

Gesundheitsschäden durch Feinstaub

Hans Schweisfurth

Adresse:

Professor Dr. med. Hans Schweisfurth

Pulmologisches Forschungsinstitut - IPR -

D-03044 Cottbus

Walther-Rathenau-Straße 11

Germany

Tel.: + 49 (0) 355 86 28 706

Fax: + 49 (0) 355 86 28 707

Mobile: + 49 (0) 172 73 02 349

ipr@pulmologisches-forschungsinstitut.de

www.pulmologisches-forschungsinstitut.de

Zusammenfassung

Nach Schätzung der WHO versterben jährlich weltweit vorzeitig etwa 3,3 Millionen Menschen vorwiegend in Entwicklungsländern durch Indoor Air Pollution. Etwa 2,6 Millionen vorzeitige Todesfälle werden jährlich durch die urbane Outdoor Air Pollution verursacht. Langfristige Expositionen von Feinstaub (Particulate Matter, PM) führen bei Kindern mit Asthma zur Verschlechterung der Lungenfunktion und zum Anstieg der neonatalen Mortalität. Bei Erwachsenen ging eine dauerhafte höhere PM₁₀-Belastung von 10 µg/m³ Luft mit einer durchschnittlichen Verkürzung der Lebenserwartung um knapp 6 Monate einher. Bezogen auf PM_{2,5} betrug die Abnahme der Lebenserwartung 8 Monate. Weltweit versterben jährlich 223 000 Menschen infolge der Feinstaubbelastung am Lungenkarzinom. In Deutschland erhöht die Langzeitbelastung durch PM₁₀ die Mortalität von kardiopulmonalen Erkrankungen um 12,5 - 14 %. Etwa 13 - 15 % der Sterbefälle durch Lungenkarzinom sind dem Feinstaub anzulasten. Nach Schätzungen ergeben sich in Deutschland jährlich etwa 47 000 vorzeitige Todesfälle durch die Feinstaubbelastung. Studien aus Europa zeigen, dass die Zunahme von 10 µg/m³

PM₁₀ das Lungenkarzinomrisiko um 22 % erhöht. Untersuchungen von Langzeitbelastungen von PM_{2,5} und PM₁₀ bei akuten Herzerkrankungen ergaben, dass eine Erhöhung von 5 µg/m³ des PM_{2,5}-Jahresdurchschnittwertes mit einer Zunahme von koronaren Herzerkrankungen von 13 % und eine Erhöhung von 10 µg/m³ (PM₁₀) mit einem Anstieg von 12 % assoziiert waren. Die Krankenhauseinweisungen nahmen wegen akuter Herzinsuffizienz und Tod bei Erhöhung von PM_{2,5} von 10 µg/m³ um 2,12 % und bei einer PM₁₀-Zunahme von ebenfalls 10 µg/m³ um 1,63 % zu. Eine durchschnittliche Verminderung der Feinstaubexposition (PM_{2,5}) um 3,9 µg/m³ würde 7 978 stationäre Aufnahmen wegen Herzinsuffizienz vermeiden. Da die gesundheitsschädigende Wirkung von Feinstaub bereits unter den von der EU festgelegten Grenzwerten eintritt, sind weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Feinstaubbelastung dringend erforderlich.

Feinstaub

Während in der 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts in den Smogperioden die Luftschadstoffe SO₂, NO_x und O₃ im Vordergrund der Untersuchungen über Air Pollution standen, kommt heute der Feinstaubbelastung eine besondere Bedeutung bei der Entstehung von pulmonalen und kardialen Erkrankungen zu (1-3). In der EU ist die Zahl der Todesopfer aufgrund der schlechten Luftqualität höher als die Zahl der Unfalltoten im Straßenverkehr (4).

Feinstaub wird primär emittiert oder sekundär gebildet. Primärer Feinstaub wird unmittelbar an der Quelle freigesetzt. Entstehen die Partikel durch gasförmige Vorläufersubstanzen wie Schwefeldioxid, Stickoxide oder Ammoniak, so werden sie als sekundärer Feinstaub bezeichnet.

