hauptsächlich mit folgenden Zielrichtungen durchgeführt:

- die biologische Plausibilität der statistischen Assoziationen zu belegen,
- die für die gesundheitlichen Wirkungen verantwortlichen Staubkomponenten zu ermitteln,
- den Wirkungsmechanismus und eine Dosis-Wirkungsbeziehung für die verantwortlichen Staubkomponenten zu analysieren.

Die toxikologischen Studien ergaben u.a. folgende Ergebnisse:

- Die chemische Zusammensetzung der Partikel scheint die Toxizität deutlich 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.
- Mechanismen, die zu einer erhöhten Toxizität der UFP beitragen, sind noch nicht geklärt. [1, mit einigen potenziellen Mechanismen]

Die bisher durchgeführten tierexperimentellen Untersuchungen zeigen, dass Wirkungen nach akuter Exposition nicht an gesunden erwachsenen Tieren, sondern meist erst bei älteren und bei vorgeschädigten Tieren zu beobachten waren.

Insgesamt muss allerdings festgestellt werden, dass die toxikologischen Untersuchungen bisher noch kein abschließendes Bild ergeben [15].

¹⁵ Health effects assessment of diesel engine exhaust, US-EPA, Washington D.C. 2002):

3.4 Wahrscheinlichstes Schädigungsmodell [3]

Ein Erklärungsmodell¹⁶ geht davon aus, dass vorwiegend ultrafeine Partikel, die im Alveolarbereich Kontakt mit den Pneumocyten 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 Smogepisoden¹⁷ nachgewiesen werden. Ob Erhöhungen der Herzfrequenz, die ebenfalls in epidemiologischen Untersuchungen¹⁸, 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^{19, 20}

Eine Veröffentlichung des GSF-Forschungszentrum zeigt drei mögliche Wege auf, wie ultrafeine Partikel (UFP), die von den Fresszellen wegen ihrer geringen Größe (kleiner als 100 nm) nur schlecht erkannt werden, den Organismus schädigen.²¹

¹⁶ SEATON A, MACNEE W, DONALDSON K, GODDEN D (1995) Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* 345: 176-178.

¹⁷ PETERS A, DÖRING A, WICHMANN H.E., KOENIG W Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? *Lancet* 349 (1997): 1582-1587

¹⁸ PETERS A, PERZ S, DÖRING A, STIEBER J, KOENIG W, WICHMANN H.E., Increased Heart Rate During an Air Pollution Episode *Am. J. Epidemiol.* 150, 1094 – 1098 (1999)

¹⁹ GODLESKI JJ, LOVETT EG, REINISCH U, MURTHY GKG, KILLINGSWORTH C, CATALANO PJ, COULL B, KOUTRAKIS P, WOLFSON JM, VERRIER RL, Assessment of Ambient Particle Toxicity in Canines (abstract). The Fourteenth Health Effects Institute Annual Conference. Boston, Massachusetts 1998.

²⁰ SHY C, CREASON J, WILLIAMS R, LIAO D, ZWEIDINGER R, WATTS R, DEVLIN R, HAZUCHA M, NESTOR J, Physiological Responses of Elderly Persons to Particulate Air Pollution (abstract). The Fourteenth Health Effects Institute Annual Conference. Boston, Massachusetts 1998

²¹ Mensch und Umwelt, Heft 1, März 2004, S. 2-3, GSF-Forschungszentrum; <http://www.gsf.de/Aktuelles/mensch+umwelt/index.phtml>

