

Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Feinstaub (PM₁₀)

Calculating environmental burdens of disease of the German population caused by particulate matter (PM₁₀)

Dagmar Kallweit, Dirk Wintermeyer

Abstract

This paper introduces a new method for calculating the population-weighted exposure to particulate matter (PM₁₀) between 2007 and 2011, taking into consideration the entire German population. The results determined by this method will be used as a basis for calculating environmental burdens of disease (EBD) associated to PM₁₀ caused by premature mortality. Morbidity data could not be considered due to the lack of representative data for the German population. The derived EBD results in about 47,000 premature deaths per year, which corresponds to a 10-year loss of longevity per 1,000 inhabitants.

Zusammenfassung

Der Artikel stellt eine Methode zur Bestimmung der bevölkerungsgewichteten Feinstaub (PM₁₀)-Exposition für die Jahre 2007 bis 2011 vor, welche die gesamte deutsche Bevölkerung berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Expositionsschätzung sind Grundlage für die Berechnung der feinstaubbedingten Krankheitslast in Deutschland, wobei im Moment nur die Mortalität berücksichtigt wird. Repräsentative Morbiditätsdaten sind für die deutsche Bevölkerung bisher nicht frei verfügbar und können daher nicht berücksichtigt werden. Die ermittelte Krankheitslast liegt bei jährlich etwa 47.000 vorzeitigen Todesfällen in Deutschland, was einem durchschnittlichen Lebenszeitverlust von circa zehn Jahren pro 1.000 Einwohnern entspricht.

Einleitung

Um die Luftbelastung durch Feinstaub zu senken, wurden in den letzten Jahren verschiedenste Anstrengungen unternommen, so beispielsweise in vielen Städten eine Umweltzone eingerichtet. Bei jeder dieser Maßnahmen stellt sich die Frage, wie effektiv sie gewesen ist, ob die bisherigen Richt- und Grenzwerte ausreichen oder ob Luftreinhaltemaßnahmen noch besser auf den Schutz der menschlichen Gesundheit abgestimmt und geplant werden müssen. Für die Beurteilung der Effektivität von Maßnahmen bietet sich die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) entwickelte Methode zur Schätzung umweltbedingter Krankheitslasten (Environmental Burden of Disease, EBD) an. Grundlage für die Berechnung der Krankheitslasten ist die Bestimmung der bevölkerungsgewichteten Exposition gegenüber Feinstaub (PM₁₀) in der Außenluft. Im folgenden Beitrag wird hierzu ein innovativer Ansatz vorgestellt, mit dem die mittlere jährliche PM₁₀-Exposition der Bevölkerung in Deutschland ermittelt und die daraus resultierenden feinstaubbedingten Auswirkungen auf die Gesundheit in Deutschland (Krankheitslast) mit Hilfe der EBD-Methode (Murray et al. 1996) geschätzt wurden.

Gestützt auf bereits veröffentlichte Forschungsergebnisse zu den gesundheitlichen Folgen durch Feinstaub können auf dieser Grundlage beispielsweise bisherige Richt- und Grenzwerte auf ihren ausreichenden Schutz für die Bevölkerung kontrolliert werden. Geplante Luftreinhaltemaßnahmen können so außerdem besser auf ihre Wirksamkeit zum Schutz der menschlichen Gesundheit der gesamten Bevölkerung inklusive besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen, wie Kranke, Kinder und Ältere, überprüft werden. Im Ergebnis führen sie zu einer Verbesserung der Lebensqualität und auch zur Senkung der Gesundheitskosten.

Vorgehen

Der Beitrag erläutert die Berechnung der mittleren Feinstaubexpositionen für die Jahre 2007 bis 2011 flächendeckend für Deutschland im ländlichen und städtischen Hintergrundbereich. Diese wurden mit der räumlichen Verteilung der Bevölkerung verknüpft. Für die Bestimmung der bevölkerungsbasierten Exposition wurden dazu die

Bevölkerungsanteile gleicher Feinstaubkonzentrationswerte summiert und ins Verhältnis zur Gesamtbevölkerung gesetzt. Durch die Verknüpfung der räumlichen Verteilung der Feinstaubbelastung mit der Verteilung der Bevölkerungsdichte liegen im Ergebnis bevölkerungsbasierte Feinstaub-Expositionsdaten vor, die Aufschluss darüber geben, wie viel Prozent der Bevölkerung im Jahresdurchschnitt von niedrigen bis hin zu hohen Feinstaubbelastungen betroffen sind. Ferner können hoch belastete Bevölkerungsgruppen räumlich differenziert und quantifiziert werden.