Feinstaub kann aus natürlichen Quellen wie Emissionen aus Vulkanen, Flächen- und Waldbränden, Bodenerosionen (Wüstenstaub), Pflanzen (Pollen), Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren) oder anthropogen freigesetzt werden.

Primär anthropogener Feinstaub entsteht durch Emissionen aus Kraftfahrzeugen, Kraft- und Fernheizwerken, Abfallverbrennungsanlagen, Öfen und Heizungen in Wohnhäusern, bei der Metall- und Stahlerzeugung sowie in der Steine- und Erdenindustrie sowie beim Umladen von Schüttgütern. In Ballungsgebieten ist der Straßenverkehr die dominierende Feinstaubquelle. Dabei wird Feinstaub durch Verbrennungsmotoren (vorwiegend Dieselfahrzeuge), Bremsen- und Reifenabrieb sowie durch Staub der Straßenoberfläche freigesetzt. Die in Deutschland vorhandenen 140 Kohlekraftwerke, von denen mehr als die Hälfte mit Braunkohle betrieben werden, verursachen ebenfalls eine erhebliche Feinstaubbelastung (5, 6). In der Landwirtschaft tragen Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung zur sekundären Feinstaubbildung bei.

Feinstaub wird entsprechend seiner Größe in unterschiedliche Fraktionen eingeteilt. Als PM₁₀ (Particulate Matter, PM) werden Teilchen mit einem maximalen

aerodynamischen Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ bezeichnet. $\text{PM}_{2,5}$ erfasst Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 2,5 \mu\text{m}$. Bei $\text{PM}_{10-2,5}$ liegt der aerodynamische Durchmesser zwischen 10 und $2,5 \mu\text{m}$. Ultrafeine Partikel haben einen Durchmesser $< 0,1 \mu\text{m}$ (100 nm) (7).

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten seit dem 1. Januar 2005 europaweit Grenzwerte für die Feinstaubfraktion PM_{10} . Der Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ darf nicht öfter als 35mal im Jahr überschritten werden. In Deutschland wurde 2013 an ca. 3 % aller Messstationen dieser PM_{10} -Tagesmittelwert an mehr als 35 Tagen überschritten (8). Die höchste Zahl an Überschreitungstagen wurde 2014 in Stuttgart gemessen (Tab. 1). In Deutschland liegt die durchschnittliche jährliche PM_{10} -Belastung in urbanen Regionen im Vergleich zu den meisten europäischen Ländern im unteren Drittel. Die höchsten PM_{10} -Konzentrationen wurden in Serbien und Bulgarien ermittelt (Abb. 1). Der zulässige Jahresmittelwert beträgt $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und wurde 2013 in Deutschland eingehalten (8). Allerdings schlägt die WHO einen strengereren Jahresmittelgrenzwert für PM_{10} von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vor (9), der in Deutschland 2013 um fast 51 % überschritten wurde (10). Für $\text{PM}_{2,5}$ gilt seit 2008 europaweit ein Zielwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel, der bereits seit dem 1. Januar 2010 beachtet werden sollte. Ab 1. Januar 2015 ist dieser Wert verbindlich und ab dem 1. Januar 2020 dürfen die $\text{PM}_{2,5}$ -Jahresmittelwerte den Wert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht mehr überschreiten. Die WHO schlug bereits 2005 für $\text{PM}_{2,5}$ einen Jahresmittelwert von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und als Tagesmittelwert $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vor (9).

Krankheiten

Nach neuer Schätzung der WHO versterben jährlich weltweit vorzeitig etwa 3,3 Millionen Menschen vorwiegend in Entwicklungsländern durch Indoor Air Pollution. Etwa 2,6 Millionen vorzeitige Todesfälle (40 % ischämische Herzerkrankungen, 40 % Schlaganfälle, 11 % chronisch obstruktive Lungenerkrankungen, 6 % Lungenkarzinome, 3 % akute Infekte der unteren Atemwege bei Kindern) werden jährlich durch die urbane Outdoor Air Pollution verursacht (11).

