

KLAUS GREFEN*

FEINSTÄUBE IN DER AUSSENLUFT
Eine interdisziplinäre Herausforderung für Forschung und Technik in Europa

FINE PARTICLES IN THE OUTSIDE AIR

Zusammenfassung

Die EU-Gesetzgebung berücksichtigt Minderungstechnologien und gesundheitliche Aspekte für Feinstäube. Da Lösungen für alle 27 EU-Mitgliedstaaten erarbeitet werden müssen, entstehen neue Fragen und politische Wechselwirkungen. Ein Grund hierfür ist die von den unterschiedlichen Emissionsquellen abhängige heterogene Verteilung der Feinstäube über Europa. Die 2008 novellierte EU-Richtlinie zur Luftreinhaltung berücksichtigt Ergebnisse zahlreicher Diskussionen im Rahmen des CAFE-Projekts zum Thema Feinstäube. Die Probleme konnten wegen fehlender wissenschaftlicher Daten jedoch noch nicht abschließend gelöst werden und sollen zur Novellierung der EU-Richtlinie 2013 zur Verfügung stehen. Dieser Beitrag beschreibt das zur Lösung der Feinstaubproblematik weiter zu entwickelnde technisch/wissenschaftliche und politische Instrumentarium sowie den gegenwärtigen Stand der Diskussion.

Schlagwörter: EU, Luftreinhaltung, Feinstäube

Abstract

EU-Legislation addresses abatement technologies and health effects for fine particles (PM, particulate matter). As solutions for all 27 EU Member States have to be found new questions and political implications are emerging. One reason is the heterogeneous distribution of PM over Europe with regard to the different contributing emission sources. The EU Air Quality Directive revised in 2008 is based on numerous discussions about the PM problem within the CAFE project. But the problem could still not entirely be solved because of missing scientific data, which shall be available when the next revision of the Directive will take place in 2013. This paper describes technical/scientific and political instruments, which have to be developed further in order to find solutions for the PM problem within the EU and gives an overview on the present state of discussion.

Keywords: EU, air quality, particulate matter

* Prof. Dr.-Ing. Klaus Grefen,
Institut für Prozess- und Verfahrenstechnik, Technische Universität Berlin.

1. Einführung

Die Feinstaubproblematik ist nicht neu. Bereits 1974 wurde vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) auf die Gefährdung des Städters durch Feinstäube hingewiesen [1]. Inzwischen wurde das Thema von der EU als Schwerpunktaufgabe im Umweltschutz aufgegriffen und ist für Medizin, Forschung, Technik und Politik zu einer großen Herausforderung geworden: Vernünftige Lösungen sind nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit möglich.

Auch in der Arbeitsmedizin spielt die Feinstaubproblematik seit langem eine große Rolle. T.L. Ogden und J.L. Birkett vom Institut für Arbeitsmedizin in Edinburgh berichteten bereits 1977 über Versuche mit einer Nachbildung eines Menschenkopfes (Größe ca. 1:1) als Staubsammler [7]. Dieser wurde in einem Strömungskanal verschiedenen Windströmungen von 0,75 bis 2,75 m/s und einer Beladung von Partikeln bis 30 µm aerodynamischem Durchmesser ausgesetzt. Die in Nase und Mund bei verschiedenen „Atmungsfrequenzen“ eintretende Partikelmasse wurde gemessen und mit Ergebnissen, welche mit isokinetisch arbeitenden Staubsammlern gewonnen wurden, verglichen. Wenn mit konstanter Beladung beaufschlagt wurde, verhielt sich der künstliche Kopf wie ein direkter Sammler und zeigte eine zehnfache Streuung für die Einatmungswirksamkeit bei verschiedenen Anströmgeschwindigkeiten und Windrichtungen sowie eine doppelte Streuung noch bei 5 µm. Feine Unterschiede in der Gesichtsausprägung des Kopfes dagegen hatten wenig Auswirkungen auf die Ergebnisse. Die Wirksamkeit für verschiedene „Atmungsmuster“ und Volumenströme wurde von T. L. Ogden und J. L. Birkett berechnet und gemessen. Für verschiedene Anströmrichtungen und Volumenströme wurde so die „Einatmungsrate“ untersucht, um die wechselnde Ausrichtung eines Menschen zur Anströmung zu simulieren. Die Aufnahmeleistungen lagen alle in einem relativ schmalen Bereich dicht zusammen und wesentlich unter 100%. Die vorgenannten Ergebnisse von T.L. Ogden und J.L. Birkett konnten für die Weiterentwicklung von Staubsammlern berücksichtigt werden. Sie zeigen aber auch, wie empfindlich bzw. unempfindlich die Anatomie des menschlichen Kopfes mit Mund und Nase als „biologischer“ Abscheideapparat auf wechselnde Anströmparameter reagiert.