Mit der EBD-Methode werden anschließend die umweltbedingten Krankheitslasten durch Feinstaub für die bisher als gesichert geltenden Gesundheitsendpunkte (akute Atemwegserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren; kardiopulmonale Erkrankungen sowie Lungenkrebskrankungen bei Erwachsenen über 30 Jahren) geschätzt.

Gemäß der EBD-Methode beschreibt die Krankheitslast den Verlust an Lebensqualität und berücksichtigt hierfür die Beeinträchtigungen der Gesundheit durch Umwelteinflüsse (hier Feinstaub) und die verlorene Lebenszeit durch vorzeitige Sterblichkeit. Die Krankheitslast wird mit der Messgröße DALY (Disability Adjusted Life Years) angegeben. DALYs sind sogenannte behinderungsbereinigte beziehungsweise in der Lebensqualität geminderte Lebensjahre, die den Verlust an Lebenszeit (Mortalität) und -qualität durch Erkrankungen (Morbidität) zusammenfassen und in der Einheit „Jahre“ angegeben werden. Bisher können DALYs nur für die durch Feinstaub vorzeitig verlorene Lebenszeit berechnet werden, da die notwendigen Erkrankungsdaten, die zur Verminderung der Lebensqualität führen, nicht vollständig verfügbar sind.

Liegen die Daten für einen längeren Zeitraum vor, kann retrospektiv die Wirksamkeit eingeleiteter umweltpolitischer Maßnahmen in Bezug auf die Expositionsänderung und die gesundheitlichen Wirkungen überprüft werden. Vorerst können über den bisher untersuchten Zeitraum nur bedingt Trendaussagen zur Veränderung der bevölkerungsgewichteten Exposition und zu den assoziierten gesundheitlichen Wirkungen getroffen werden. Auch die von Jahr zu Jahr teils stark variierenden Witterungseinflüsse wirken sich mehr oder weniger auf das Expositionsgeschehen aus. So zeigt sich beispielsweise, dass die im Jahr 2011 an Anzahl und Dauer überdurchschnittlich oft beobachteten Fein-

staubepisoden (im Vergleich zu denen in den Vorjahren 2007 bis 2010) bedeutend zur Zunahme der Feinstaubexposition der Bevölkerung im Jahr 2011 beigetragen haben (UBA 2012).

Das hier vorgestellte Verfahren eignet sich auch für Szenarioberechnungen, mit denen die Effektivität von geplanten feinstaubbezogenen Minderungsmaßnahmen geschätzt werden kann. Entscheidungsträgern im Umwelt- und Gesundheitsbereich steht so ein Handlungsinstrument zur Verfügung, das ihnen hilft, durch gezielte und planmäßige Verbesserung der Umweltsituation letztlich auch beachtliche Gewinne für die Gesundheit der Bevölkerung zu erreichen. Weitere Erläuterungen zur EBD-Methode der WHO finden sich in Conrad et al. (2009).

