



DGUHT e.V.

aktiv für Mensch + Umwelt

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR
UMWELT- UND HUMANOTOXIKOLOGIE

Geschäftsstelle der DGUHT

Dipl.-Ing. Waldemar Bothe
Bergstr. 32 · 73098 Rechberghausen

Tel.: 07161-3543587 · E-Mail: info@dguht.de · www.dguht.de

Einfluss von Feinstaub auf die Gesundheit

Während in der 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts in den Smogperioden die Luftschadstoffe SO_2 , NO_x und O_3 im Vordergrund der Untersuchungen über Air Pollution standen, kommt heute der Feinstaubbelastung eine besondere Bedeutung vorwiegend 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 SO_2 , NO_x oder NH_3 , 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 PM_{10} (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 35-mal im Jahr überschritten werden. In Deutschland wurde 2016 dieser PM_{10} -Tagesmittelwert nur an der Messstelle Stuttgart, Am Neckartor, überschritten. In Deutschland liegt die durchschnittliche jährliche PM_{10} -Belastung in urbanen Regionen im Vergleich zu den meisten europäischen Ländern im unteren Drittel. Der zulässige Jahresmittelwert beträgt $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und wurde 2016 in Deutschland eingehalten.⁸ Allerdings schlägt die WHO einen strengeren

Jahresmittelgrenzwert für PM_{10} von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vor,⁹ der in Deutschland 2013 um fast 51 % und 2016 um 24 % überschritten wurde.^{8,10} 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 neuen Schätzungen 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 von der insbesondere China betroffen ist.¹² 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 Über den Wirkungsmechanismus von Feinstaub auf das Herz-Kreislauf-System ist wenig bekannt. Man vermutet, dass das Eindringen von Feinstaub in den Blutkreislauf biochemische Stress- und Entzündungsreaktionen auslöst, die zu Thrombozytenaggregation, Vasokonstriktion, Rhythmusstörungen und zum Blutdruckanstieg führen.¹³

Da die Feinstaubpartikel an ihrer Oberfläche Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe anlagern, gehören sie nach Einstufung der WHO zum Gruppe1-Karzinogen.¹⁴ Global gesehen verstarben 2010 etwa 223.000 Menschen infolge der *Air Pollution* am Lungenkarzinom.¹⁴ 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.^{7,15} Daher führen nicht nur kurzfristige erhöhte PM_{10} -Konzentrationen, sondern auch längerfristige niedrigere Belastungen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Bei kurzfristigen Erhöhungen der PM_{10} -Konzentration stiegen die Krankenhausaufnahmen wegen Atemwegserkrankungen an.¹⁶⁻¹⁸

Die Gesamtsterblichkeit der Bevölkerung nahm um 1 % zu. Eine dauerhafte höhere PM_{10} -Belastung von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft ging mit einer durchschnittlichen Verkürzung der Lebenserwartung um knapp sechs Monate einher. Bezogen auf $PM_{2,5}$ betrug die Abnahme der Lebenserwartung acht Monate.⁷ Neue Untersuchungen zeigen auch, wie sich eine kurzzeitige Feinstaubbelastung bei Touristen auf die Lungenfunktion auswirkt. Bei Japanern, die Peking besuchten und kurzfristig hohen $PM_{2,5}$ - und PM_{10} -Expositionen ausgesetzt waren, wurde lungenfunktionsanalytisch eine signifikante Erniedrigung der Vitalkapazität, FEV1, FEV1/FEV und eine Abnahme der Hustenschwelle nachgewiesen.¹⁹ Die Exposition von Feinstaub über einen längeren Zeitraum führte bei Kindern mit Asthma zur Verschlechterung der Lungenfunktion und zum Anstieg der neonatalen Mortalität.²⁰

