



Bewertung und Folgen für die Bevölkerung

Risiko Feinstaub

In toxikologischen und umweltepidemiologischen Studien haben GSF-Wissenschaftler die gesundheitlichen Risiken durch Feinstäube in der Umwelt untersucht und wichtige Ergebnisse gefunden. Wie ordnen sich diese in den internationalen Wissensstand ein? Wie bewerten deutsche und internationale Gremien den Kenntnisstand und was bedeuten die identifizierten Risiken für die Bevölkerung?

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

Bewertung toxikologischer Studien sowie dosimetrischer Evidenz. Sie entspricht überwiegend der Bewertung durch die WHO Europa und den VDI für Deutschland.

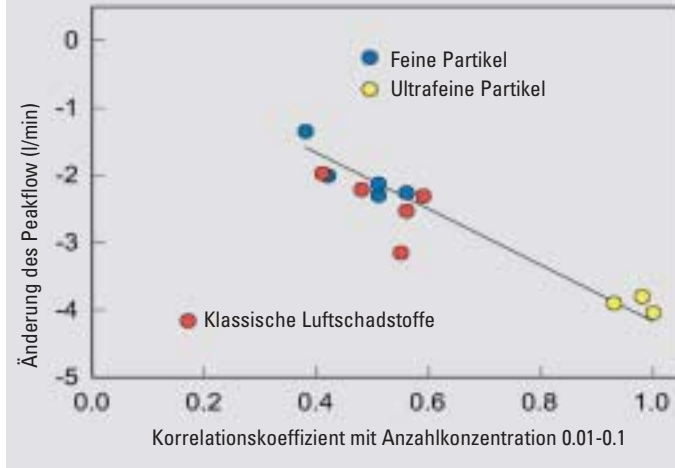
Die Liste der dokumentierten Kurzzeiteffekte ist lang: Sie reicht von erhöhten Mortalitätsraten, vermehrten Krankenhausaufnahmen und Arztbesuchen wegen Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen bis hin zu Veränderun-

gen des EKGs sowie anderer Funktionsparameter des Herz-Kreislauf-Systems und der Atemwege.

Im GSF-Institut für Epidemiologie wurde in mehreren Studien an Kindern und Erwachsenen mit Asthma untersucht, welche Rolle Partikel bei dieser Krankheit spielen. An Tagen mit hoher Partikelkonzentration traten vermehrt Asthmasymptome auf, die Lungenfunktion war leicht eingeschränkt und die Patienten benö-

tigten an den Folgetagen vermehrt Medikamente. Diese Zusammenhänge wurden vor allem bei Belastungen mit ultrafeinen Partikeln und weniger bei feinen Partikeln beobachtet.

Studien zur Langzeitexposition gegenüber Feinstaub ergeben einen statistischen Zusammenhang zwischen der Sterblichkeit an kardiopulmonalen Ursachen und Lungenkrebs. Der daraus berechnete Verlust an Lebenserwartung in der Bevölkerung kann dabei die Größenordnung eines Jahres erreichen. Epidemiologen beobachten zudem, dass die Langzeitexposition mit Feinstaub zu chronischen Atemwegserkrankungen



Reduktion der Lungenfunktion in Abhängigkeit von ultrafeinen Partikeln, feinen Partikeln und anderen klassischen Luftschadstoffen (wie SO₂ oder Schwebstaub) bei erwachsenen Asthmatikern in Erfurt. Die Lungenfunktion von Asthmatikern nahm deutlicher ab in Abhängigkeit von den ultrafeinen Partikeln als von anderen Luftschadstoffen.

Quelle: A. Peters

oder vermindertem Lungenwachstum führen kann. Das Fatale zudem: Möglicherweise erhöht chronische Feinstaubexposition auch die Empfindlichkeit gegenüber akuten Veränderungen in der Feinstaubbelastung. Der experimentelle Nachweis, dass die Dau-

erinhilation von Partikeln aus der Umwelt die Entstehung von Herz-Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen beeinflusst oder sie sogar auslöst, steht bislang noch aus.