Die gesundheitlichen Schädigungen von Feinstaub ergeben sich unter anderem dadurch, dass die Partikel je nach ihrer Größe unterschiedlich weit in die Atemwege eindringen. PM_{10} lagert sich in Nasenhöhle, Trachea und Bronchien ab. $\text{PM}_{10-2,5}$ erreicht zu einem geringen Anteil die Bronchiolen und Alveolen. $\text{PM}_{2,5}$ gelangt über die Alveolen in den Blutkreislauf. Kleinere Partikel, die eine größere Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Volumen haben, sind stärker mit den Schadstoffen belastet als größere (7). Da die Feinstaubpartikel an ihrer Oberfläche Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe anlagern, gehören sie nach Einstufung der WHO zum Gruppe 1-Karzinogen (12). Global gesehen verstarben 2010 etwa 223 000 Menschen infolge der Air Pollution am Lungenkarzinom (12).

Im Gegensatz zu anderen Luftschadstoffen wie NO_2 oder SO_2 , für die Konzentrationen bekannt sind, die zu keiner messbaren Beeinträchtigung der

Gesundheit führen, existiert beim Feinstaub keine Schwellenkonzentration, unter der keine gesundheitliche Schädigung eintritt (7, 13). Daher führen nicht nur kurzfristige erhöhte PM₁₀-Konzentrationen sondern auch längerfristige niedrigere Belastungen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen (Tab. 2).

Bei kurzfristigen Erhöhungen der PM₁₀-Konzentration stiegen die Krankenhausaufnahmen wegen Atemwegserkrankungen an (14-17). Die Gesamtsterblichkeit der Bevölkerung nahm um 1 % zu. Eine dauerhafte höhere PM₁₀-Belastung von 10 µg/m³ Luft ging mit einer durchschnittlichen Verkürzung der Lebenserwartung um knapp 6 Monate einher. Bezogen auf PM_{2,5} betrug die Abnahme der Lebenserwartung 8 Monate (7).

Die Exposition von Feinstaub über einen längeren Zeitraum führte bei Kindern mit Asthma zur Verschlechterung der Lungenfunktion und zum Anstieg der neonatalen Mortalität (18).

In Deutschland erhöht die Langzeitbelastung durch PM₁₀ die Mortalität infolge kardiopulmonaler Erkrankungen um 12,5 - 14 % (Alter > 30 Jahre). Etwa 13 - 15 % der Sterbefälle durch Lungenkarzinom sind dem Feinstaub zuzuschreiben. Nach Schätzungen ergeben sich jährlich in Deutschland insgesamt etwa 47 000 vorzeitige Todesfälle durch Feinstaubbelastung (19). Auch andere ältere Studien wiesen eine höhere Mortalität des Lungenkarzinoms durch Feinstaub nach (20-22).

Eine aktuelle Metaanalyse der European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) von 17 Kohortenstudien aus 9 europäischen Ländern ergab, dass die Zunahme von 10 µg/m³ PM₁₀ das Lungenkarzinomrisiko um 22 % erhöht. Für PM_{2,5} wurde per 5 µg/m³ ein Zunahme von 18 % errechnet. Die PM₁₀- und PM_{2,5}-Konzentrationen waren assoziiert mit einem Anstieg des pulmonalen Adenokarzinoms (23). Allerdings konnte keine signifikante Assoziation zwischen nicht-maligner respiratorischer Mortalität und Air Pollution nachgewiesen werden (24).

Die Auswirkung der langzeitigen Air Pollution auf die Mortalität durch natürliche Ursachen wurde im Rahmen des ESCAPE Projekts an 22 europäischen Kohorten untersucht. Das Risiko durch eine PM_{2,5}-Erhöhung von 5 µg/m³ betrug 7 %. Das Risiko blieb auch dann signifikant erhöht, wenn die PM_{2,5}-Konzentration unter 25 µg/m³ (entspricht etwa dem europäischen Jahresmittelwert, Abb. 1) oder unter 20 µg/m³ lag (25).

