

D. A. Groneberg^{1,2}
C. Witt³

Luftqualität und Feinstaubbelastung

Air Quality and Particulate Matter

Zusammenfassung

Saubere Luft ist ein Grundpfeiler unserer Gesundheit und nicht nur für die Homöostase des Atemtrakts, sondern auch für die des gesamten Organismus von entscheidender Bedeutung. In dieser Hinsicht weisen alle nationalen und internationalen Lungenverbände auf die enorme Relevanz der Einhaltung von Richtlinien zur Luftreinhaltung hin. Sei es im Bereich der Außenluft (Umweltschadstoffe) oder auch im Bereich der Innenluft (Tabakrauch). Aufgrund pneumologischer und umweltmedizinischer Erkenntnisse hat die Europäische Union schärfere Grenzwerte für Luftschadstoffe verabschiedet, die ab 2005 bzw. 2010 eingehalten werden müssen. Erkenntnisse aus Forschung und Klinik zeigen, dass die Einhaltung dieser Grenzwerte von wesentlicher Bedeutung für die Lungengesundheit ist und dass teilweise ein Anstieg an Grenzwertübertretungen festzustellen ist. Jüngste Studien wiesen in diesem Zusammenhang nach, dass nicht nur lungenkranke Patienten, sondern auch bereits Kinder in der Lungenentwicklung durch Luftverschmutzung wesentlich gefährdet sind. Insgesamt wären bessere nationale und internationale Fördermöglichkeiten zur Erforschung der biologischen Effekte von Luftschadstoffen zu begrüßen.

Abstract

Clean air is considered to be a key factor influencing human health. It is not only important for respiratory health but influences the homeostasis of the whole human organism. In this respect, all major national and international respiratory societies point to the extremely important role of national and international clean air acts that address both inner (i.e. tobacco smoke) and outer (i.e. environmental pollutants) air pollution. Due to research at the levels of pulmonary medicine and environmental medicine, the European Union has implemented new limit values. Clinical and experimental evidence points out that it is crucial to comply with these regulations since recent studies have shown that not only patients with lung diseases but also children and their lung development are endangered by high concentrations of air pollutants. With regard to the complexity of detrimental effects new national and international research programs should be established for the assessment of health effects of air pollutants.

Serienherausgeber: C. Witt, U. Costabel

Institutsangaben

¹Zentrum für Medizin, Abteilung für Pneumologie, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland (Leiter: Prof. Dr. T. Welte)

²Klinische Forschergruppe Allergologie, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Freie Universität Berlin & Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland (Leiter: Prof. Dr. A. Fischer)

³Medizinische Klinik m. S. Kardiologie, Angiologie, Pulmologie, Bereich Pulmologie, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Freie Universität Berlin & Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland (Leiter: Prof. Dr. C. Witt)

Korrespondenzadresse

Priv.-Doz. Dr. med. David A. Groneberg · Allergie-Centrum-Charité, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Freie Universität Berlin & Humboldt-Universität zu Berlin · Augustenburger Platz 1-OR-1 · 13353 Berlin, Germany · E-mail: groneberg.david@mh-hannover.de

Bibliografie

Pneumologie 2005; 59: 607–611 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
DOI 10.1055/s-2005-870973
ISSN 0934-8387