Ältere Erwachsene und Kinder sind als empfindliche Gruppen anzusehen. Neuere Studien wei-

Gesundheitsrisiken auf lange Sicht

Unser gegenwärtiges Wissen zum Zusammenhang zwischen der Mortalität bei Erwachsenen und der Langzeitbelastung durch Feinstaub basiert auf vier amerikanischen und einer europäischen Kohortenstudie. Am wichtigsten ist die Studie der American Cancer Society, in der die Risikofaktoren und der Zeitpunkt sowie die Todesursache der Kohorte mit Immissionsdaten von bis zu 156 Ballungsräumen der USA verknüpft wurden. Die Kohorte umfasste über 500 000 erwachsene Männer und Frauen, der Beobachtungszeitraum ging von 1982 bis 1998. Der Zeitpunkt und die Todesursache wurden durch persönliche Befragungen und die nationale Todesursachendatei der USA ermittelt. Die persönlichen Angaben der Probanden wurden zum Zeitpunkt der Rekrutierung erhoben. Für alle Todesursachen, kardiopulmonale Todesfälle und die Sterblichkeit an Lungenkrebs, waren die relativen Risiken für PM_{2.5} statistisch signifikant erhöht und nahmen um 6,9 und 14 Prozent bezogen auf eine Veränderung von 10 µg/m³ PM_{2.5} zu.

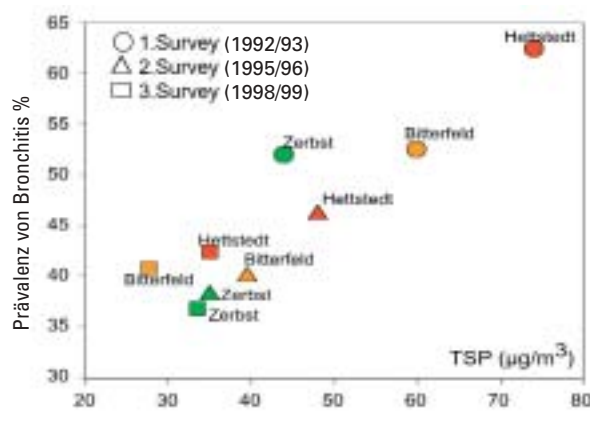
In den USA und Kanada fanden Wissenschaftler bei Kindern signifikante Assoziationen zwischen der Exposition gegenüber Feinstaub und der Verschlechterung der Lungenfunktion. In Ostdeutschland verzeichneten GSF-Wissenschaftler ein gehäuftes Auftreten von Bronchitis, Nebenhöhlenentzündungen und häufigen Erkältungen im

Zusammenhang mit Feinstaub. Auch ließ sich feststellen, dass die Ab- bzw. Zunahme der Feinstaubbelastung Einfluss auf die altersabhängige Entwicklung der Lungenfunktion bei Kindern nimmt. Der Umzug von Kindern in eine Stadt mit niedrigerer Feinstaubkonzentration war assoziiert mit einer beschleunigten Zunahme der Lungenfunktion. Umgekehrt ging der Umzug in eine Stadt mit höherer Feinstaubkonzentration mit einer verlangsamten Zunahme einher.

In Sachsen-Anhalt untersuchten GSF-Epidemiologen, welche Auswirkungen die Abnahme der Luftverschmutzung auf Atemwegserkrankungen und Symptome bei Schulkindern hat. In den Jahren 1992-1993, 1995-