In Deutschland erhöht die Langzeitbelastung durch PM_{10} 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 ergaben sich in Deutschland im Jahr 2014 etwa 41.000 vorzeitige Todesfälle durch Feinstaubbelastung.²¹ Auch andere ältere Studien weisen eine höhere Mortalität des Lungenkarzinoms durch Feinstaub nach.^{22–24} Eine aktuelle Metaanalyse der European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) von 17 Kohortenstudien aus neun europäischen Ländern ergab, dass die Zunahme von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} das Lungenkarzinomrisiko um 22 % erhöht. Für $PM_{2,5}$ wurde per $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ein Zunahme von 18 % errechnet. Die PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Konzentrationen waren assoziiert mit einem Anstieg des pulmonalen Adenokarzinoms.²⁵ Allerdings konnte keine signifikante Assoziation zwischen nicht-maligner respiratorischer Mortalität und Air Pollution nachgewiesen werden.²⁶

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 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betrug 7 %. Das Risiko blieb auch dann signifikant erhöht, wenn die $PM_{2,5}$ -Konzentration unter $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (entspricht etwa dem europäischen Jahresmittelwert) oder unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag.²⁷ 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 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$ (2,12 %) oder PM_{10} (1,63 %).²⁸ Die stärkste Assoziation wurde am Tag der Exposition beobachtet. Die Autoren errechneten, dass sich durch eine Verminderung der Feinstaubexposition von $PM_{2,5}$ um $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 einer 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.²⁹ 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.³⁰ Bei älteren Männern wurde auch ein Zusammenhang zwischen erektiler Dysfunktion und $PM_{2,5}$ Belastung vermutet.³¹

Die Daten der ESCAPE-Studie wurden auch benutzt, um das Risiko durch Feinstaubbelastung auch bei anderen Erkrankungen zu untersuchen. Unter der Berücksichtigung von 14 europäischen Kohorten der ESCAPE-Studie wurde ein erhöhtes Risiko pro $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$ für Nierenparenchymkarzinome gefunden.³² 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.³³

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.^{34–37} Im Großraum Athen wurde während der Waldbrände von 1998 bis 2004 ein Anstieg von über 16 % der täglichen Mortalität durch respiratorische Erkrankungen beschrieben.³⁸ Über eine Zunahme von Atemwegserkrankungen wurde während der Waldbrände in Litauen 2002 und Spanien 2003 berichtet.^{39,40} 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.⁴¹ Studien ergaben auch Frühgeburten, vermindertes Geburtsgewicht und kongenitale Herzerkrankungen durch Feinstaubbelastung bei Neugeborenen.^{42–44} 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.⁴³ Tierexperimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass Exposition von verkehrsbezogener Air Pollution Veränderungen im Hippocampus verursachen, wie sie auch bei M. Alzheimer zu beobachten sind.⁴⁵

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. Nach einem 2015 gemeinsam von der OECD und WHO veröffentlichten Bericht wurde der volkswirtschaftliche Schaden durch feinstaubbedingte Luftverschmutzung für Deutschland für das Jahr 2010 auf etwa 145 Milliarden US-Dollar geschätzt.⁴⁶ Durch die neuen Maßnahmen werden Einsparungen von 40 bis 140 Milliarden Euro erwartet. Weltweit wird nach Prognose der OECD die Rate der vorzeitigen Todesfälle bis 2060 infolge der Air Pollution auf jährlich 6 bis 9 Millionen ansteigen, wobei es in China und Indien zu den meisten Todesfällen kommen wird.⁴⁷ Damit fordert der Feinstaub im Vergleich zu anderen Umweltrisiken mit Abstand die höchste Rate an vorzeitigen Todesfällen, sodass dringender Handlungsbedarf zur Verminderung der weltweiten Feinstaubbelastung besteht.