Einleitung

Saubere Luft kann als ein wesentlicher Grundpfeiler der Gesundheit gelten. Dabei ist die Luftqualität nicht nur für den Respirationsstrakt und Gasaustauschprozesse wichtig, sondern beeinflusst den gesamten Organismus [1]. Alle nationalen und internationalen Lungenverbände weisen letztlich auf die enorme Relevanz der Einhaltung von Richtlinien zur Luftreinhaltung hin, wobei dies sowohl für die Außenluft mit der Thematik der Umweltschadstoffe als auch für die Innenraumluft (Tabakrauch) gilt [2–6]. Eine entscheidende Frage bezieht sich auf den Umgang von Gesetzgeber, Industrie und Öffentlichkeit mit der Luftreinhaltung, wobei dies aus globaler, nationaler und regionaler Sicht zu betrachten ist. Für die Europäische Union wurden aufgrund pneumologischer und umweltmedizinischer Erkenntnisse schärfere Grenzwerte für die Mitgliedsstaaten verabschiedet, die ab 2005 bzw. 2010 eingehalten werden müssen (Tab. 1). Betrachtet man den Sektor der Luftreinhaltung über den Zeitraum der letzten zwanzig Jahre, so wurden wesentliche Fortschritte in Deutschland erzielt: Es wurden Industrieanlagen und Kraftwerke umgerüstet und mit modernen Filteranlagen ausgestattet, sowie Gebäudeheizungen auf Fernwärme und Erdgas umgestellt [7]. Ebenso wurden nach der Einführung von Katalysatoren gewerbliche Fahrzeugflotten und private Pkws durch abgasärmere Fahrzeugtypen ersetzt, so dass in Teilen eine erhebliche Verbesserung der Luftqualität erreicht wurde: Am Beispiel der Berliner Luft konnte so unter anderem für das Schwefeldioxid eine Abnahme von über 90% erreicht werden.

Tab. 1 Neue PM10 und NO₂-Grenzwerte

Mittelungszeit	Grenzwert	einzuhalten ab
24 Stunden	50 µg/m ³ PM10 35 Überschreitungen	01.01.2005
1 Jahr	40 µg/m ³ PM10	01.01.2005
1 Stunde	200 µg/m ³ NO ₂ 18 Überschreitungen	01.01.2010
1 Jahr	40 µg/m ³ NO ₂	01.01.2010

Trotz der erheblichen Verbesserung der Luftqualität bestehen in vielen Bereichen weiterhin ernste Probleme durch zu hohe Schadstoffemissionen. Aus diesen Gründen wurden EU-weit geltende und im Vergleich zu den alten Grenzwerten deutlich strenger ausfallende Luftqualitätsstandards verabschiedet, wobei insbesondere die Feinstaubwerte nicht eingehalten werden.

Feinstaub/Schwebstaub

Alle festen und/oder flüssigen Teilchen, die in der Umgebungsluft suspendiert sind, werden als Feinstaub bzw. Schwebstaub bezeichnet. Die internationale Bezeichnung lautet Particulate Matter (PM), wobei die physikalischen und biologischen Eigenschaften des Feinstaubes von der Größe der Partikel und ihrer chemischen Zusammensetzung bestimmt werden. Ein wichtiger Parameter ist dabei der Partikeldurchmesser, der von wenigen Nanometern bis zu ca. 100 Mikrometern reicht [8]. Partikel ab ei-

nem Durchmesser $\geq 0,1 \mu\text{m}$ werden durch den aerodynamischen Durchmesser (d_{ae}) beschrieben. Dabei umfasst PM10 alle Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für Referenzpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $10 \mu\text{m}$ ($2,5 \mu\text{m}$ für PM_{2,5}) eine Abscheidewirksamkeit von 50% besitzt (Definition aus EU-Richtlinien). Probenahmesysteme für die einzelnen PM-Größen werden durch die europäische Norm EN 12341 beschrieben.

Feinstaub-Quellen

Es gibt natürliche und anthropogene Quellen für Feinstaub, die sich jeweils in primäre und sekundäre Quellen unterteilen lassen. Zu den primären anthropogenen Quellen gehören ortsfeste Quellen wie Kraftwerke, Müllverbrennungsanlagen, Industrieprozesse, Schüttgutumschlag, oder Hausbrand. Darüber hinaus sind mobile Quellen wie der Straßenverkehr mit Feinstaub aus Abgasen sowie aus dem Abrieb von Reifen, Bremsen und Kuppelungsbelägen von großer Bedeutung [7].

Bei den sekundären anthropogenen Quellen werden reaktive Gase wie Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x) oder Ammoniak (NH₃) freigesetzt, die in der Atmosphäre eine sekundäre Feinstaubbildung bewirken. Hauptquellen für sekundären Feinstaub sind stationäre Verbrennungsanlagen (SO₂, NO_x), Landwirtschaft (NH₃) und die chemische sowie petrochemische Industrie.