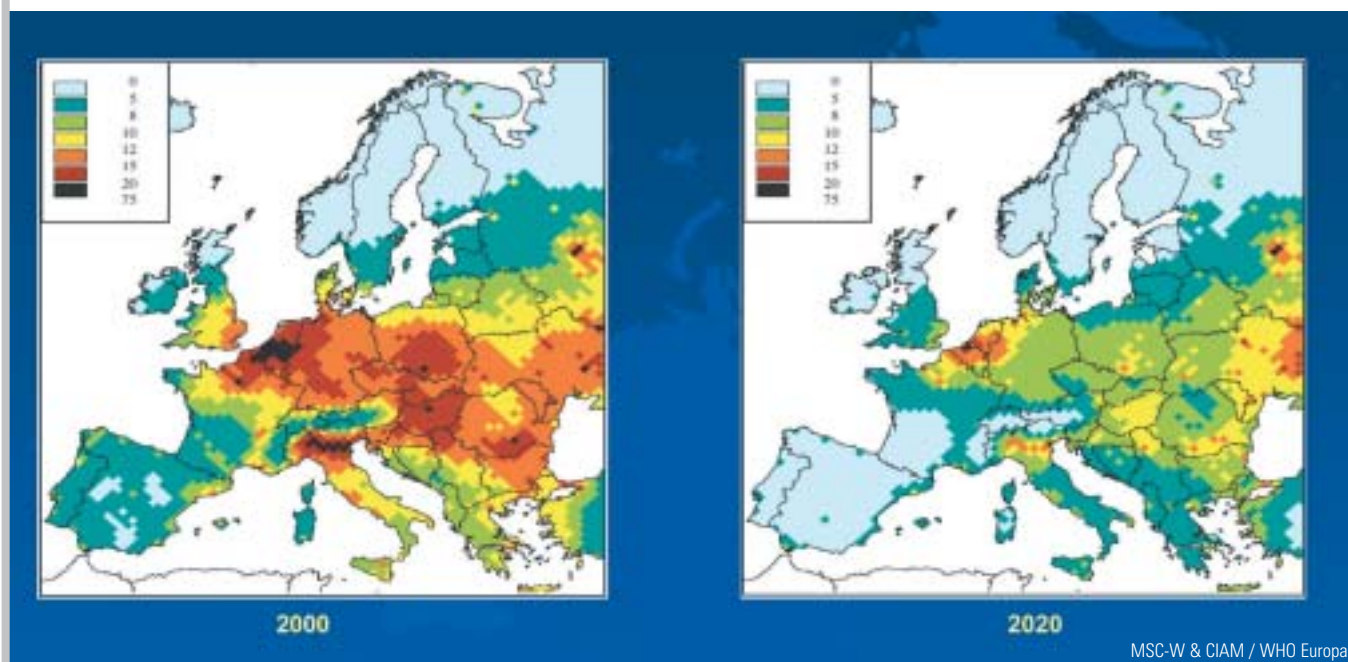
1996 und 1998-1999 führten sie Querschnittsstudien in drei Gebieten durch, in denen eine deutliche Reduktion des Jahresmittelwertes der Schwebstaubkonzentrationen (TSP) in der Zeit zwischen den Surveys eintrat. Die Wissenschaftler unter Leitung von Joachim Heinrich beobachteten eine statistisch signifikante zeitliche Abnahme der Prävalenz von Bronchitis, Mittelohrentzündungen, häufigen Erkältungen und fieberhaften Infekten. TSP, das zu ca. 80% mit PM₁₀ identisch war, wurde im Mittel um 50% reduziert (von 60 auf 30 µg/m³), gefolgt von einem Abfall der Bronchitisprävalenz um 30% und der Prävalenz häufiger Erkältungen um 20%.

Prävalenz von Bronchitis bei Schulkindern und Luftqualität



Rückgang der Prävalenz kindlicher Bronchitis mit Verbesserung der Luftqualität in Sachsen-Anhalt von 1992/93 bis 1998/99. Die Schwebstaubkonzentration (TSP = total suspended matter), die zu circa 80% mit PM₁₀ übereinstimmte, wurde im Mittel um 50% reduziert (von 60 auf 30 µg/m³), gefolgt von einem Abfall der Bronchitisprävalenz um 30%.

Quelle: J. Heinrich



MSC-W & CIAM / WHO Europa

Mittlere Jahreskonzentrationen an PM_{2,5}-Feinstaub in Europa (in µg/m³) von bekannten anthropogenen Quellen mit Ausnahme sekundärer organischer Partikel für das Jahr 2000 und Prognose für 2020. Die höchsten Belastungen finden sich derzeit in Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte in Belgien, den Niederlanden und Norditalien. Auch ist der Westen von Nordrhein-Westfalen stärker betroffen. Bis 2020 wird ein erheblicher Rückgang der Belastung prognostiziert.

Quelle: Markus Amann, IIASA

sen darauf hin, dass es genetisch vorbelastete Bevölkerungsgruppen geben könnte, die auf Feinstaubbelastungen stärker reagieren. Auch gibt es Teile in der Bevölkerung, die aufgrund ihres sozioökonomischen Status von Feinstaubwirkungen stärker betroffen sind, oder weil sie an stark befahrenen Straßen oder in der Nähe anderer Quellen wohnen.