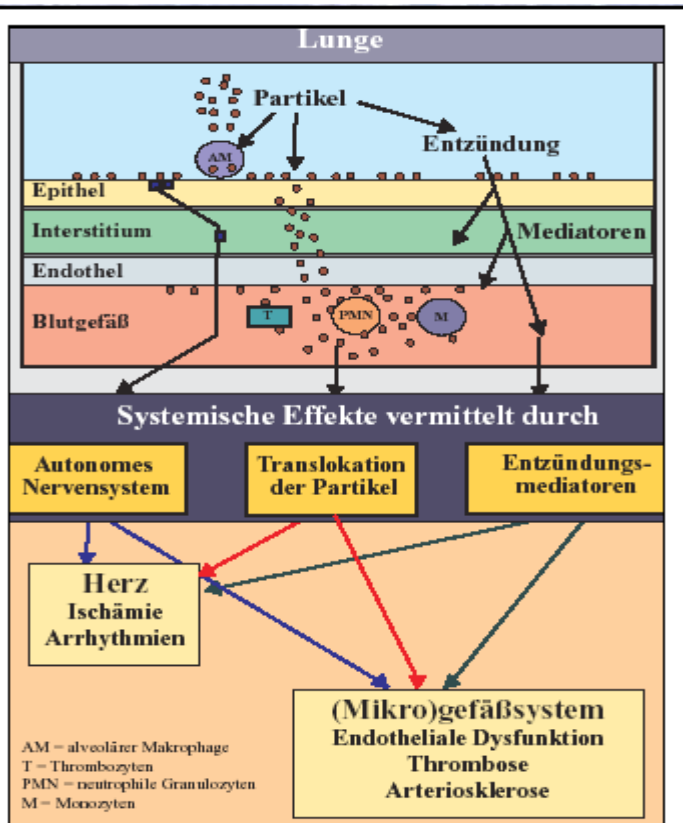


Abbildung 4: Schädigungsmodell mit drei möglichen Wegen

Ultrafeine Partikel (UFP) können 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.

3.5 Handlungsbedarf

Die WHO hat in einer früheren Veröffentlichung²² festgestellt, dass es deutliche Assoziationen zwischen der Immission von PM und Gesundheitsbeeinträchtigungen gebe, wobei es noch nicht möglich sei, diese Krankheitseffekte einer bestimmten PM-Fraktion zuzuordnen.

²² WHO Air Quality Guidelines for Europe, Second edition. Copenhagen, WHO Regional Publications, European Series, No 91. Kopenhagen 2000

In ihrer Antwort auf 12 Fragen der Europäischen Kommission im Rahmen des CAFE Programms [14] hebt die WHO hervor, dass eine große Anzahl von Untersuchungen [1, 2] in den letzten Jahren einen starken Zusammenhang zwischen PM-Immissionen und Gesundheitsbeeinträchtigungen (vor allem kardiovaskuläre Effekte) festgestellt hätten. Danach sind PM_{2,5}-Immissionen stark verbunden mit den Endpunkten für Tod und Herz-Kreislauf-Krankheiten.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den Zusammenhang zwischen Gesundheitsschäden bei einer Zunahme der PM-Konzentration von 10 µg/m³ (siehe auch Tabelle 4, S. 11).