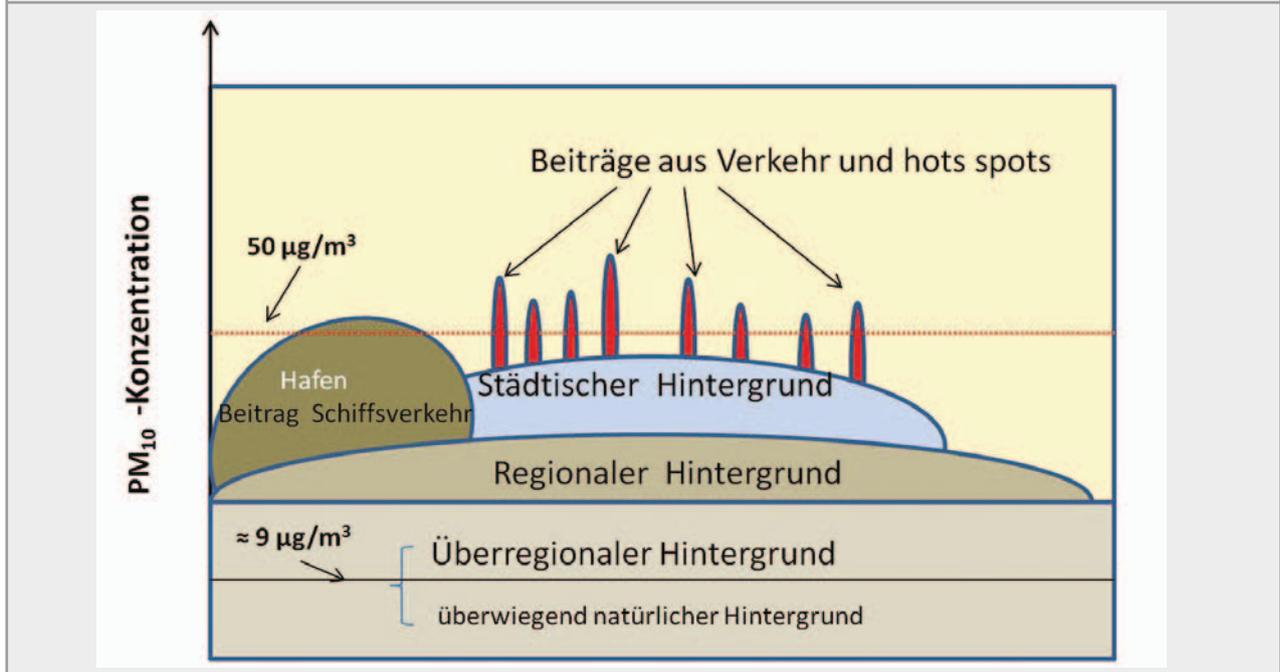
Ermittlung der Feinstaubbelastung in der Wohnumgebung der Bevölkerung

Bisher kann die Feinstaubexposition nur in Ausnahmefällen individuell für einzelne Personen getrennt nach Aufenthaltszeiten in Innenräumen und außerhalb von Gebäuden im Freien bestimmt werden. Für große Bevölkerungsteile ist dies praktisch nicht durchführbar. Um die Belastung der Bevölkerung durch Feinstaub dennoch näherungsweise bestimmen und bewerten zu können, wird stellvertretend dafür die mittlere jährliche Feinstaubkonzentration im Wohnumfeld der dort lebenden Bevölkerung verwendet.

Grundlage für die Ermittlung der gesundheitsrelevanten Belastung der Bevölkerung durch Feinstaub sind die Feinstaub-Immissionsdaten (PM_{10}) aus den Luftmessnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes. Diese zeigen die ländlichen und städtischen Hintergrundbelastungen in Deutschland im Jahresdurchschnitt und bilden etwa zwei Drittel der gesamten Feinstaubbelastung im städtischen Bereich ab. **Abbildung 1** verdeutlicht, dass in urbanen Gebieten ein beachtlicher Teil der lokalen Belastungsbeiträge (hier als Zusatzbelastung bezeichnet) fehlt. Diese Zusatzbelastung wird vor allem durch den Straßenverkehr und weitere lokale Feinstaubquellen hervorgerufen. Sie kann je nach Lage der Städte, Dichte der Bebauung, den vorherrschenden klimatischen Bedingungen und den vorhandenen Emissionsquellen bis zu 30 Prozent betragen.