Die epidemiologischen Studien geben keine Hinweise auf eine Schwelle bei den Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Feinstaubexposition und Mortalität im Konzentrationsbereich, der von diesen Studien abgedeckt wurde. Dies bedeutet allerdings nicht, dass auf der individuellen Ebene kein Schwellenwert besteht. Wegen der großen Schwankung der individuellen Empfindlichkeit zwischen Personen wären individuelle Schwellen epidemiologisch kaum nachweisbar, auch wenn sie existierten. In der Praxis der Grenzwertfestsetzung geht man derzeit von einer linearen

Expositions-Wirkungs-Beziehung aus.

Feinstaubbelastung in Deutschland und Europa

PM₁₀ - Feinstaub: Auf der Grundlage der Messungen im Jahr 2001 an 160 Messstationen in Deutschland ergeben sich für PM₁₀ folgende Immissionskonzentrationen: Die Jahresmittelwerte betragen im ländlichen Bereich 10-18, beim städtischen Hintergrund 20-30, verkehrsnah 30-45 und industrienah 30-40 µg/m³ PM₁₀ (gültiger Grenzwert 40 µg/m³ PM₁₀). Der Tagesmittelwert von 50 µg/m³ PM₁₀ wurde verkehrsnah an 15 bis 100 und industrienah an 50 bis 90 Tagen des Jahres überschritten.

PM_{2,5} -Feinstaub: Bei Messungen an 20 deutschen Messstationen für PM_{2,5} wurden 2001 im ländlichen Bereich 10-15, beim städtischen Hintergrund 15-20, verkehrsnah 25-30 und industrienah 15-25 µg/m³ PM_{2,5} gemessen. Derzeit gibt es noch keinen Grenzwert für PM_{2,5}, auf der

Grundlage von Empfehlungen der WHO wird jedoch derzeit in der EU die Festsetzung eines Grenzwertes vorbereitet.

Ultrafeine Partikel: Die Belastungssituation für ultrafeine Partikel (Durchmesser kleiner als 0,1 µm) ist schwer zu charakterisieren, da es nur wenige Messungen gibt. Im Jahr 2001 wurden an den GSF-Messstationen in Erfurt und Augsburg Jahresmittel von circa 15.000 Partikel pro Kubikzentimeter (cm³) gemessen. Darüber hinaus gibt es an verkehrsnahen Messpunkten Tagesmaxima von bis zu einer Million Partikel pro cm³.

Unterschiede im Risiko nach Größe und Chemie

In Hinblick auf die Partikelgröße zeigen die vorhandenen Studien, dass sowohl grobe als auch feine und ultrafeine Partikel Einfluss auf Mortalität und Krankheitsgeschehen nehmen. Die Datengrundlage ist am überzeugendsten für feine Partikel (PM_{2,5}). In Hinblick auf die chemische Zusammensetzung

spielen Partikel aus Verbrennungsprozessen die größte Rolle. Für grobe Partikel ($PM_{10-2.5}$) ist offen, wie groß möglicherweise der Beitrag biogener Prozesse (Endotoxine, Schimmelpilze) am Gesundheitsrisiko ist. Unwahrscheinlich ist, dass Erdkrustenpartikel, die vom Wind verweht werden, mit negativen Gesundheitseffekten assoziiert sind.

Der genauere Blick auf die Studienergebnisse ergibt ein nach Partikelgrößen differenziertes Bild: Es gibt umfangreiche epidemiologische Hinweise dafür, dass kurzzeitige PM_{10} -Exposition Auswirkungen auf die Mortalität und das Krankheitsgeschehen hat. Hieraus ergibt sich, dass PM_{10} (oder eine oder mehrere der PM_{10} -Komponenten) mit großer Wahrscheinlichkeit einen Beitrag zu adversen Gesundheitseffekten beim Menschen leisten. Eine zunehmende Zahl von epidemiologischen Studien zeigt Assoziationen zwischen kurzzeitiger $PM_{2.5}$ Exposition und adversen Gesundheitseffekten, woraus sich ergibt, dass $PM_{2.5}$ (oder eine oder mehrere $PM_{2.5}$ Komponenten) einen stärkeren Beitrag als PM_{10} zu den beobachteten Gesundheitseffekten leistet.