Der Zusammenhang zwischen Air Pollution und Krankenhausaufenthalten wegen Herzinsuffizienz oder Tod wurde in Studien untersucht, die zwischen 1948 und 2012 publiziert wurden. In der Metaanalyse konnte nachgewiesen werden, dass die Hospitalisierung und Mortalität wegen akuter dekompensierter Herzinsuffizienz assoziiert war mit der Zunahme von 10 µg/m³ PM_{2,5} (2,12 %) oder PM₁₀ (1,63 %) (26). Die stärkste Assoziation wurde am Tag der Exposition beobachtet. Die Autoren errechneten, dass sich durch eine Verminderung der Feinstaubexposition von PM_{2,5} um 3,9 µg/m³ 7 978 stationäre Aufnahmen wegen Herzinsuffizienz vermeiden lassen.

Im Rahmen der ESCAPE Studie wurde die Auswirkung der Langzeitbelastung von $PM_{2,5}$ und PM_{10} auch auf akute Herzerkrankungen untersucht. Eine Erhöhung von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des geschätzten Jahresdurchschnittswertes von $PM_{2,5}$ war mit einer Zunahme des Risikos einer koronaren Herzerkrankung von 13 % und eine Erhöhung von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ von PM_{10} mit einer Zunahme von 12 % assoziiert. Positive Relationen wurden auch unter denen zur Zeit gültigen europäischen Grenzwerten von $PM_{2,5}$ und PM_{10} beobachtet (27).

Keine statistisch signifikante Beziehung wurde zwischen den elementaren Bestandteilen (Kupfer, Eisen, Kalium, Nickel, Schwefel, Silizium, Vanadium, Zink) von PM_{10} und $PM_{2,5}$ und der kardiovaskulären Mortalität gefunden (28).

Über den Wirkungsmechanismus von Feinstaub auf das Herz-Kreislauf-System ist wenig bekannt. Man vermutet, dass das Eindringen von Feinstaub in den Blutkreislauf biochemische Reaktionen auslöst, die zu Thrombozytenaggregation, Vasokonstriktion, Rhythmusstörungen und zum Blutdruckanstieg führen. Da die pathogene Wirkung von Feinstaub bereits unter denen von der EU festgelegten Grenzwerten eintritt, wurde die EU Legislative aufgefordert, alle notwendigen Maßnahmen zur Reduzierung der Air Pollution durchzuführen (29).

Durch die globale Erwärmung entstehen häufiger Waldbrände, durch die auch große Mengen an Feinstaub und Treibhausgasen wie CO und Methan freigesetzt werden. Bei Waldbränden ist eine Zunahme der Notfallbehandlung von Asthma und COPD beobachtet worden (30-33). Im Großraum Athen wurde während der Waldbrände von 1998 bis 2004 ein Anstieg von über 16 % der täglichen Mortalität durch respiratorische Erkrankungen beschrieben (34). Über eine Zunahme von Atemwegserkrankungen wurde während der Waldbrände in Litauen 2002 und Spanien 2003 berichtet (35, 36). Der Transport von Feinstaub und Aerosolen aus den Waldbrandregionen in Russland, Weißrussland, der Ukraine und den baltischen Staaten führte 2002 zu einer erhöhten Mortalität in Südfinnland (37).

Studien ergab auch ein vermindertes Geburtsgewicht durch Feinstaubbelastung bei Neugeborenen (38, 39). Feinstaub während der Schwangerschaft wirkte sich schlimmer aus als Grobstaub. Eine $PM_{2,5}$ -Zunahme um $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erhöhte die Wahrscheinlichkeit ein Kind mit vermindertem Geburtsgewicht zu bekommen um 18 %. Ein erheblicher Teil der termingerecht geborenen Kinder mit niedrigem Geburtsgewicht könnte in Europa vermieden werden, wenn die Luftverschmutzung reduziert würde. Die Absenkung des derzeitigen Jahresmittelgrenzwertes für Feinstaub $PM_{2,5}$ von 25 auf $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ würde eine Abnahme der Fälle um 22 % bewirken (39).

Maßnahmen

Durch ein neues Maßnahmenpaket will die EU die Luftqualität bis 2030 entscheidend verbessern. Dadurch sollen im Vergleich zur jetzigen Situation schätzungsweise weitere 58 000 vorzeitige Todesfälle vermieden werden. Die Höhe der gesamten externen Gesundheitskosten, die der EU durch die Luftverschmutzung zurzeit pro

Jahr entstehen, werden auf 330 bis 940 Milliarden € geschätzt. Durch die neuen Maßnahmen werden Einsparungen von 40 bis 140 Milliarden € erwartet.