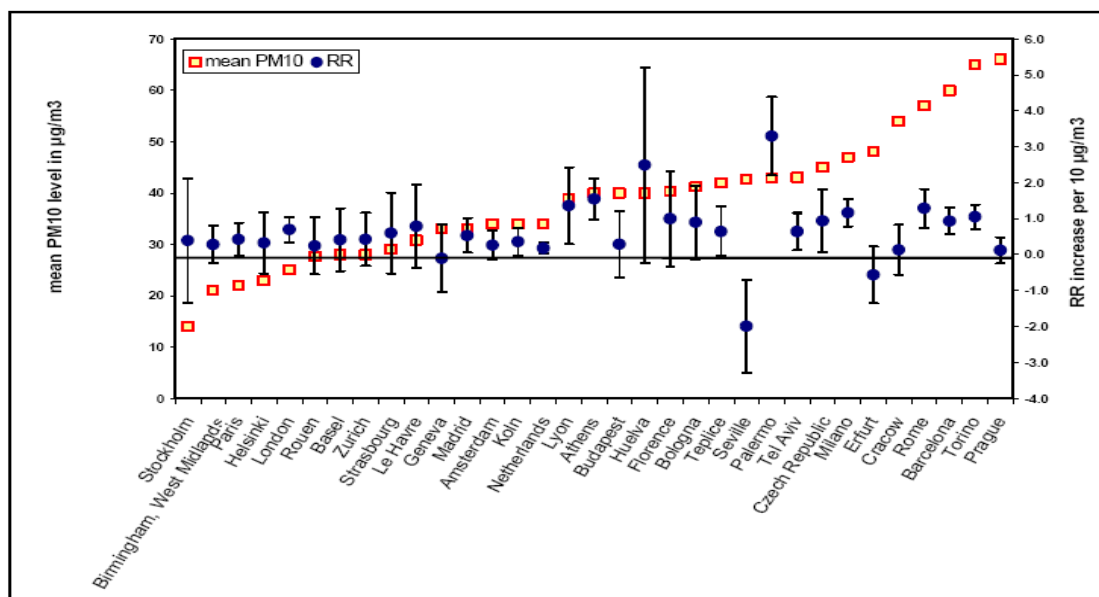


Abb. 5: Zeitreihenstudien – Zusammenhang zwischen Sterblichkeit und PM²³

²³ World Health Organization. *Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3)*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2004 (document EUR/04/5042688) (<http://www.euro.who.int/document/E82792.pdf>)

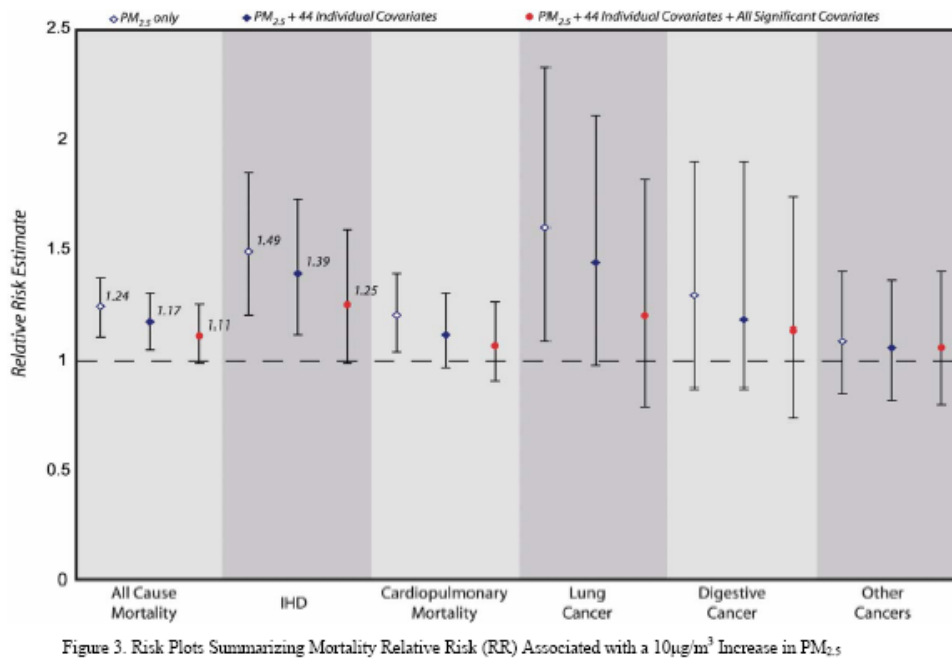


Abb. 6: Relatives Sterblichkeitsrisiko (RR) bei einer Zunahme der Konzentration PM_{2,5} um 10 µg/m³

Folgende Krankheitssymptome werden den PM zugeordnet:

- Husten
- Chronischer Husten
- Bronchitis
- Herz-Lungen-Probleme (Kardiovaskuläre Effekte)
- Verschlechterung der Lungenfunktionsmesswerte (vor allem bei Kindern)
- Lungenkrebs
- Verkürzung der Lebenserwartung

Nach Aussagen der WHO (2004) bewirkt die vorherrschende 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.

Aufgrund dieser Ergebnisse empfiehlt die WHO, Guidelines für PM_{2,5} und für PM₁₀ weiter zu entwickeln.

Die folgende Tabelle zeigt die geschätzte Wirkung der EU-Gesetzgebung auf Gesundheitsschäden durch PM₁₀.