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

Ist die Masse des Feinstaubes die relevante Messgröße?

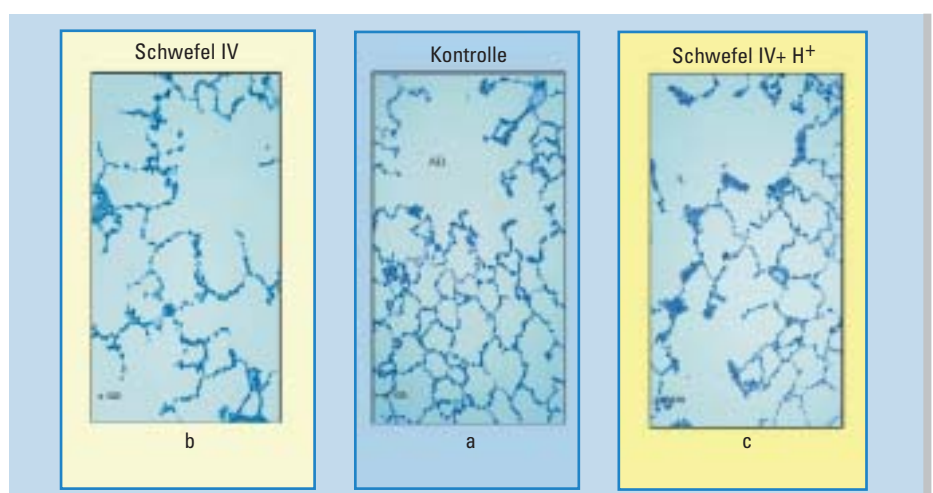
Diese Frage lässt sich derzeit vor allem toxikologisch beantworten. Weder die Partikelgrößenverteilung noch die chemische

Zusammensetzung der Partikel werden derzeit bei der gesetzlichen Regelung der Luftreinhaltung berücksichtigt. Es ist aber sicher nicht so, dass alle Bestandteile der Partikel dieselbe gesundheitliche Relevanz haben. So wird die Gefährlichkeit inhalierter Partikel tatsächlich nicht durch ihre Masse, sondern durch ihre Oberfläche bestimmt. Ferner ist es klar, dass die Partikel, die aus Verbrennungsprozessen stammen, erheblich relevanter sind als Bodenpartikel oder Reifenabrieb. Derzeit ist offen, welche gesundheitliche Bedeutung lösliche und nichtlösliche Anteile, flüchtige und nichtflüchtige Komponenten, anorganische und organische Verbindungen haben.

Feinstaub als alleiniger Übeltäter?

Immer wieder wird die Frage gestellt, ob sich die beobachteten Gesundheitseffekte von Feinstaub von den möglichen Auswirkungen gasförmiger Luftschadstoffe abgrenzen lassen. Obwohl die Partikelkonzentrationen mit den Kon-

zentrationen zahlreicher Gase korrelieren, lässt sich zumindest für die Kurzzeitwirkungen eine derartige Abtrennung zufriedenstellend durchführen. So konnte durch die Auswertung epidemiologischer Studien mit „Mehrschadstoffmodellen“ nachgewiesen werden, dass Feinstaub bedeutsamer ist als gasförmige Schadstoffe wie etwa Ozon, NO_2 , SO_2 und CO. Die Abgrenzung der Langzeitwirkungen verschiedener Schadstoffe voneinander ist dagegen schwieriger. Im GSF-Institut für Inhalationsbiologie erbrachten tierexperimentelle Langzeitstudien unter Leitung des damaligen Institutsdirektors Joachim Heyder mit schwefelhaltigen Partikeln - als Simulation für Schwefeldioxid - in umweltrelevanten Konzentrationen überraschende Resultate: Nach etwa sechsmonatiger Exposition zeigten sich erste signifikante Veränderungen nichtrespiratorischer Lungenparameter. Am Ende der zehnmonatigen Exposition beobachteten die Wissenschaftler Frühstadien eines Lungenemphysems. Bei gleichzeitiger Exposi-