Primärer Feinstaub natürlichen Ursprungs entsteht bei Vulkanausbrüchen, Waldbränden, auf den Meeren, bei Bodenerosion und als biologisches Material als Pollen oder Sporen.

Zum sekundären Feinstaub natürlichen Ursprungs gehören Gase aus Vulkanen (SO₂, NH₃), Nitrat aus Böden und Gewässern, Schwefelwasserstoff aus Meerwasser und Methan aus Feuchtgebieten.

Entwicklung der Feinstaubemissionen

Die jährlichen Staubemissionen betragen in der BRD und der DDR vor ca. 40 Jahren noch weit über 3 Millionen (Mio.) Tonnen (t) pro Jahr. Durch den Einsatz von Filteranlagen in Kraftwerken und Industrie wurde anfangs vor allem in der BRD eine deutliche Minderung erzielt, so dass ein Rückgang der Emissionen um ca. 1 Mio. t von 1,4 Mio. t auf 0,4 Mio. t bis 1990 erfolgte. In der DDR waren die Gesamtemissionswerte bis zur Wiedervereinigung auf einem hohen Niveau von ca. 2 Mio. t. Der Rückgang der Feinstaubemission nach der Wiedervereinigung von 1990–1995 um 1,6 Mio. t wurde daher vor allem durch Verbesserungen in den neuen Bundesländern erzielt [7].

Momentan liegen die PM10-Jahresmittelwerte in Deutschland meist zwischen 20 und 35 µg/m³. Dabei wird auch immer häufiger der Wert 40 µg/m³ überschritten, wobei dies vor allem in Großstädten an Messstationen mit hohem Straßenverkehrsaufkommen der Fall ist (Abb. 1). Im Gegensatz zu kurzfristigen Tagesmittel-Überschreitungen eines PM10-Wertes von 50 µg/m³ aufgrund innerstädtisch-lokaler Spitzen bei hohem Verkehrsauf-