Tabelle 5: Geschätzte Veränderungen bei durch PM hervorgerufenen Gesundheitsschäden zwischen 2000 und 2020 durch Implementierung der EU-Gesetzgebung in der EU25 und in Deutschland (Quelle: CAFÉ 2005)²⁴

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	288292	170956	117336
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Kinder)	Tage	3510	1549	1961
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Erwachsene)	Tage	22990	16055	6935
Symptome der unteren Atemwege (Kinder)	Tage	160349	68819	91529
Symptome der unteren Atemwege bei Erwachsenen mit chronischer Erkrankung	Tage	236498	159723	76773
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	63832	36216	27616
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Kinder)	Tage	781	324	457
Einnahme von Atemwegsmedikamenten (Erwachsene)	Tage	5166	3522	1645
Symptome der unteren Atemwege (Kinder)	Tage	32291	13406	18884
Symptome der unteren Atemwege bei Erwachs. mit chron. Erkrankung.	Tage	52636	34993	17644

²⁴ CAFÉ 2005: Pye S and Watkiss P. CAFÉ CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. AEAT/ED51014/Baseline Issue 2

Die Tabelle zeigt, dass die bestehenden Rechtsnormen (EU und Deutschland) in der Lage sind, PM-Emissionen, die Immissionskonzentrationen und die damit in Zusammenhang stehenden Gesundheitseffekte deutlich zu senken.

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.:

- der Lebensjahrverlust (Sterblichkeit – Langzeiteinwirkung) von ca. 3 Mio. Jahre um 1,1 Mio. Jahre,
- die Kindersterblichkeit von 600 auf 300 Fälle,
- die chronische Bronchitis von 136.000 auf 98.000 Fälle und
- die Krankenhauseinweisung wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen von 32.000 auf 20.000 Fälle.

Für Deutschland ergeben sich ungefähr gleiche proportionale Verhältnisse.

Die vorliegenden Schätzungen stimmen gut mit Berechnungen der IIASA überein.

Die aufgelistete Verbesserung der gesundheitlichen Situation kann aber nur realisiert werden, wenn die bestehenden Grenzwerte eingehalten werden. Ein Aufweichen der Grenzwerte ist in Anbetracht dieser Zahlen nicht zu rechtfertigen. Auch wenn einzelnen Kommunen Schwierigkeiten haben, die für Deutschland in der 22. BImSchV festgelegten Grenzwerte für PM₁₀ ab dem Jahr 2005 einzuhalten, darf von diesen nicht abgewichen werden. Leben und Gesundheit der Menschen ist ein zu kostbares Gut, das nicht zur Disposition steht.

4. Das rechtliche Instrumentarium

In der EU basiert das System der Luftreinhaltungsgesetzgebung in erster Linie auf der EU-Rahmen-Richtlinie über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität und den hierzu erlassenen Tochterrichtlinien sowie der NEC-Richtlinie.

Das neue Luftqualitätsrecht der EU²⁵ wurde umgesetzt durch die 7. Novelle des BImSchG und die 22. BImSchV.

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

²⁵ Luftqualitätsrahmenrichtlinie (1996/62/EG) nebst dreier Tochterrichtlinien (1999/30/EG; 2000/69/EG; 2002/3/EG)

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

Die 22. BImSchV enthält vier wesentliche Regelungselemente:

- Immissionsgrenzwerte für SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, Blei, Benzol und CO sowie Alarmschwellen für SO₂ und NO_x; Schutzziele sind die Menschliche Gesundheit und die Ökosysteme; Im Falle von SO₂ und NO₂ dient sie auch dem Schutz von Ökosystemen und der Vegetation .
- detaillierte Vorgaben für die allen Mitgliedstaaten auferlegte so genannte Ausgangsbeurteilung der Luftqualität;
- eine Konkretisierung der Luftreinhalteplanung für Gebiete und Ballungsräume mit erheblichen Luftverunreinigungen sowie
- Publikationspflichten gegenüber der EU-Kommission und Informationspflichten gegenüber der Öffentlichkeit.