In der englischsprachigen Literatur wird für den deutschen Begriff „Feinstaub“ der Begriff „Particulate Matter – PM“ verwendet. Eine Übersicht zur Feinstaubproblematik und zur Definition von hiermit in Verbindung stehenden Begriffen hat die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN Normenausschuss erarbeitet [2, 3]: Als Feinstaub bezeichnet man feste oder flüssige Schwebstoffe (Aerosole), die in Gasen suspendiert sind. Hierunter fallen folgende Fraktionen:

- PM₁₀ umfasst alle Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm,
- PM_{2,5} umfasst alle Partikel bis zu einem Durchmesser von 2,5 µm,
- UFP (ultrafeine Partikel) umfassen Teilchen mit einem Durchmesser von bis zu 0,1 µm.

Die UFP sind eine Teilmenge von PM_{2,5}, diese sind eine Teilmenge von PM₁₀, 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 sehr hoch. Sie werden deshalb nicht in Masse-, sondern in Anzahl-Konzentration angegeben. In deutschen Städten liegt die UFP-Belastung im Durchschnitt bei 10 Milliarden Partikeln/m³ 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} liegt etwa bei 50 bis 80%, woraus sich für $PM_{2,5}$ ein Anteil von ca. 30 bis 75% an TSP ergibt.

Diese grobe Definition des Begriffes Feinstaub ist im technischen und medizinischen Sinne unbefriedigend, denn gerade die kleinen Partikeln zeigen je nach Größe, Form und Herkunft unterschiedliches Verhalten sowohl für die Abscheidung in technischen Apparaten als auch in biologischen „Apparaten“ mit oberen, mittleren und unteren Atemwegen (Lunge), vgl. auch [7]. Für die Asbestfaser ist eine deutliche Abhängigkeit ihrer gefährdenden Wirkung von Größe und Form der Faser bewiesen, die unter anderem in der mechanischen Reizung des Lungengewebes begründet ist. Ebenso zeigt auch die chemische Analyse von Staubteilchen je nach Herkunft oft klare qualitative und quantitative Unterschiede, die für die in jedem Gebiet vorherrschenden Emissionsquellen in Europa typisch sein können. Dabei verdienen die Metallstäube mit Inhaltsstoffen von z.B. Mangan, Kupfer, Zink, Cadmium, Blei, Vanadium, Beryllium und Quecksilber besondere Beachtung.

Der Mediziner kann die Frage nach der gefährdenden Wirkung eines Schadstoffes nur beantworten auf Grund von validierten Messdaten, z.B. über Konzentrationen, chemische Analyse, Korngrößenverteilung, Form und Größe von Partikeln. Messtechniker und Ingenieure wiederum brauchen die Zusammenarbeit mit den Medizinern, um bei der Entwicklung neuer Geräte und Apparate darüber informiert zu werden, welche Schadstoffe z.B. bis zu welcher Konzentration noch messbar oder abscheidbar sein müssen, um zum Schutze des Menschen und seiner Umwelt über Langzeit- und Kurzzeitwirkungen treffende Aussagen machen zu können. Da es sich um ein gesamteuropäisches Problem handelt, ist letztendlich die Legislative in Europa gefordert, alle Ergebnisse in Rechtsnormen umzusetzen und laufend dem wissenschaftlichen Fortschritt anzupassen: Für das zusammenwachsende Europa mit 27 Staaten (2008) ist das insbesondere für PM keine leichte Aufgabe, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