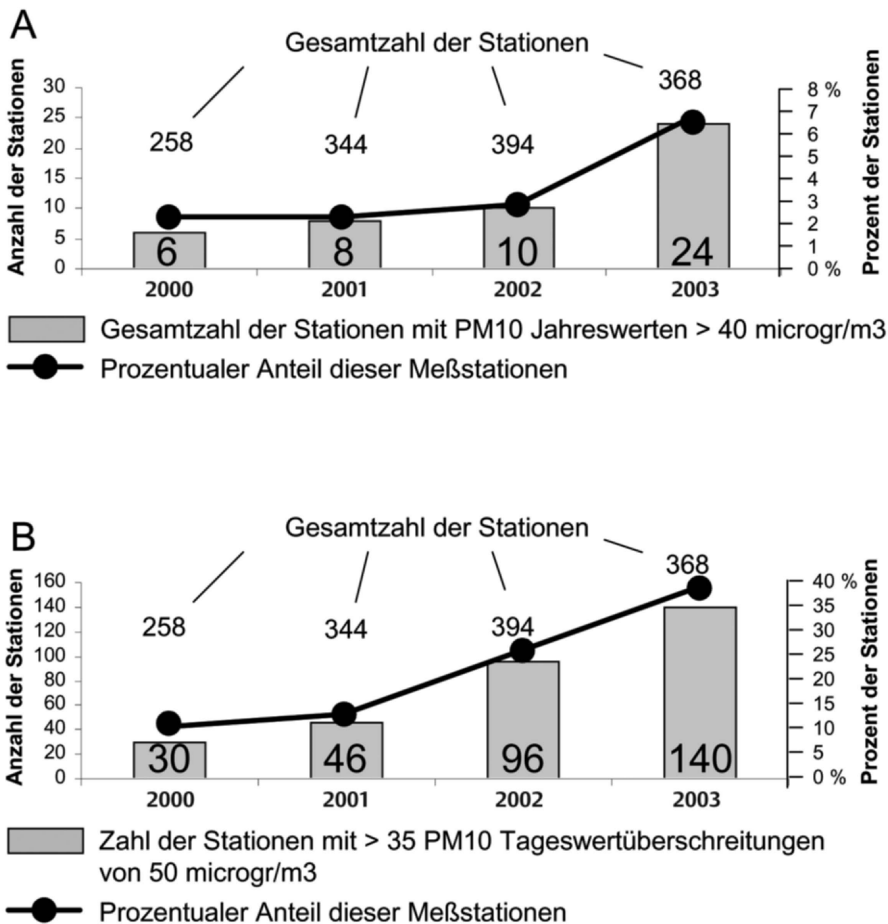


Abb. 1 Grenzwertüberschreitungen 2000–2003. **A:** Anteil der deutschen Messstationen (absolut und prozentual) mit PM10-Jahreswerten > 40 µg/m³. **B:** Anteil der deutschen Messstationen (absolut und prozentual) mit mehr als 35 Überschreitungen von 50 µg/m³ PM10 (Quelle: Bundesumweltamt [7]).

kommen, können sehr hohe PM10-Tagesmittelwerte auch großflächig-regional als Folge ungünstiger meteorologischer Bedingungen über mehrere Tage anhalten.

Gesundheitlich noch gefährdender ist Feinstaub der Klasse PM2.5. Allerdings ist die Einschätzung der PM2.5-Belastung in Deutschland derzeit noch sehr schwierig, da es noch kein flächendeckendes Meßsystem gibt. Die Anzahl der Messstationen steigt jedoch kontinuierlich, so dass es bald auch für diese Partikelklasse eine gesicherte Datenlage geben wird.

Biologische Effekte des Feinstaubes

Ein Großteil der negativen Folgen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit ist auf die Feinstaubbelastung zurückzuführen. Dabei handelt es sich um temporäre Beeinträchtigungen (Zunahme von Atemwegssymptomen), erhöhten Pharmakabedarf bei Patienten mit Lungenerkrankungen, vermehrte Krankenhausaufenthalte und letztlich auch um eine Zunahme der Mortalität [1,9], nicht nur aufgrund von Lungen- sondern auch aufgrund von Herz-Kreislaufkrankungen. Man kann davon ausgehen, dass es beim Feinstaub keinen Schwellenwert gibt, unterhalb dessen keine negativen Effekte vorhanden sind. Dies bedeutet, dass negative Wirkungen durch Reduktion des Feinstaubes vermindert, aber nicht völlig verhindert werden können. Die unter-

schiedliche Empfindlichkeit einzelner Individuen gegenüber Feinstaub wird als Ursache hierfür diskutiert.

Der Feinstaub dringt je nach Partikelgröße in die Atemwege vor. Partikel über 10 µm werden in den oberen Atemwegen herausgefiltert. Partikel kleiner 10 µm (PM10) und vor allem kleiner 2,5 µm (PM2.5) erreichen die kleinen Atemwege und die Lungenperipherie. Für Partikel kleiner 0,1 µm ist darüber hinaus bekannt, dass diese über die Alveolen in die Blutbahn vordringen können und in den verschiedensten Organen nachweisbar sind.

Wenngleich die vorhandenen epidemiologischen Studien prinzipiell keinen klaren Ursache-Wirkungs-Zusammenhang beweisen können, so lassen sich trotzdem aufgrund einer Vielzahl von Studien quantitative Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen ableiten [10–13]. Neben Zeitreihen-Untersuchungen mit der Mortalität als untersuchter Wirkung stehen dabei auch Kohortenstudien zur Verfügung. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) gibt in einem Leitfaden zum Thema Luftverschmutzung aufgrund von Zeitreihenuntersuchungen für Husten und die Anwendung bronchodilatierender Pharmaka durch Asthmatiker eine Zunahme der Sterblichkeit von etwa 3% pro 10 µg/m³ PM10 Konzentrationsunterschied an. Kohortenstudien kamen zusätzlich zu dem Ergebnis, dass pro 10 µg/m³ PM10 mit einer durchschnittlichen Verkürzung der Lebenserwartung der gesamten Bevölkerung um knapp 6 Monate und pro 10 µg/m³ PM2.5 um etwa 8 Monate zu rechnen sei [7]. Da bei diesen Untersuchungen