Weltweit wird nach Prognose der OECD die Rate der vorzeitigen Todesfälle bis 2050 infolge der Feinstaubbelastung um mehr als das Doppelte auf 3,6 Millionen jährlich ansteigen, wobei es in China und Indien zu den meisten Todesfällen kommen wird. Damit fordert der Feinstaub im Vergleich zu anderen Umweltrisiken mit Abstand die höchste Rate an vorzeitigen Todesfällen, so dass dringender Handlungsbedarf zur Verminderung der weltweiten Feinstaubbelastung besteht (40).

Literatur

1. Schöttes C, Schweisfurth H, Voshaar T. Smog 1984 - 1987. Morbidität an respiratorischen und kardiovaskulären Erkrankungen in Gelsenkirchen. Atemw-Lungenkrkh 1989; 15: 15-19.
2. Schweisfurth H. Beeinflussung der Atemwege durch Luftschadstoffe (SO₂, NO_x und O₃). Allergo J 1996; 5: 339-345.
3. Schweisfurth H. Feinstaub und pulmo-kardiale Erkrankungen. Atemw-Lungenkrkh 2014; 40: 435-441.
4. Umwelt: Neues Maßnahmenpaket für saubere Luft in Europa. European Commission - IP/13/1274, 18/12/2013. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-1274_de.htm.
5. Preiss P, Roos J, Friedrich R. Assessment of health impacts of coal fired power stations in Germany – by applying eco sense web, Universität Stuttgart 2013.
6. Zacher W. Umwelt und Gesundheit. Gefahr aus Kohlekraftwerken. Dtsch Ärztebl 2015; 112: A1178-1180.
7. Feinstaubbelastung in Deutschland, Umweltbundesamt, Mai 2009. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/feinstaubbelastung-in-deutschland>.
8. Luftqualität 2013, Vorläufige Auswertung , Umweltbundesamt 28.01.2014. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/hg_luftqualitaet_web.pdf.
9. 9 WHO Media centre, Ambient (outdoor) air quality and health Fact sheet N°313, Updated March 2014. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.
10. Feinstaub und Stickstoffdioxid belasten auch 2013 weiter die Gesundheit. Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/feinstaub-stickstoffdioxid-belasten-auch-2013>.
11. WHO Media centre, 7 million premature death annually linked to air pollution. 2014 <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/> acc.
12. WHO, Press Release 221, 17. October 2013. http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221_E.pdf.

13. Warum ist Feinstaub schädlich für den Menschen? Umweltbundesamt 05.09.2013. <http://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/warum-ist-feinstaub-schaedlich-fuer-den-menschen>.
14. Atkinson RW et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 1860–1866.
15. Faustini A et al. on behalf of the EPIAIR collaborative Group. Air pollution and multiple acute respiratory outcomes. *Eur Respir J* 2013; 42: 304-313. doi: 10.1183/09031936.00128712. Epub 2013 Jan 11.
16. Tramuto F et al. Urban air pollution and emergency room admissions for respiratory symptoms: a case-crossover study in Palermo, Italy. *Environ Health* 2011 Apr 13;10:31. doi: 10.1186/1476-069X-10-31.
17. Schweisfurth H. Klimawandel und pulmonale Erkrankungen. *Atemw-Lungenkrkh* 2013; 39: 314-322.
18. Salvi S. Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatr Respir Rev* 2007; 8: 275–280.
19. Kallweit D, Wintermeyer D. Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Feinstaub (PM₁₀). UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst, Nr. 4/2013: 18-24. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/360/publikationen/berechnung_belastung_feinstaub_dtl_s_18-24.pdf.
20. Abbey DE et al. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 373–382.
21. Laden F et al. Reduction in fine particulate air pollution and mortality. Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 173: 667–672.
22. Pope CA 3rd et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002; 287: 1132–1141.
23. Raaschou-Nielsen O et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol* 2013; 14: 813-822. doi: 10.1016/S1470-2045(13)70279-1. Epub 2013 Jul 10.
24. Dimakopoulou K et al. Air Pollution and Non-Malignant Respiratory Mortality in 16 Cohorts within the ESCAPE Project. *Am J Respir Crit Care Med* 2014;189: 684-696. doi: 10.1164/rccm.201310-1777OC.
25. Beelen R et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 2013 Dec 6. pii: S0140-6736(13)62158-3. doi: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3. [Epub ahead of print].
26. Shah AS et al. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 2013 Sep 21;382(9897):1039-48. doi: 10.1016/S0140-6736(13)60898-3. Epub 2013 Jul 10. Review.
27. Cesaroni G et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11