Aus den an Messstationen in den Bundesländern gemessenen Feinstaubkonzentrationen (Punktmess-

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Zusammensetzung der städtischen Belastung durch Feinstaubbelastung. Eigene Darstellung auf der Grundlage von Lenschow et al. 2001.



daten) wird mit Hilfe von Modellen die Feinstaubkonzentration in der Fläche berechnet. Um den räumlichen Bezug zwischen der mittleren Feinstaubbelastung und der am jeweiligen Ort lebenden Bevölkerung herzustellen, wurden die Immissionsdaten der Jahre 2007 bis 2011 mit der für das Jahr 2005 vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung ermittelten räumlichen Verteilung der Bevölkerungsdichte kombiniert. Für diese Verknüpfung wurden die Feinstaub- und Bevölkerungsdaten rechnerisch transformiert und in einem einheitlichen Raster von 1 x 1 Kilometer abgebildet. Für jede Rasterzelle liegt somit ein repräsentativer Jahresmittelwert für die Feinstaubbelastung und die Zahl der dort lebenden Personen vor. Für weitere Auswertungen wurden die pro Rasterzelle berechneten Feinstaub-Mittelwerte in Belastungsklassen eingeteilt (Tabelle 1). Dabei entspricht die Belastungsklasse 1 mit Mittelwerten im Bereich $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwa dem Niveau der natürlichen Hintergrundbelastung in Deutschland.

Anschließend wurde für jede Belastungsklasse die Summe der davon in Deutschland betroffenen Personen ermittelt (Abbildung 2 und Tabelle 2). Auf dieser Grundlage zeigt sich für das Jahr 2007 für etwa 60 Prozent der deutschen Bevölkerung eine mittlere Feinstaubbelastung von über $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, was der Belastungsklasse 4 oder höher entspricht. Diese Werte liegen über dem von der WHO erklärten Richtwert zum Schutz der Gesundheit von

$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Jahr 2008 reduzierte sich dieser Überschreitungsanteil auf 31 Prozent und stieg dann in den Jahren 2009 bis 2011 wieder auf 44 Prozent an.

Der hier zu beobachtende Rückgang der Feinstaubbelastung kann zum Teil auf Minderungsmaßnahmen, wie etwa die Senkung der Feinstaubemissionen aus stationären (z. B. Industrie) und mobilen Quellen (z. B. Straßenverkehr) zurückgeführt werden. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass die von Jahr zu Jahr variierenden Witterungsbedingungen die PM_{10} -Konzentrationen merklich beeinflussen.

Tabelle 1: Einteilung der berechneten Feinstaubmittelwerte in Belastungsklassen.

Belastungsklassen	Feinstaub-Mittelwerte
Klasse 1	$< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 2	$\geq 10 < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 3	$\geq 15 < 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 4	$\geq 20 < 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 5	$\geq 25 < 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 6	$\geq 30 < 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 7	$\geq 35 < 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 8	$\geq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Mittlere bevölkerungsgewichtete Feinstaubkonzentration für Deutschland

Aus der räumlichen Verteilung der Feinstaubbelastung der Bevölkerung wurde für jedes betrachtete Jahr eine durchschnittliche bevölkerungsgewichtete PM_{10} -Konzentration für Deutschland berechnet. Diese Kennzahl ist ein Indikator für die zeitliche Entwicklung der mittleren jährlichen bevölkerungsbezogenen Feinstaubbelastung in Deutschland. Bei längerer Fortschreibung der Datenreihen lassen sich hieraus Trendaussagen ableiten und man erhält Hinweise auf die Einhaltung beziehungsweise Überschreitung von Grenz- und Richtwerten für

Feinstaub in Deutschland. Die auf dieser Grundlage bisher ermittelten Indikatorwerte für die Jahre 2007 bis 2011 zeigt **Tabelle 3**.

Im Gegensatz zur hier vorgestellten Berechnung der durchschnittlichen bevölkerungsgewichteten PM_{10} -Konzentration stützen sich andere für die Beschreibung der Feinstaubbelastung der Bevölkerung verwendete Indikatoren auf die bevölkerungsgewichtete Feinstaubbelastung in einer landesspezifisch getroffenen Auswahl von Städten und repräsentieren vorwiegend die städtische Hintergrundbelastung (WHO 2011). Zu nennen ist hier beispielsweise der Indikator $RPG3_Air_Ex2_PM$ des Umwelt- und Gesundheitsindikatorensystems

Abbildung 2: Anteile [%] der deutschen Bevölkerung in verschiedenen Feinstaubbelastungsklassen für die Jahre 2007 bis 2011 auf Basis der Bevölkerungsdichteverteilung im Jahr 2005.