2. Wirkungen von Feinstäuben auf die Gesundheit

Feinstäube werden heute besonders für die Auswirkungen von Luftverschmutzungen auf die Gesundheit verantwortlich gemacht [2, 3]. Die Reduzierung von Partikelimmissionen ist dadurch eine große gesundheitspolitische Schwerpunktaufgabe [4]. Zu den Auswirkungen gehören die Verstärkung von Allergiesymptomen, die Zunahme von asthmatischen Anfällen, Atemwegsbeschwerden und Lungenkrebs (z.B. auch durch Zigarettenrauch) sowie ein gesteigertes Risiko von Mittelohrentzündungen bei Kindern. Daneben werden auch Auswirkungen auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen (z.B. Herzinfarkt) angenommen [2, 3]. Das Ausmaß der Auswirkung von Partikeln auf die Atemwege hängt, neben der Toxizität der Partikel u.a. durch Inhaltsstoffe (s.o.), auch von der Größe der Partikel ab: je kleiner eine Partikel ist, desto tiefer kann sie in feinste Verästelungen der Lunge vordringen: Feinstaub PM_{10} erreicht teilweise die Lunge, da die Filterwirkung des Nasen-Rachenraumes für feine Partikel mit weniger als 10 Mikrometer Durchmesser nicht ausreicht. Auch in der Verfahrenstechnik lassen sich feine Partikel schlechter abscheiden als grobe. Epidemiologische Studien haben für eine Erhöhung der PM_{10} -Konzentration in der Außenluft um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit stark signifikantem Ergebnis ergeben, dass die Morbidität – gemessen an der

Anzahl der Krankenhauseinweisungen durch Atemwegserkrankungen – um 0,5 bis 5,7% und die Mortalität um 0,2 bis 1,6% steigen.

Wegen des linearen Zusammenhangs gibt es keine unschädliche Feinstaubkonzentration. Aus epidemiologischen Studien lässt sich also kein Wirkungsschwellenwert ableiten, unterhalb dessen gesundheitliche Auswirkungen nicht mehr festzustellen sind. Für die Bevölkerung der EU ergibt dies im Durchschnitt eine um mindestens ein Jahr reduzierte Lebenserwartung durch Gesamtfinstaubbelastung [6, 8].

Studien sind zwar ein Hinweis auf Gesundheitsschäden; jedoch können eventuelle Störgrößen nicht ausgeschlossen werden. Ein wissenschaftlich bewiesener biologischer Wirkungsmechanismus ist noch nicht bekannt. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) nimmt Studien als Grundlage für von ihr geforderte scharfe Feinstaubgrenzwerte. Nach WHO-Aussagen verkürzt sich zur Zeit infolge des Feinstaubes die durchschnittliche Lebenszeit aller Europäer im Mittel um 8,6 Monate und in Deutschland um ca. 10,0 Monate. Die EU-Kommission geht von circa 310 000 Todesfällen europaweit aus, die jedes Jahr vorzeitig infolge Feinstaubbelastung eintreten [6].

Forschungen haben gezeigt, dass der $PM_{2,5}$ Anteil am Feinstaub besonders gesundheitsgefährdend ist. Partikel dieser Größe können bis in die Lungenbläschen gelangen. Sie sind maximal so groß wie Bakterien. Ultrafeine Partikel gelangen noch leichter bis in die Lungenbläschen (Alveolen) und werden von dort nur sehr langsam oder gar nicht wieder entfernt (Staublung). Durch die geringe Größe der Feinstaub-Partikel und der daraus resultierenden langen Verweilzeit in der Atmosphäre (Tage bis Wochen) und der atmosphärischen Transportdistanz von bis zu 1 000 km ist $PM_{2,5}$ von internationaler Relevanz. Diese besonders gefährlichen Feinstaubpartikel werden in vielen Regionen und Ländern aber noch gar nicht separat gemessen.

Eine Bewertung der Gesundheitsauswirkungen von Feinstaub durch die WHO hat klar gezeigt, dass eine erhöhte $PM_{2,5}$ -Belastung in Zusammenhang mit schweren Gesundheitsauswirkungen (z.B. Herz-Kreislaufkrankungen) steht [5]. Eine im Rahmen des CAFE-Projektes erstellte Tabelle zeigt für die einzelnen Mitgliedsstaaten der EU_{25} für $PM_{2,5}$ die statistische Erwartung der Lebensverkürzung für die Jahre 2000, 2010 und 2020 [6].

Gesundheitliche Relevanz und Gefährlichkeit einer Partikel werden nicht allein durch ihre Masse sondern vor allem durch ihre Oberfläche bestimmt. Partikel, die aus Verbrennungsprozessen stammen, sind offensichtlich gefährlicher als beispielsweise Bodenpartikel oder Reifenabrieb.