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

Für PM₁₀ ist wichtig, dass sich aus epidemiologischen Studien kein Wirkungsschwellenwert ableiten lässt, unterhalb dessen gesundheitliche Auswirkungen nicht mehr festzustellen sind.^{26, 27} Deshalb müssen für PM₁₀ 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

²⁶ U. Lahl, W. Steven, Reduzierung von Partikelimmissionen – eine gesundheitspolitische Schwerpunktaufgabe, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, Nr. 7/8 und Nr. 9, 2004

²⁷ M. Krzyzanowski (WHO), latest health evidence: the impetus for further air quality improvement, Vortrag auf der Konferenz” Managing Air Quality”, London 25.-26- August 2004

bei der Umsetzung der 22. BImSchV ausgesetzt sieht, ist unter dieser Prämisse nicht akzeptabel.

Die folgende **Tabelle 6** gibt ein **Überblick über das Rechtssystem der EU und in Deutschland zur Regulierung der PM₁₀-Immissionen.**

<p>EU-Richtlinien (Beispiele):</p> <p>1. Luftqualitätsregelungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luftqualitätsrahmenrichtlinie einschl. der Tochterrichtlinien <p>2. Höchstmengenregelungen für MS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • NEC-Richtlinie <p>3. Regelungen für Anlagen und Verkehr:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Großfeuerungsanlagenrichtlinie • VOC-Richtlinie • Abgasrichtlinien LKW, PKW, Motorrad <p>1. Produktregelungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Treibstoffqualitätsrichtlinie 	<ul style="list-style-type: none"> • UN-ECE-Protokolle <p>Reduzierung großräumiger europäischer Schadstofftransporte (Ferntransporte) durch Vereinbarung nationaler Emissionshöchstmengen</p>
<p>Nationale Regelungen und Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überwachung und Verbesserung der Luftqualität, Luftreinhalteplanung <ul style="list-style-type: none"> ○ §§ 44 ff BImSchG • Immissionsgrenzwerte/Luftreinhaltepläne und Aktionspläne <ul style="list-style-type: none"> ○ 22. BImSchV (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft) • Nationale Höchstmengen <ul style="list-style-type: none"> ○ 33. BImSchV (Verordnung zu nationalen Höchstmengen) • Sektorale Maßnahmen <ul style="list-style-type: none"> ○ Sektor Verkehr (Eurostandards, steuerliche Anreize) ○ Sektor Industrieanlagen - Emissionsgrenzwerte (13., 17., 31. BImSchV, TA Luft) ○ Sektor Produkte (10. BImSchV) ○ Haushalt 	

In der 22. BImSchV werden folgende Grenzwerte für PM₁₀ für das Jahr 2005 festgelegt²⁸:

Tabelle 7: PM₁₀-Grenzwerte der 22. BImSchV²⁹:

Stoff	Art des Grenzwertes	Grenzwert	Erlaubte Überschreitungen	Zeitpunkt der Einhaltung
PM₁₀	24-Stunden	50 µg/m ³	35 Tage/Jahr	2005
	1-Jahres	40 µg/m ³	---	2005

Hinsichtlich der Reduktion der Vorläufersubstanzen (SO₂, NO_x, NH₃ und NMVOC) für PM sind Immissionsgrenzwerte von SO₂ und NO₂ in der 22. BImSchV festgelegt, deren Schutzziel die Vermeidung, Verhütung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt ist.

Tabelle 8: SO₂-und NO₂-Grenzwerte der 22. BImSchV

Stoff	Art des Grenzwertes	Grenzwert	Erlaubte Überschreitungen	Zeitpunkt
SO₂	1-Stunden-	350 µg/m ³	24 Stunden/Jahr	2005
	1-Tages-	125 µg/m ³	3 Tage/Jahr	2005
NO₂	1-Stunden-	200 µg/m ³	18 Stunden/Jahr	2010
	Jahr	40 µg/m ³		2010

Die beiden übrigen Vorläufersubstanzen NH₃ und NMVOC sind neben SO₂ und NO_x in der 33. BImSchV geregelt (Umsetzung der NEC-Richtlinie). Diese Verordnung regelt die Emissionsminderung über nationale Höchstmengen.