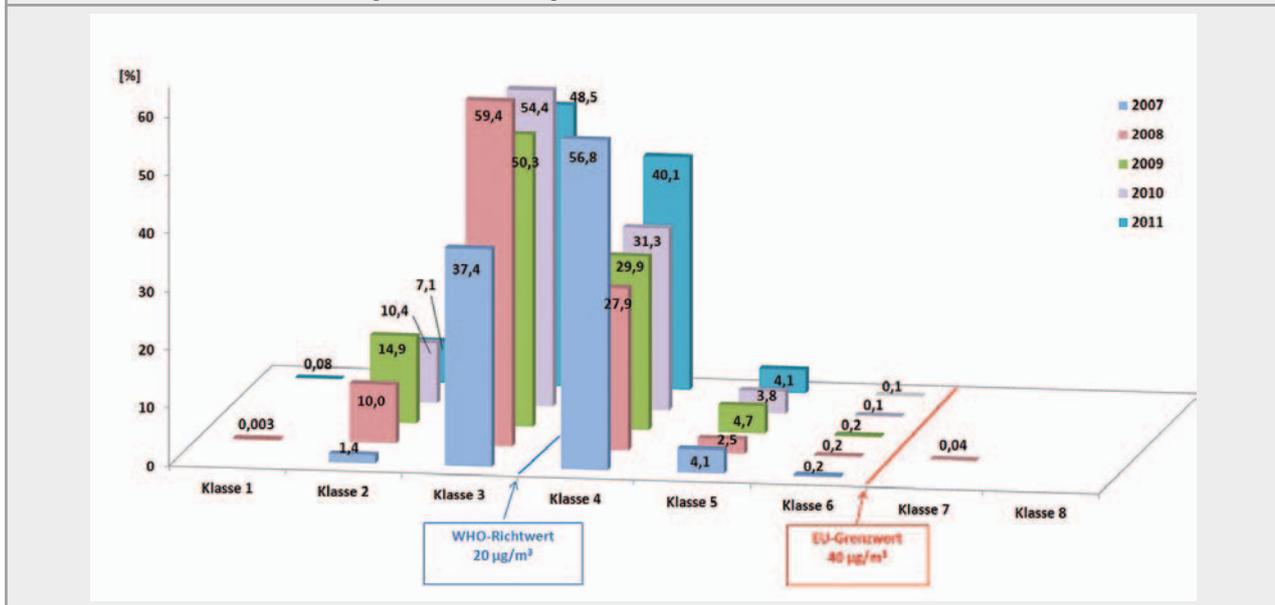


Tabelle 2: Bevölkerungszahl (in tausend Einwohner = TEW) je Feinstaubbelastungsklasse auf Basis der Bevölkerungsdichtedaten des Jahres 2005.

Belastungsklasse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Betroffene (TEW) 2007	Betroffene (TEW) 2008	Betroffene (TEW) 2009	Betroffene (TEW) 2010	Betroffene (TEW) 2011
Gesamtbevölkerung (2005)	81.973	81.973	81.993	81.992	82.201
$\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	3	-	-	63
$\geq 10 < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1.183	8.225	12.246	8.494	5.845
$\geq 15 < 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	30.691	48.694	41.225	44.628	39.870
$\geq 20 < 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	46.554	22.834	24.501	25.646	32.955
$\geq 25 < 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	3.363	2.054	3.879	3.116	3.352
$\geq 30 < 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$	182	132	142	108	117
$\geq 35 < 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	31	-	-	-
Anteil $> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	61 %	31 %	35 %	35 %	44 %

Die grau unterlegten Zeilen zeigen die von Überschreitungen des WHO-Richtwertes betroffenen Bevölkerungsanteile.