Weitgehend ungeklärt ist noch, welche Bedeutung die verschiedenen Partikelkomponenten (anorganisch, organisch, löslich, unlöslich, flüchtig, nichtflüchtig) haben.

Da sich der Mensch den größten Teil seiner Lebenszeit in Innenräumen aufhält, spielt deren Partikelbelastung z.B. durch Zigarettenrauch eine wichtige Rolle. Auch hier besteht noch besonderer Forschungsbedarf.

Wie in diesem Kapitel berichtet, ist die gesundheitliche Wirkung von PM – insbesondere von $PM_{2,5}$ und $PM_{0,1}$ – inzwischen unbestritten. Ebenso unbestritten ist die Wirkung von PM auf unser Klima, worüber hier aber nicht berichtet werden kann.

Alle Aktivitäten, Maßnahmen und Forschungen unterliegen auch in Europa zunehmend einer Kosten/Nutzen-Analyse. Insofern ist in der EU der Erfolgsdruck, mit entsprechenden Lösungsansätzen (Aufgabenwahl durch Prioritätensetzung) für den Umweltschutz und das von der EU angestrebte „hohe Schutzniveau“ zu erreichen, enorm und von besonderer

Bedeutung. Gerade die Feinstaubproblematik ist hierfür ein treffendes Beispiel, wie das folgende Kapitel zeigt.

Tabelle 1

Erwartung der statistischen Lebensverkürzung (in Monaten) bei PM_{2,5} – Belastung durch Emissionen aus menschlicher Tätigkeit [6]

(Basis: Meteorologische Bedingungen des Jahres 1997)

Spalte 1: für das Jahr 2000
 Spalte 2: für das Jahr 2010 bei EU-weit vorgegebenen Emissions-Zielen (NEC)
 Spalte 3: für 2020 bei gegenwärtig bestehender Gesetzgebung
 Spalte 4, 5, 6: für 2020 für 3 optimierte Szenarien A, B und C bei 66%, 81% und 88% von Spalte 7 (höchstmögliche Minderung)
 Spalte 7: für 2020 bei Einsatz der technisch maximal (100%) möglichen Emissionsminderung (ohne Kostenbegrenzung).

EU-Mitgliedsstaaten	2000	2010 nationale Emissions- ziele/- vorgaben	2020 Annahme: gegenwärtige Gesetz- gebung	2020 Optimierte Szenarien			2020 höchstmög- liche Minderung
				Fall A	Fall B	Fall C	
Austria	7,2	5,7	5,4	4,4	4,2	4,0	3,8
Belgium	13,2	9,5	8,9	7,3	7,0	6,7	6,5
Cyprus	4,8	4,3	4,2	4,1	4,1	4,1	4,0
Czech Rep.	8,8	6,5	5,8	4,4	4,1	4,0	3,8
Denark	5,9	4,7	4,5	3,8	3,6	3,4	3,2
Estonia	3,8	3,2	3,0	2,7	2,6	2,6	2,4
Finland	2,6	2,3	2,2	2,1	2,1	2,1	1,9
France	8,0	6,0	5,5	4,5	4,2	4,1	3,8
Germany	9,2	6,8	6,5	5,1	4,7	4,6	4,4
Greece	6,7	5,5	5,2	4,9	4,8	4,7	4,6
Hungary	10,6	8,3	7,6	5,6	5,3	5,2	4,9
Ireland	4,0	2,9	2,6	2,1	2,0	1,9	1,8
Italy	9,0	6,1	5,3	4,3	4,1	4,0	3,9
Latvia	4,5	4,0	3,8	3,4	3,3	3,2	3,0
Lithuania	6,1	5,4	5,0	4,4	4,3	4,1	3,9
Luxembourg	9,6	7,0	6,8	5,1	4,7	4,4	4,2
Malta	5,6	4,3	4,1	3,8	3,8	3,7	3,6
Netherlands	11,8	8,6	8,3	6,6	6,1	5,9	5,7
Poland	9,6	7,5	6,5	5,2	5,0	4,9	4,7
Portugal	5,1	3,2	3,2	2,8	2,5	2,4	2,2
Slovakia	9,1	7,2	6,4	4,8	4,6	4,4	4,2
Slovenia	8,2	6,5	6,0	4,8	4,6	4,4	4,1
Spain	5,2	3,5	3,2	2,8	2,7	2,6	2,5
Sweden	3,5	2,9	2,7	2,4	2,4	2,2	2,0
UK	6,9	5,0	4,6	3,5	3,2	3,1	3,0
EU-25	8,1	5,9	5,5	4,4	4,1	4,0	3,8