Lungengewebe im Schnitt – Die Abgrenzung der Langzeitwirkung verschiedener Schadstoffe voneinander ist schwierig. Im GSF-Institut für Inhalationsbiologie erbrachten tierexperimentelle Langzeitstudien hierzu überraschende Resultate: Nach zehnmonatiger Exposition mit schwefelhaltigen Partikeln zeigen sich Frühstadien eines Lungenemphysems mit vergrößerten Lungenbläschen und einer reduzierten Oberfläche des Gasaustauschbereichs (b); nach ebenso langer Exposition mit schwefel- und zugleich säurehaltigen Partikeln bilden sich Frühstadien einer Fibrose mit verdickten Wänden am Eingang der Lungenbläschen, es zeigt sich zudem eine erhöhte Zellteilungsrate bei den Typ II Epithelzellen (c). Im Vergleich dazu: Gesundes Lungengewebe (a)

Quelle: W. Kreyling

tion mit sauren Partikeln trat dieser Effekt nicht ein.

Welche Rolle spielt der Feinstaub in Innenräumen?

Wie ist es möglich, dass statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Gesundheitseffekten und Außenluftkonzentrationen gefunden werden, obwohl die Menschen sich überwiegend in Innenräumen aufhalten? Studien zur Gesamtexposition des Menschen ergeben, dass die Feinstaubkonzentrationen aus Außenluft- und Innenraumquellen praktisch nicht korreliert sind und daher Feinstäube aus der Außenluft und im Innenraum als unabhängige Schadstoffe anzusehen sind, deren Auswirkungen man getrennt betrachten kann.

Insbesondere ist es nicht möglich, dass Feinstäube aus Innenraumquellen die gefundenen Assoziationen zwischen Feinstaubkonzentrationen in der Außenluft und gesundheitlichen Wirkungen vortäuschen.

Das Risiko rein rechnerisch

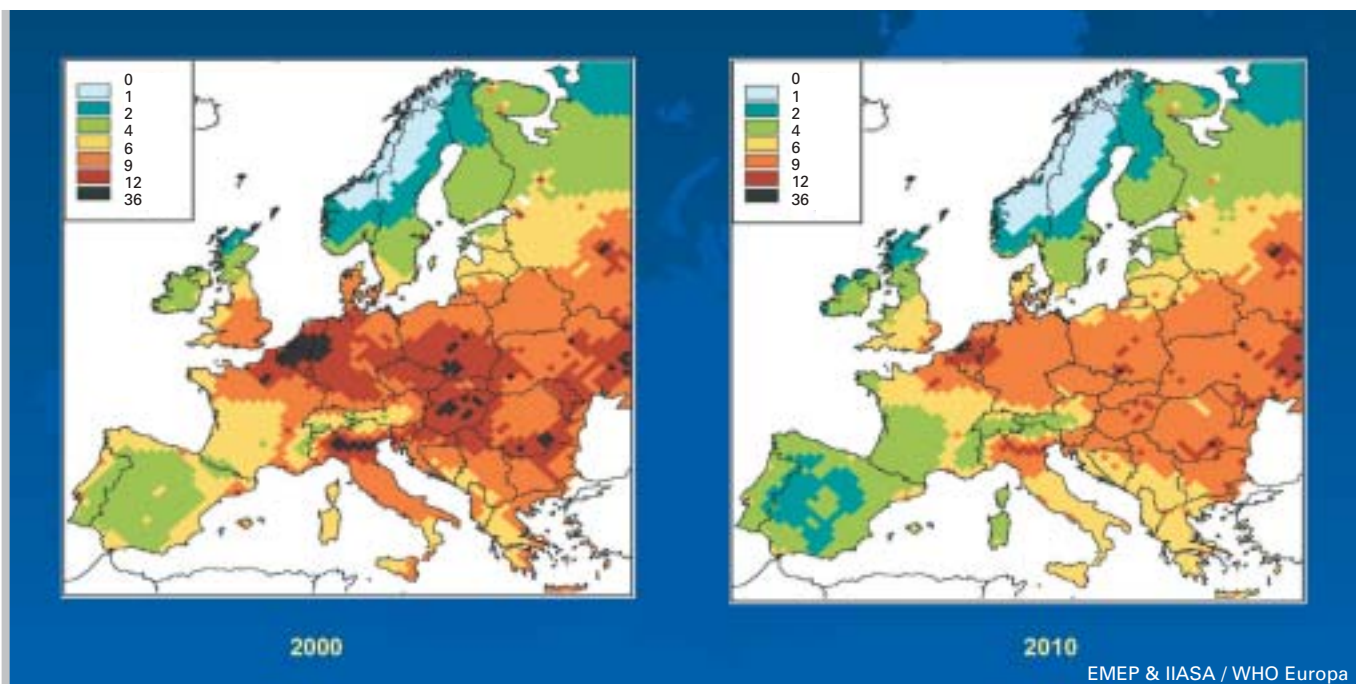
Um zumindest näherungsweise Aussagen über die Höhe von Gesundheitsrisiken jeglicher Art für die Bevölkerung machen zu können, wurden Verfahren der quantitativen Risikoabschätzung entwickelt. Die amerikanische Umweltbehörde EPA und die Weltgesundheitsorganisation WHO verwenden diese Ansätze seit längerem. Im Weltgesundheitsbericht der WHO aus dem Jahre 2002 wurden erstmals auch die Auswirkungen der Feinstaubbelastung betrachtet.