Tabelle 3: Bevölkerungsgewichtete Feinstaub-Konzentration (Jahresmittel) in Deutschland, berechnet für die Jahre 2007 bis 2011 unter Verwendung der Kombination von ländlichen und städtischen Hintergrundmessdaten und Modelldaten.		
Bezugsjahr	Berücksichtigter Bevölkerungsanteil	Mittlere populationsgewichtete PM ₁₀ -Konzentration in Deutschland
2007	Gesamtbevölkerung (ca. 82 Millionen Einwohner)	20,5 µg/m ³
2008		18,6 µg/m ³
2009		18,7 µg/m ³
2010		18,9 µg/m ³
2011		19,5 µg/m ³
Zum Vergleich: WHO-Indikator RPG3_Air_Ex2_PM: Werte für Deutschland*		
2007	Etwa ein Drittel der städtischen Bevölkerung in Deutschland (ca. 20 Millionen Einwohner)	22,5 µg/m ³
2008		21,0 µg/m ³
2009		22,2 µg/m ³
2010		22,8 µg/m ³
2011		22,8 µg/m ³
* Daten zum WHO-Indikator aus der ENHIS-Datenbank der WHO (2012).		

ENHIS (Environment and Health Indicator System) der WHO. Dadurch ist der direkte Vergleich dieser Indikatoren zwischen verschiedenen Ländern schwierig. Dennoch weisen die Indikatoren, obwohl sie verschiedene Bevölkerungsanteile berücksichtigen, über die Jahre eine ähnliche Entwicklung auf (Tabelle 3).

Ermittlung der gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Feinstaub

In einem weiteren Schritt wurde das aus der bevölkerungsbasierten Expositionsbelastung resultierende durchschnittliche Gesundheitsrisiko berechnet. Dazu eignet sich das Konzept der umweltbedingten Krankheitslast (EBD). Es fußt auf dem im Auftrag der WHO entwickelten Konzept der Krankheitslast („Burden of Disease“), das seit den 1990er Jahren für die globale Beschreibung von gesundheitlichen Einschränkungen eingesetzt wird. Ziel ist hierbei, die den einzelnen Umweltfaktoren – so zum Beispiel Feinstaub – zuzuschreibende Krankheitslast für eine betrachtete Bevölkerung oder Bevölkerungsgruppe zu ermitteln (Conrad et al. 2009). Üblicherweise wird die Krankheitslast in der Messgröße DALY angegeben, die den Verlust an Lebenszeit und -qualität durch Erkrankungen beziehungsweise den vorzeitigen Tod in der Einheit „Jahre“ zusammenfasst.

In Deutschland sind derzeit nur die für die Erfassung der durch Feinstaub verlorenen Lebenszeit nö-

tigen Gesundheitsdaten verfügbar. Ihre Berechnung basiert auf den ermittelten bevölkerungsgewichteten Daten zur Feinstaubexposition in Deutschland und berücksichtigt die folgenden Todesursachen:

Kurzzeitbelastung durch PM₁₀:

- Mortalität infolge akuter Atemwegserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren

Langzeitbelastung durch PM₁₀:

- Mortalität infolge kardiopulmonaler Erkrankungen bei Erwachsenen über 30 Jahren und
- Mortalität infolge von Lungenkrebs bei Erwachsenen über 30 Jahren.

Für die Berechnung der mit Feinstaub assoziierten DALYs wurden zusätzlich statistische Basisdaten aus der Gesundheitsberichterstattung des Bundes verwendet. Konkret wurden für die Jahre 2007 bis 2011 die Sterbefallzahlen für die oben genannten Todesursachen herangezogen. Für die Berechnung der hier vorgestellten feinstaubbezogenen Krankheitslasten wurde die Standardlebenserwartung für die Bevölkerung in Deutschland verwendet (Statistisches Bundesamt).

Die Tabellen 4 bis 6 zeigen für die Jahre 2007 bis 2011 die umweltbedingten Krankheitslasten, die mit der geschätzten Feinstaubbelastung einhergehen (angegeben in feinstaubbedingten Sterbefällen und DALYs).