3. Rechtliches Instrumentarium der EU und grenzwerte

Die WHO empfiehlt angesichts der vom Feinstaub ausgehenden Gesundheitsgefahren in ihren WHO-Luftgüte-Richtlinien folgende Grenzwerte für Feinstaub [5]:

- PM₁₀. Jahresmittel 20 µg/m³,
- PM_{2,5}. Jahresmittel 10 µg/m³ sowie als Tagesmittelwerte,
- PM₁₀. Tagesmittel 50 µg/m³ ohne zulässige Tage mit Überschreitungsmöglichkeit,
- PM_{2,5}. Tagesmittel 25 µg/m³ ohne zulässige Tage mit Überschreitungsmöglichkeit.

Die Richtwerte der WHO liegen damit deutlich unter den zur Zeit rechtswirksamen Grenzwerten der EU.

Die technisch/wissenschaftlichen Grundlagen zur Luftreinhaltestrategie sowie für das rechtliche Instrumentarium der EU wurden im Rahmen des CAFE-Projektes [6, 8, 18] erarbeitet. Hierbei spielte die Feinstaubproblematik eine wesentliche Rolle.

In der EU wurden erstmals mit der Richtlinie von 1999 [11] Grenzwerte auch für Feinstäube festgelegt. Diese EU-Richtlinie wurde 2002 in deutsches Recht umgesetzt [12]. Für die Bundesrepublik Deutschland gelten hiernach folgende Grenzwerte: Seit dem 1. Januar 2005 beträgt nach dieser „EU-Feinstaubrichtlinie“ [11] für PM₁₀ der einzuhaltende Tagesmittelwert 50 µg/m³, wobei im Kalenderjahr 35 Überschreitungen zugelassen sind. Im Jahresmittel darf die Menge von 40 µg/m³ nicht überschritten werden.

Ab Januar 2010 darf der einzuhaltende Tagesmittelwert für PM₁₀ zwar weiterhin 50 µg/m³ betragen, es sind jedoch im Kalenderjahr nur noch sieben Überschreitungen erlaubt. Ab 2010 beträgt der Jahresmittelwert für PM₁₀ dann nur noch 20 µg/m³ und entspricht damit der WHO-Empfehlung.

Es besteht aber Konsens, dass PM_{2,5} gegenüber PM₁₀ der bessere Indikator zur Einschätzung der Gesundheitsgefahren ist. So verfolgt die EU im Entwurf (Anhang XIV) der neuen Luftqualitätsrichtlinie vom 11.12.2007 [13, 14] zum Schutze seiner Bürger und zur Realisierung eines „hohen Schutzniveaus“ im Umweltschutz für PM_{2,5} eine dreifache umweltpolitische Strategie:

1. Anstreben einer Konzentrationsobergrenze von 25 µg/m³ als Jahresmittelwert. Dieser Wert soll ab Januar 2010 als Zielwert erreicht werden. Die Messungen sollen an Messstationen für den städtischen Hintergrund in Gebieten und Ballungsräumen des gesamten Hoheitsgebietes eines Mitgliedsstaates erfolgen.
2. Stufe 1: Ab 1. Januar 2015 soll dieser Wert von 25 µg/m³ als Grenzwert gelten.
3. Stufe 2: Ab 1. Januar 2020 soll ein Grenzwert von 20 µg/m³ gelten. Hierbei handelt es sich um einen Richtgrenzwert, der von der Kommission im Jahre 2013 anhand zusätzlicher Informationen über die Auswirkung auf Gesundheit und Umwelt, die technische Durchführbarkeit und die Erfahrungen mit dem Zielwert in den Mitgliedsstaaten zu überprüfen ist.

Der Entwurf der neuen EU-Richtlinie vom Dezember 2007 gewährt den Mitgliedsstaaten Flexibilität in den Regionen, in denen es schwierig ist, die Grenzwerte einzuhalten. Es haben 26 der 27 EU-Mitgliedsstaaten bereits Probleme bei der Einhaltung der PM₁₀-Grenzwerte nach [11]. So werden die Grenzwerte für PM_{2,5} erst zu einem späteren Zeitpunkt verbindlich und bis dahin vorläufig als Zielwerte deklariert.