²⁸ Die in der 1. Tochterrichtlinie enthaltenen Werte für das Jahr 2010 sind Richtgrenzwerte, die noch einer weiteren Überprüfung unterzogen werden müssen

²⁹ Diese Grenzwerte werden im Lichte der Erkenntnis des fehlenden Schwellenwertes, der neuen Ergebnisse zu Gesundheitsbeeinträchtigungen und der Hinweise der besonderen Gefahren durch PM_{2,5} und UFP in der EU zur Zeit einer Prüfung unterworfen.

Tabelle 9: Emissionen in D und Emissionshöchstmengen für D in der 33. BImSchV und im UN-ECE-Protokoll

Emissionen und Emissionshöchstmengen	SO₂(kt)	NO_x(kt)	NH₃(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	636	1555	599	1607

5. Zusammenfassung

Schutzziel der 22. BImSchV ist überwiegend der Schutz der menschlichen Gesundheit. Die Immissionsgrenzwerte müssen nach § 45 Abs. 1 BImSchG eingehalten werden und sind für Personen, die sich nicht nur vorübergehend im Einwirkungsbereich der Quelle(n) aufhalten, einklagbar³⁰.

Die Immissionsgrenzwerte hinsichtlich PM₁₀ müssen ab dem 1.1.2005 und die von NO₂ ab dem 1.1.2010 eingehalten werden.

Die gegenwärtige Belastung der Umgebungsluft mit Partikeln (PM₁₀, PM_{2,5}, UFP) ist deutlich zu hoch. Die Belastungen führen zu erheblichen Gesundheitsschäden.

Mit einem umfassenden Maßnahmenpaket müssen die Belastungen mit Partikeln gesenkt werden.^{31, 32}

Der Verkehr muss entsprechend seinem Verursacheranteil in den Maßnahmenkatalog einbezogen werden. In vielen Fällen werden der Luftreinhalteplan bzw. der Aktionsplan aufgrund des Hauptverursachers Verkehr schwerpunktmäßig verkehrslenkende Maßnahmen enthalten.³³

Das Maßnahmenpaket schließt ein:

- Verkehr
- Industrie

³⁰ BVerwG vom 26.5.2004, (Az. 9 A 5.03; siehe auch Az. 9 A 6.03)

³¹ U. Lahl, W. Steven, Reduzierung von Partikelimmissionen – eine gesundheitspolitische Schwerpunktaufgabe, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, Nr. 7/8 und Nr. 9, 2004

³² U. Lahl, W. Steven, Verkehrslenkung und -beschränkung, Internationales Verkehrswesen, Nr. 4 2005 (voraussichtliche Veröffentlichung)

³³ Luftreinhalteplan Düsseldorf, Bezirksregierung Düsseldorf, 2004; enthält ausschließlich verkehrslenkende Maßnahmen

- Gewerbe
- Produkte.

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 als ultima ratio insbesondere in den Fällen in Frage, in denen verkehrsplanerische Maßnahmen allein nicht zielführend sind. Solche Maßnahmen sind durch die zuständigen Straßenverkehrsbehörden umzusetzen. **Sie sind in diesen Fällen zulässig und geboten.**

Durch die Gesetzgebung werden z.B. im Falle von PM₁₀ vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2020 in der EU u.a. folgende gesundheitliche Positiveffekte erreicht:

- der Lebensjahrverlust (Sterblichkeit – Langzeiteinwirkung) von ca. 3 Mio. Jahre um 1,1 Mio. Jahre,
- die Kindersterblichkeit von 600 auf 300 Fälle,
- die chronische Bronchitis von 136.000 auf 98.000 Fälle und
- die Krankenhauseinweisung wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen von 32.000 auf 20.000 Fälle.

Insgesamt werden danach die Krankheitseffekte durch PM um rund ein Drittel bis zur Hälfte gesenkt.

Für Deutschland ergeben sich ungefähr gleiche proportionale Verhältnisse.