- European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 2014 Jan 21; 348: f7412. doi: 10.1136/bmj.f7412.
28. Wang M et al. Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: Results from the ESCAPE and TRANSPHORM projects. *Environ Int* 2014 Feb 18; 66C: 97-106. doi: 10.1016/j.envint.2014.01.026. [Epub ahead of print].
 29. Forastiere F, Agabiti N. Assessing the link between air pollution and heart failure. *Lancet* 2013 Sep 21; 382(9897): 1008-10. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61167-8. Epub 2013 Jul 10.
 30. Dennekamp M, Abramson MJ. The effects of bushfire smoke on respiratory health. *Respirology* 2011; 16: 198-209.
 31. Finlay SE et al. Health Impacts of Wildfires. *PLOS. Currents Disasters*. 2012 Nov 2. Edition 1. doi: 10.1371/4f959951cce2c. 4. <http://currents.plos.org/disasters/article/health-impacts-of-wildfires/>
 32. Viswanathan S et al. An analysis of effects of San Diego wildfire on ambient air quality. *J Air Waste Manag Assoc* 2006; 56: 56-67.
 33. Schweisfurth H. Klimawandel und Krankheit, Nora Verlagsgemeinschaft, Berlin 2014.
 34. Analitis A, Georgiadis I, Katsouyanni K. Forest fires are associated with elevated mortality in a dense urban setting. *Occup Environ Med* 2012; 69: 158-162.
 35. Mirabelli MC et al. Respiratory symptoms following wildfire smoke exposure: airway size as a susceptibility factor. *Epidemiology* 2009; 20: 451-459.
 36. Ovadnevaite J, Kvietkus K, Marsalka A. 2002 summer fires in Lithuania: Impact on the Vilnius city air quality and the inhabitants health. *Sci Total Environ* 2006; 356: 11-21.
 37. Hänninen OO et al. Population exposure to fine particles and estimated excess mortality in Finland from an East European wildfire episode. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2009; 19: 414-422.
 38. Dadvand P et al. Maternal exposure to particulate air pollution and term birth weight: a multi-country evaluation of effect and heterogeneity. *Am J Respir Crit Care Med* 2014; 189: 684-696. doi: 10.1164/rccm.201310-1777OC.
 39. Pedersen M et al. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med* 2013 Nov;1(9):695-704. doi: 10.1016/S2213-2600(13)70192-9. Epub 2013 Oct 15.
 40. OECD Umweltausblick bis 2050. Die Konsequenzen des Nichthandelns. <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49889636.pdf>.
 41. Umweltbundesamt, vorläufige Daten Stand 20.05.2015.
 42. OECD und European Environment Agency, EEA, Air Quality in Europe, 2013 Report, http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-europe-2014/urban-population-exposure-to-air-pollution-by-particulate-matter-pm10-2001-and-2011-or-nearest-years_health_glance_eur-2014-graph52-en.

Messstation	Jahresmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Zahl der Tageswerte > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stuttgart, Am Neckartor	38	64
Regensburg	27	30
Berlin-Friedrichshain, Frankfurter Allee	32	48
Frankfurt (Oder), Leipziger Str.	31	45
Bremen, Verkehr 1	27	32
Hamburg, Habichtstr.	29	26
Kassel, Fünffenster-Str.	28	25
Rostock, Am Strande	28	27
Oldenburg, Heiligengeistwall	26	28
Gelsenkirchen, Kurt-Schumacher-Str.	31	35
Mainz, Parcusstr.	24	18
Saarbrücken, Verkehr	22	10
Leipzig, Lützner Str.	30	43
Halle, Paracelsusstr.	33	41
Kiel, Bahnhofstr. und Brunsbüttel, Cuxhavener Str.	23	15
Mühlhausen, Wanfrieder Str.	27	36

Tab. 1. Jahresmittelwerte von PM_{10} -Konzentrationen im Jahr 2014 und höchste Zahl der Tageswertüberschreitungen in den 16 Bundesländern (41).