Fristen zur Einhaltung obiger Werte können um bis zu drei Jahre nach Inkrafttreten der Richtlinie (bis Mitte 2011) verlängert werden. Dafür müssen die Mitgliedsstaaten allerdings nachweisen, dass sie die einschlägigen Rechtsvorschriften der EU, wie z.B. die Richtlinie

zur „Integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung“ [15, IVU-RL], in nationales Recht vollständig umgesetzt und alle Maßnahmen zur Emissionsminderung ausgeschöpft haben. Die IVU-Richtlinie enthält Hinweise für technische und organisatorische Maßnahmen sowie Kriterien zur Definition der „besten verfügbaren Technik“.

Angesichts unterschiedlicher Voraussetzungen in den einzelnen Mitgliedsstaaten zur Lösung von Fragen zur Luftreinhaltung bestehen auch für die Feinstaubproblematik unterschiedliche Lösungs- und Optimierungsansätze zur Einhaltung von Grenzwerten in der EU₂₇. Hierbei spielen z.B. auch ungünstige lokale Bedingungen für Klima und Luftaustausch sowie grenzüberschreitende Beiträge und Emissionen aus nicht anthropogenen (natürlichen) Quellen eine Rolle, ob Grenzwerte z.B. für PM₁₀ innerhalb einer Übergangsfrist von fünf Jahren (ab 2005) erreicht werden können. Solche individuellen Regionen können bis zum 31. Dezember 2009 dann davon befreit werden, die Grenzwerte einzuhalten und sollen sich zunächst an Richtwerten orientieren. Voraussetzung hierfür ist, der EU für diese Regionen und Ballungsräume Pläne und/oder Programme zur Emissionsminderung vorzulegen. Diese Ausnahmeregelung gilt auch für andere Luftverschmutzungen als PM, z.B. für NO₂.

Stellvertretend für andere EU-Mitgliedsstaaten werden nachfolgend für die Bundesrepublik Deutschland auf Basis von Modellrechnungen des Umweltbundesamtes [9] einige Daten über die PM_{2,5}-Quellen der Jahre 2000 und 2020 dargestellt. Es wird aber darauf hingewiesen, dass wie alle Modellrechnungen auch diese Abschätzungen beträchtliche Unsicherheiten beinhalten können.

Für PM_{2,5} sind für das Jahr 2000 die folgenden Emissionsquellen zu nennen:

- Straßenverkehr (29%, davon ca. 75% aus Auspuffemissionen und 25% aus Abriebemissionen),
- Kleinfeuerungsanlagen (18%, im Wesentlichen Holzfeuerungen),
- Mobile Maschinen (11%),
- Großfeuerungsanlagen und TA-Luft-Feuerungsanlagen (9%),
- Eisen- und Stahlindustrie (7%).

Die übrigen 26% verteilen sich im Jahre 2000 auf viele andere Quellgruppen wie z.B. Zigarettenrauch, Schüttgutumschlag, Mineralstoffindustrie, Landwirtschaft, Gewerbebetriebe.

Für das Jahr 2020 entsprechen gegenüber dem Jahre 2000 nach den Modellrechnungen folgende Werte einer Emissionsminderung von ca. 40% (aufgeteilt nach den PM_{2,5}-Quellgruppen):

- Straßenverkehr (21%, davon nur noch 30% aus Auspuffgasen, dafür aber 70% aus Abrieb),
- Kleinfeuerungsanlagen (18%, im Wesentlichen Holzfeuerungen),
- Großfeuerungsanlagen und TA-Luft-Feuerungen (13%),
- Eisen- und Stahlindustrie (8%),
- Zigarettenrauch (7%),
- Schüttgutumschlag (6%),
- Landwirtschaft (im Wesentlichen Tierhaltung, (5%)

Die übrigen 21% verteilen sich auf die für 2000 angegebenen Quellgruppen, jedoch in veränderter Reihenfolge.

Die in [9] angegebenen Daten wurden auf Basis einer von der EU formulierten und normierten Berichterstattung für das Jahr 2005 an die EU weitergeleitet. Daten für den internationalen Flug- und Schiffsverkehr sind nicht in der Berichterstattung berücksichtigt.