annähernd lineare Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen bestanden, wurde darauf geschlossen, dass nicht nur Konzentrationsspitzenwerte, sondern auch Langzeitspiegel einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Gesamtbelastung haben. Dies bedeutet für die Diskussion bezüglich des Übertretens von Spitzenwerten an einzelnen Tagen, dass dem Jahresmittelwert vermutlich eine wesentlich größere Gesamtbedeutung zukommt als den Tagesmittelwerten oder Einzelspitzen [7]. Für den Bereich der Lungentwicklung konnte in jüngsten Studien gezeigt werden, dass Feinstaub und eine Reihe anderer Luftschadstoffe ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Entwicklung der Lungenfunktion bei gesunden Kindern haben [14].

Luftqualität am Beispiel der Hauptstadt Berlin

Am Beispiel der Berliner Luft lässt sich der Stand der Realisierung der einzelnen Richtlinien nachvollziehen. Die Luftqualität der Hauptstadt wird an über 20 Stationen des Berliner Luftgütemessnetzes „BLUME“ gemessen [15]. Dabei werden hauptsächlich kontinuierliche Messungen von Ozon, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxid, Benzol, Schwefeldioxid sowie Ruß und Feinstaub durchgeführt und die Messdaten automatisch an die Zentrale mit einer stündlichen Darstellung der aktuellen Messwerte im Internet übertragen. Insgesamt hat sich die Qualität der Berliner Atemluft in den letzten Jahren durch die Umstellung von Ofenheizungen auf Fernwärme und Gas sowie den Einbau von Filteranlagen in Kraftwerke und die Neuerungen in der Autoindustrie zwar erheblich verbessert, allerdings zeigen die aktuellen Messwerte auch, dass in verkehrsbelasteten Straßen die Grenzwerte der Luftbelastung im Bereich von Benzol, Schwebstaub und Stickoxiden nach wie vor überschritten werden.

Forschungsprojekte zur Luftqualität

Stellvertretend für andere deutsche Großstädte hat sich Berlin gemeinsam mit den weiteren europäischen Großstädten Paris, Rom, Rotterdam, Leicester und Prag an dem von der Europäischen Kommission mitfinanzierten Projekt HEAVEN – Healthier Environment through Abatement of Vehicle Emissions and Noise beteiligt. Dieses Projekt soll zu einer gesünderen Umwelt durch die Verminderung fahrzeugbedingter Schadstoff- und Lärmemissionen führen und die Ergebnisse der einzelnen Messstationen lassen eine Analyse der Qualität der Berliner Luft zu. Berlin hat sich die Aufgabe gestellt, Wege zu entwickeln, wie der Autoverkehr so gesteuert werden kann, dass die Luft- und Lärmbelastung unter die entsprechenden Grenzwerte gesenkt wird. Die Bewertung der Qualität der Berliner Luft orientiert sich dabei an Grenz- und Richtwerten aus Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zum Bundesimmissionsschutzgesetz und aus Richtlinien der Europäischen Union. In einem praktischen Modellversuch im Rahmen des europäischen HEAVEN-Projekts wird getestet, wie wirksam die Umwelt durch verschiedene Arten der Verkehrslenkung verbessert werden kann. Dabei wurde unter den als hoch belastet eingestuften Straßenabschnitten ein Testgebiet gewählt, in dem gesondert Messdaten erhoben werden.