Autor:

Prof. Dr. med. Hans Schweisfurth
Walther-Rathenau-Straße 11, D-03044 Cottbus
Tel.: 0355-86 28 706
E-Mail: h.schweisfurth@t-online.de
www.hans-schweisfurth.de

Fußnoten

- 1 Schöttes C et al. 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 et al. 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 Pressemitteilung 4/2017 vom 30.01.2017 <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/luftqualitaet-2016-stickstoffdioxid-weiter>.
- 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 Pressemitteilung vom 16.02.2014. Feinstaub und Stickstoffdioxid belasten auch 2013 weiter die Gesundheit. Jährlich rund 47.000 vorzeitige Todesfälle durch schlechte Luft. <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/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 Maji KJ et al. Burden of disease attributed to ambient PM_{2.5} and PM₁₀ exposure in 190 cities in China *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017 Mar 20. doi: 10.1007/s11356-017-8575-7. [Epub ahead of print].
- 13 Fiordelisi A et al. The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases. *Heart Fail Rev*. 2017 Mar 16. doi: 10.1007/s10741-017-9606-7. [Epub ahead of print] Review. PMID:28303426.
- 14 WHO, Press Release 221, 17. October 2013. http://www.iarc.fr/en/mediacentre/pr/2013/pdfs/pr221_E.pdf.
- 15 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>.
- 16 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.
- 17 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.
- 18 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.
- 19 Sato R et al. Effect of Short-Term Exposure to High Particulate Levels on Cough Reflex Sensitivity in Healthy Tourists: A Pilot Study. *Open Respir Med J*. 2016 Dec 30;10:96-104. doi: 10.2174/1874306401610010096. eCollection 2016.
- 20 Salvi S. Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatr Respir Rev* 2007; 8: 275–280.
- 21 Indikator: Gesundheitsrisiken durch Feinstaub. <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-gesundheitsrisiken-durch-feinstaub>, 28.11.16.
- 22 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.
- 23 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.
- 24 Pope CA et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002; 287: 1132–1141.
- 25 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.
- 26 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.
- 27 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].
- 28 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.
- 29 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.
- 30 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].
- 31 Tallon LA et al. Erectile dysfunction and exposure to ambient Air pollution in a nationally representative cohort of older Men. *Environ Health*. 2017 Feb 17;16(1):12. doi: 10.1186/s12940-017-0216-6.
- 32 Raaschou-Nielsen O et al. Outdoor air pollution and risk for kidney parenchyma cancer in 14 European cohorts. *Int J Cancer*. 2017 Apr 1;140(7):1528-1537. doi: 10.1002/ijc.30587.
- 33 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.
- 34 Dennekamp M, Abramson MJ. The effects of bushfire smoke on respiratory health. *Respirology* 2011; 16: 198-209.
- 35 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/>
- 36 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.
- 37 Schweisfurth H. Klimawandel und Krankheit, Nora Verlagsgemeinschaft, Berlin 2014.
- 38 Analitis A et al. Forest fires are associated with elevated mortality in a dense urban setting. *Occup Environ Med* 2012; 69: 158-162.
- 39 Mirabelli MC et al. Respiratory symptoms following wildfire smoke exposure: airway size as a susceptibility factor. *Epidemiology* 2009; 20: 451-459.
- 40 Ovadnevaite J et al. 2002 summer fires in Lithuania: Impact on the Vilnius city air quality and the inhabitants health. *Sci Total Environ* 2006; 356: 11-21.
- 41 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.
- 42 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.
- 43 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.
- 44 Zhu PF et al. Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi. 2017 Mar 10;38(3):393-399. doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2017.03.024.[Air pollution and adverse birth outcome in China: a comprehensive review].
- 45 Woodward NC et al. Traffic-related air pollution impact on mouse brain accelerates myelin and neuritic aging changes with specificity for CA1 neurons. *Neurobiol Aging*. 2017 Jan 13;53:48-58. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2017.01.007. [Epub ahead of print].
- 46 WHO Regional Office for Europe, OECD (2015). Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- 47 Air pollution to cause 6-9 million premature deaths and cost 1% GDP by 2060. <http://www.oecd.org/env/air-pollution-to-cause-6-9-million-premature-deaths-and-cost-1-gdp-by-2060.htm>, 30.03.2017.
- 48 <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten#/transgressions?s=JcmxCoAgEAbgd/InB2tocGtpC3oFscsE0bg7h4jePaH1+x4o+yKRSTVlnAPkiyk4UwIwh0+Cxnc5BkOox0mGFw156a+aKdthWwnqaXLorx3CrX1+m2WAKfc6H0/&k=djxh0j>, 30.03.2017.