Den Modellrechnungen liegen bestimmte Szenarien zugrunde, z.B. über Entwicklung der Energiepolitik, branchen- bzw. sektorspezifische Entwicklungen und Annahmen zur möglichen Entwicklung von Umwelttechnologien und Umweltgesetzgebung [9].

Der Verkehrsbereich steht wegen seines hohen Beitrages zur Immissionsbelastung in den Großstädten Europas im Mittelpunkt der Maßnahmendiskussion. In Berlin z.B. trägt der lokale Straßenverkehr ca. 25% zur Feinstaubbelastung bei [16, 17]. Die Hälfte dieses Beitrages ist dabei den direkten lokalen Abgasemissionen zuzuordnen. Die andere Hälfte stammt aus dem Abrieb von Bremsmaterialien und Reifen bzw. wird durch Aufwirbelung verursacht. Weitere 25% stammen aus dem „städtischen Hintergrund“, also dem überlokalen Verkehrsbereich, aus Industrie und Hausbrand. Die verbleibende andere Hälfte wird dem „regionalen und überregionalen Hintergrund“ zugeordnet, wobei ebenfalls wieder der Verkehr als Quelle beteiligt ist.

Technische und organisatorische Maßnahmen zur Minderung von anthropogenen Emissionen und Immissionen aus mobilen Quellen und stationären Anlagen für die drei Emissionengruppen Hausbrand, Industrie (einschließlich Landwirtschaft) und Verkehr und somit auch zur Minderung der Feinstaubbelastung sind zahlreich vorhanden, können hier aber im Einzelnen nicht beschrieben werden. Optimierungs- und Innovationspotenzial sind noch erheblich. Damit bleibt auch für die Verfahrenstechnik das Thema Staub eine interessante und zukunftssträchtige Herausforderung.

Bestimmte Maßnahmen werden im angesprochenen EU-Recht aber nicht vorgegeben. Es werden lediglich bestimmte Luftqualitätsziele vereinbart. Diese Strategie im EU-Recht ist sinnvoll, um der Vielfalt der Probleme zu entsprechen und die Flexibilität der Mitgliedsstaaten zur Behebung ihrer unterschiedlichen Umweltprobleme – speziell des Feinstaubproblems – nicht einzuengen. Hierin sind aber gerade Eigenständigkeit und Selbstverständnis von Forschung und Technik in Europa und weltweit begründet, wobei wegen wachsender Aufgaben und Probleme sowie angesichts der in den letzten Jahren stark angewachsenen Zahl der Mitgliedsstaaten auch für die EU gilt: Alle Strategien und Maßnahmen müssen sich einer strengen Kosten/Nutzen-Analyse unterziehen [18].

4. Zusammenfassung

Feinstäube (PM) haben sich als schädlich für die menschliche Gesundheit erwiesen. Dieses gilt insbesondere für die $PM_{2,5}$ -Fraktion, also für die einatembaren Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von unter $2,5 \mu m$. Ultrafeine Partikel mit einem Durchmesser von bis zu $0,1 \mu m$ können offensichtlich sogar bis in Blutbahn und Gehirn vordringen und verfügen somit über ein besonders hohes Gefährdungspotenzial.

Das Atmungssystem des Menschen übernimmt als biologischer Apparat die Funktion eines (unvollkommenen) Abscheidesystems für Feinstaub.

Korngrößenverteilung und chemische Analyse der Partikeln sind für die verschiedenen Regionen in Europa je nach Emissionsquelle sehr heterogen und oftmals typisch. Natürliche Emissionen (Vulkanausbrüche, Saharastaub) spielen besonders in Südeuropa für Grenzwertfestlegungen bzw. bei deren Einhaltung eine zu beachtende Rolle.

Als Quellen für Gesamtstaub und damit anteilmäßig auch für Feinstäube sind praktisch alle Emittentengruppen zu nennen: Verkehr, Industrie, Hausbrand (kleine Feuerungsanlagen), Landwirtschaft. In den einzelnen EU-Mitgliedsländern ist die Struktur der Emissionsquellen sehr unterschiedlich, dementsprechend variiert auch das Spektrum der technischen und organisatorischen Minderungsmaßnahmen. Auch an die einzusetzende Messtechnik sind hierdurch unterschiedliche Anforderungen zu stellen. Weiterhin haben die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen oftmals erheblichen Einfluss auf Bildung und Ausbreitung von Feinstäuben und das Klima.