Schwerpunkte in der Bekämpfung der Luftverschmutzung

Insgesamt kommt es weiterhin langfristig darauf an, den Schadstoffausstoß aus Industrieanlagen, Kraftwerken, Verkehr und auch aus privaten Haushalten zu reduzieren. Aktuelle Schwerpunkte sind dabei insbesondere die Bekämpfung der Feinstaub- und Stickoxid-Emissionen. Dazu werden bundesweit Daten über die Menge der ausgestoßenen Feinstaub- und Stickstoffdioxid-Emissionen gesammelt und eine zusammenfassende Beurteilung der Luftqualität erhoben. Zusätzlich zu der retrospektiven Datenanalyse wird die Entwicklung der Emissionen auch prospektiv abgeschätzt, um den Bedarf neuer Maßnahmen zur Minderung der Schadstoffemissionen zu beurteilen. Die bisherigen Maßnahmen haben bereits zu wesentlichen Verbesserungen geführt. Allerdings werden sie in ihrer Gesamtheit nicht ausreichen, die Feinstaubgrenzwerte bundesweit einhalten zu können. Aus diesem Grunde sind auch gerade in Bezug auf die noch strengeren Richtgrenzwerte ab dem Jahr 2005/2010 zusätzliche Maßnahmen notwendig. Ein Beispiel dafür kann die Umstellung der Dieselmotoren auf die ab 2005 in der EU vorgeschriebene Qualität sein. Darüber hinaus wird das Ersetzen älterer Fahrzeuge durch neuere, nach den strikteren EURO-IV- und -V-Emissionsnormen ausgestattete Fahrzeuge und der Einsatz von Partikelfiltern die Luftqualität verbessern. Abschätzungen haben ergeben, dass der Einsatz von Partikelfiltern in Deutschland im Mittel zu einer Reduktion der Feinstaubbelastung um ca. $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 20% führen könnte [7].

Fazit

Die Luftqualität hat sich in Deutschland in den letzten Jahrzehnten entscheidend verbessert dank der Entwicklung neuer Schadstoff-reduzierender Techniken vor allem in industriellen Bereichen wie der Energieversorgung oder der Automobilindustrie. Trotzdem gibt es nach wie vor Bereiche, in denen kurz- und längerfristige Grenzwerte überschritten werden. Aus pneumologischer Sicht sind eine weitere Verbesserung der Luftqualität und die Erforschung von Mechanismen der Lungenschädigung durch Feinstaub und andere Noxen von entscheidender Bedeutung für eine zukünftige Verbesserung der Prävention und Behandlung von Lungenerkrankungen. Diesbezüglich wären nicht nur strenge Grenzwerte, sondern auch bessere nationale und internationale projektgebundene Fördermöglichkeiten bezüglich der Erforschung Luftschadstoff-bedingter Lungenveränderungen zu begrüßen.

Literatur

- 1 Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. *Lancet* 2002; 360: 1233 – 1242
- 2 American Thoracic Society. What constitutes an adverse health effect of air pollution? Official statement of the American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 665 – 673
- 3 Brook RD, Franklin B, Cascio W et al. Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation* 2004; 109: 2655 – 2671
- 4 Adamowicz V, Dales R, Hale BA et al. Report of an expert panel to review the socio-economic models and related components supporting

- the development of Canada-Wide Standards (CWS) for particulate matter (PM) and ozone to the Royal Society of Canada. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2004; 7: 147–266
- ⁵ Kim JJ. American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. Ambient air pollution: health hazards to children. *Pediatrics* 2004; 114: 1699–1707
- ⁶ Boadway BT, MacPhail J, Jacobson C. Ontario Medical Association position paper on health effects of ground-level ozone, acid aerosols and particulate matter. *Can Respir J* 1998; 5: 367–384
- ⁷ Bundesumweltamt. Hintergrundpapier zum Thema Staub/Feinstaub (PM). Berlin, 2005
- ⁸ Aust AE, Ball JC, Hu AA et al. Particle characteristics responsible for effects on human lung epithelial cells. *Res Rep Health Eff Inst* 2002; 110: 1–65
- ⁹ Tatum AJ, Shapiro GG. The effects of outdoor air pollution and tobacco smoke on asthma. *Immunol Allergy Clin North Am* 2005; 25: 15–30
- ¹⁰ Samet JM, Dominici F, Curriero FC et al. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987–1994. *N Engl J Med* 2000; 343: 1742–1749
- ¹¹ Dockery DW, Pope 3rd CA, Xu X et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 1993; 329: 1753–1759
- ¹² Valent F, Little D, Bertollini R et al. Burden of disease attributable to selected environmental factors and injury among children and adolescents in Europe. *Lancet* 2004; 363: 2032–2039
- ¹³ Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S et al. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 2002; 360: 1203–1209
- ¹⁴ Gauderman WJ, Avol E, Gilliland F et al. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med* 2004; 351: 1057–1067
- ¹⁵ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/>