Die weltweit wichtigsten Risikofaktoren für die Mortalität in 2002 waren an erster Stelle Bluthochdruck, gefolgt von Rauchen, hohen Cholesterinwerten und Untergewicht. Die städtische Außenluftbelastung steht auf Rang 13, berechnet auf Basis der Studie der amerikanischen Krebsgesellschaft von Pope und Kollegen aus dem Jahr 2002.

Eine analoge Berechnung des Gesundheitsrisikos durch Fein-

staub für die Bevölkerung in Deutschland erfolgte durch den Leiter des GSF-Instituts für Epidemiologie H.-Erich Wichmann: Im Jahr 2001 lebten in Deutschland ca. 82 Millionen Menschen. Von ihnen verstarben cirka 830.000, was bei Berücksichtigung der Altersstruktur einer mittleren Lebenserwartung von etwa 78 Jahren entspricht. Die derzeitige mittlere Belastung der deutschen Bevölkerung durch Feinstaub beträgt ca. $25 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{PM}_{10}$ und ca. $15 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{PM}_{2.5}$. Legt man die Ergebnisse von Pope zugrunde, so steigt die Sterblichkeit pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{PM}_{2.5}$ um sechs Prozent an. Unter der Annahme einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung durch den Ursprung würde dies bedeuten, dass etwa neun Prozent der Sterblichkeit in Deutschland auf die $\text{PM}_{2.5}$ -Feinstaubbelastung zurückzuführen sind.

Sinnvoller aber ist es, nicht von zusätzlichen Verstorbenen zu sprechen, sondern vielmehr die Aus-



Berechneter Verlust an Lebenserwartung in Monaten für die Jahre 2000 und 2010 in Europa, der der Belastung mit Partikeln $\text{PM}_{2.5}$ aus anthropogenen Quellen zugeschrieben wird. Im Jahr 2000 verkürzte sich den Berechnungen zufolge die Lebenserwartung europäischer Bürger im Mittel um neun Monate, für 2010 wird ein Rückgang auf cirka sechs Monate erwartet. Quelle: Markus Amann, IIASA

wirkungen auf die durchschnittliche Lebenserwartung zu betrachten. Denn die hier zu diskutierenden drei Todesursachen Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-erkrankungen und Lungenkrebs treten zumeist erst in höherem Lebensalter auf.

Der Zusammenhang zwischen erhöhter Mortalität und verkürzter Lebenserwartung lässt sich durch eine lineare Beziehung annähern, solange die Veränderungen nicht deutlich über zehn Prozent hinausgehen. Für die Umrechnung bei Todesursachen im höheren Lebensalter gilt: Die Veränderung der Gesamtmortalität um ein Prozent entspricht einer Veränderung der Lebenserwartung um 0,09 Jahre oder 1,1 Monate. Für die Feinstaubbelastung in Deutschland ergibt sich daraus eine Verkürzung der Lebenserwartung um etwa 0,8 Jahre oder zehn Monate, also eine Verkürzung der Lebenserwartung von ca. 78 Jahren um etwa ein Prozent.