Die EU-Kommission geht jährlich von ca. 310 000 vorzeitigen Todesfällen in den Mitgliedsstaaten aus, hervorgerufen allein durch Feinstaubbelastung. Sie hat daher bereits vor Jahren ein umfangreiches rechtliches Regelwerk geschaffen, das in jüngster Zeit entsprechend neuen Erkenntnissen aus Forschung und Technik sowie Diskussionen und Ergebnissen im Rahmen des CAFE-Projektes novelliert worden ist. Weitere Forschungen für den Bereich Verfahrenstechnik sowie in Medizin, Naturwissenschaft und Technik sind notwendig, da viele Fragen noch nicht abschließend beantwortet werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] G r e f e n K.: *Feinstäube gefährden den Städter*, Umwelt/1974. VDI-Verlag Düsseldorf.
- [2] B r u c k m a n n P., E i c k m a n n T.: *Feinstäube und menschliche Gesundheit*, Chemie in unserer Zeit, **41** (3), 2007, 248-253.
- [3] Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN: *Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft*, Umweltmedizin in Forschung und Praxis, **8** (5), 2003, 257-278.
- [4] L a h l U., S t e v e n W.: *Reduzierung von Partikelmissionen – eine gesundheitspolitische Schwerpunktaufgabe*, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, Nr. 7/8 und Nr. 9 2004, <http://www.bmn.de/Luftreinhaltung/doc/6513.php>.
- [5] WHO-Luftgüte-Richtlinien
http://www.euro.who.int/air/activities/20050222_2?language=German.
- [6] Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament: *Thematische Strategie zur Luftreinhaltung*, Brüssel 21.09.2005. KOM (2005), 446 sowie CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020, AEAT/ED 51014/Baseline Issue 2, CAFE Scenario Analysis Report Nr. 6: A final set of scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE) programme, July 2005, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxemburg, Austria.
- [7] O g d e n T.L., B i r k e t t J.L.: *The human head as a dust sampler*, In *Inhaled Particles IV*, ed. W.H. Walton, Pergamon Press, Oxford 1977.
- [8] J a c o b i S.: *Thematische Strategie zur Luftreinhaltung und Entwicklungsstand Euro 5*. Europäische Kommission, GD Umwelt, Vortrag, Wien Dez. 2005.
- [9] Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 20442202/2, UBA-FB 000965. Jörß W., Handke V.: Emissionen und Maßnahmenanalyse Feinstaub 2000-2020. Download <http://www.umweltbundesamt.de>.

- [10] Cost 633 meeting, 13 and 14 March 2008 in Brussels: Particulate matter and health in 2020, Are we on the right track? Challenges of the changing particulate air pollution in Europe: What we know and what we should know in the future, (Publication to be announced).
- [11] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (Feinstaubrichtlinie).
- [12] Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung (22. BImSchV) vom 11. September 2002.
- [13] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. Sept. 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität (soll in [14] integriert werden).
- [14] Standpunkt des Europäischen Parlaments, festgelegt in zweiter Lesung am 11. Dezember 2007 im Hinblick auf den Erlass der Richtlinie 2008/.../EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDOC.do?purRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-20...>
- [15] Richtlinie 96/61/EC über die Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU), ec.europa.eu/environment/ippc/index.htm.
- [16] L u t z M.: *Luftreinhaltung in Berlin – Konzepte und erste Ergebnisse*. Vortrag zum Workshop „Analyse der Luftreinhaltungssituation mit Blick auf die EU-Rahmenrichtlinien unter besonderer Berücksichtigung der modellgestützten Ursachenanalyse in Berlin“, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, November 2004.
- [17] H a i n s c h A.: *Ursachenanalyse der PM₁₀-Immission in urbanen Gebieten am Beispiel der Stadt Berlin*. Technische Universität Berlin, Berlin 2004, (http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/hainsch_andreas.htm), Die Deutsche Bibliothek, Leipzig 2004 (<http://deposit.ddb.de/cgi-bin/doc.serv?idn=970399960>).
- [18] CAFE Cost-Benefit Analysis of the Thematic Strategy on Air Pollution (AEAT, October 2005), CAFE Reference Documents, <http://ec.europa.eu/environment/air/cale/general/keydocs.htm>.