PM₁₀ (µg/m³ Luft)

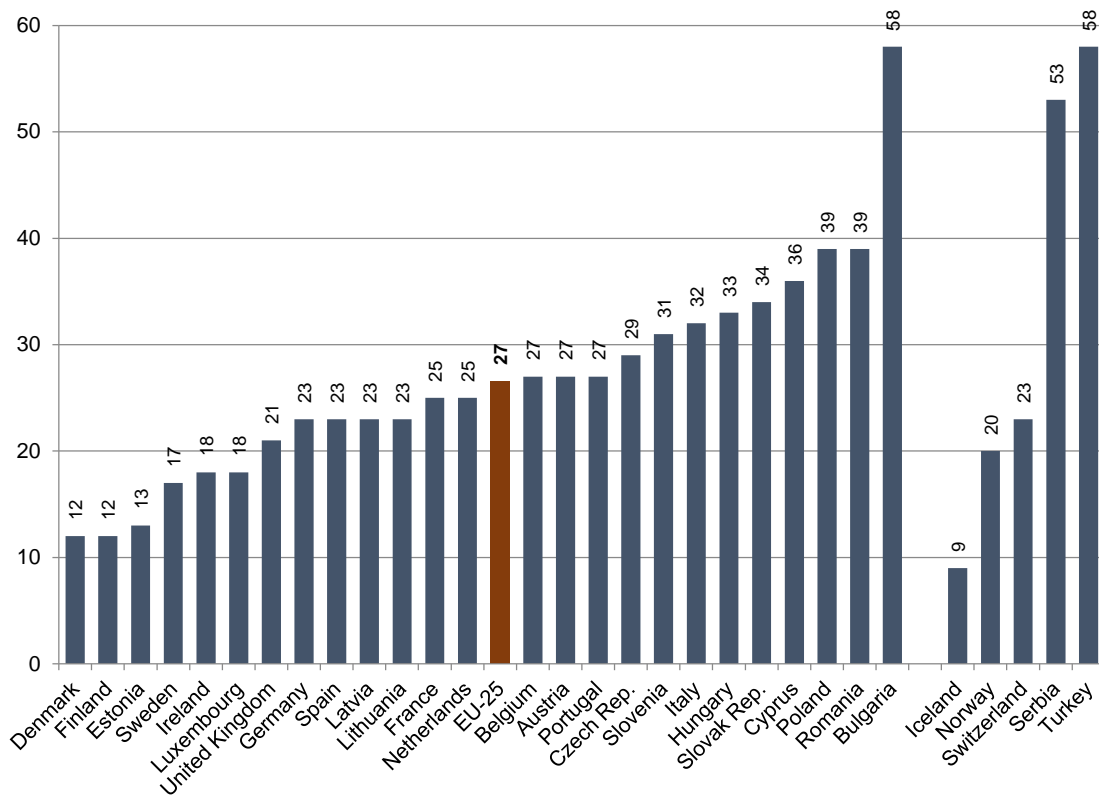


Abb. 1. Darstellung von urbanen durchschnittlichen Jahresmittelwerten von PM₁₀ (µg/m³) in Europa im Jahr 2011 (42).

Verschlechterung der Lungenfunktion

Vermindertes Lungenwachstum bei Kindern

Allergien

Asthma

Exazerbation der COPD

Lungenkarzinom (vorwiegend Adenokarzinom)

Respiratorische Infektion, Pneumonie

Herz-Kreislauferkrankungen

Herzinfarkt

Apoplex

Otitis media

Niedriges Geburtsgewicht

Frühgeburt

Tab. 2. Effekte von Feinstaub auf die Gesundheit.