Abhilfe durch Dieselfußfilter

Im Auftrag des Umweltbundesamtes schätzte Wichmann im Jahr 2003 das Potential der Emissionsminderung durch den Einsatz von Rußfiltern bei Dieselfahrzeugen ab. Er ging dabei davon aus, dass Dieselfahrzeuge zur Feinstaubbelastung in Deutschland einen Beitrag von 3 µg/m³ PM_{2,5} liefern. Daraus berechnete er - ebenfalls basierend auf der Studie von Pope, dass bei einer angenommenen sofortigen Ausstattung aller Dieselfahrzeuge mit Rußfiltern die Lebenserwartung der deutschen Bevölkerung - wieder rein rechnerisch - um circa zwei Monate ansteigen würde.

Unter Berücksichtigung von Sensitivitätsanalysen ergibt sich eine Spanne von ein bis drei Monaten. „Natürlich liegen diesen Zahlen zwangsläufig stark verein-

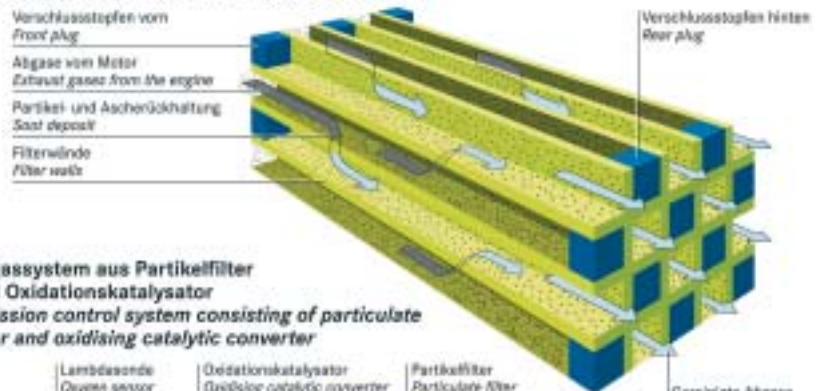
fachte Annahmen zugrunde, so dass sie nur als grobe Annäherung an die tatsächlichen Gegebenheiten verstanden werden“, ergänzt Wichmann.

Warum ist nun gerade den Dieselfußemissionen eine so zentrale Rolle in der Feinstaubproblematik zuzuschreiben? Bekanntlich sind die Komponenten des Feinstaubes von höchst unterschiedlicher Toxizität. Vereinfacht kann man davon ausgehen, dass primär die Partikel

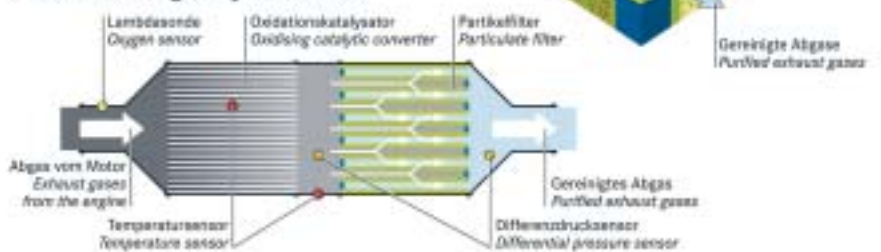
gesundheitsrelevant sind, die aus Verbrennungsprozessen stammen. Berücksichtigt man ferner, dass PM_{2,5} an straßennahen Messstationen fast doppelt so hoch ist wie im städtisch-ländlichen Hintergrund und dass der Beitrag von Diesel-Pkw und -Lkw mehr als 90% der Rußemissionen in Deutschland ausmacht, wird die Bedeutung der Dieselfahrzeuge für die Frage des Gesundheitsrisikos durch Feinstaub klar. ■



Funktionsweise des Diesel-Partikelfilters
Operating principle of the diesel particulate filter



Abgassystem aus Partikelfilter und Oxidationskatalysator
Emission control system consisting of particulate filter and oxidising catalytic converter



Partikelfilter für Dieselmotoren reduzieren die Konzentration toxischer Partikel in der Umgebungsluft erheblich. Sie können daher einen wichtigen Beitrag zur Verminderung umweltbeeinflusster Gesundheitsstörungen leisten.

Quelle: Daimler Chrysler AG