Für die Berechnungen wurde eine unvermeidbare natürliche Basiskonzentration von $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} angenommen, die der niedrigsten in Deutschland gemessenen Feinstaubkonzentration in dem betrachteten Zeitraum entspricht. Damit bleibt bewusst ein Teil der Feinstaubexposition vornehmlich aus natürlichen Quellen unberücksichtigt, da in diesem Konzentrationsbereich keine weitere Reduzierung der Feinstaubbelastungen möglich ist. Grundsätzlich gilt, dass gesundheitliche Effekte sowohl bei Langzeitexposition als auch bei Exposition gegenüber kurzzeitigen Belastungsspitzen von Feinstaub auftreten können. Da bisher keine Wirkungsschwellen bekannt sind, folgt daraus, dass auch mittlere PM_{10} -Konzentrationen unterhalb von $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einen negativen Einfluss auf die Gesundheit haben können. Dies gilt grundsätzlich für die gesamte Bevölkerung, besonders aber für Risikogruppen, wie ältere Menschen, Personen mit Vorerkrankungen der Atemwege und Kleinkinder.

Für die betrachteten Erkrankungen können in Deutschland jährlich im Durchschnitt circa 47.000

vorzeitige Todesfälle auf die Exposition gegenüber Feinstaub zurückgeführt werden. Dies entspricht einem Verlust von circa zehn Lebensjahren pro 1.000 Einwohner.

Die Folgen der Langzeit-Exposition gegenüber Feinstaub verursachen bei weitem den größten Anteil der Krankheitslast. So bewegt sich nach den vorliegenden Berechnungen bei Erwachsenen über 30 Jahren der durch Feinstaub bedingte Anteil aller kardiopulmonalen Sterbefälle im Bereich von etwa 12,5 bis 14 Prozent. Entsprechend sind circa 13 bis 15 Prozent der Sterbefälle durch Lungenkrebs dem Feinstaub zuzuschreiben.

Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse liefern wichtige Informationen zur Verteilung und Quantifizierung

Tabelle 4: Kurzzeitexposition gegenüber Feinstaub in den Jahren 2007 bis 2011: Berechnete Mortalität infolge von akuten Atemwegserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren.

Jahr	Berechnete feinstaubbedingte Sterbefälle	Feinstaubbedingte Anteile an Sterbefällen in Prozent	Vorzeitig verlorene Lebensjahre (DALYs)
2007	0,8	2,2	60
2008	0,8	1,9	61
2009	0,7	1,9	56
2010	0,4	2,0	34
2011	0,6	2,1	51

Tabelle 5: Langzeitexposition gegenüber Feinstaub in den Jahren 2007 bis 2011: Berechnete Mortalität infolge von kardiopulmonalen Erkrankungen bei Erwachsenen über 30 Jahren.

Jahr	Berechnete feinstaubbedingte Sterbefälle	Feinstaubbedingte Anteile an Sterbefällen in Prozent	Vorzeitig verlorene Lebensjahre (DALYs)
2007	42.612	13,8	464.968
2008	38.130	12,5	413.203
2009	38.637	12,5	417.880
2010	38.512	12,6	414.790
2011	38.742	13,1	417.101

Tabelle 6: Langzeitexposition gegenüber Feinstaub in den Jahren 2007 bis 2011: Berechnete Mortalität infolge von Lungenkrebs bei Erwachsenen über 30 Jahren.

Jahr	Berechnete feinstaubbedingte Sterbefälle	Feinstaubbedingte Anteile an Sterbefällen in Prozent	Vorzeitig verlorene Lebensjahre (DALYs)
2007	8.293	20,0	139.480
2008	7.658	18,1	129.646
2009	7.647	18,1	129.356
2010	7.883	18,3	131.983
2011	8.316	18,9	139.870

von gesundheitsgefährdenden Umweltbelastungen durch Feinstaub in der deutschen Bevölkerung anhand der bisher als gesichert geltenden Expositions-Wirkungsbeziehungen. Sie helfen, die Planung und Durchsetzung von effektiven umweltpolitischen und gesundheitspolitischen Entscheidungen zur Verbesserung der Belastungssituation, aber auch für einen besseren Schutz der Gesundheit der Bevölkerung, fachgerecht und integrativ anzugehen. Dies gilt ebenso für die Erfolgskontrolle bereits eingeleiteter gesundheitspolitischer Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung. Die Arbeiten an den hier vorgestellten Indikatoren (bevölkerungsbasierte Feinstaubexposition und feinstaubbedingte Krankheitslasten) werden weiter verfolgt. Die jährliche Weiterführung der bisher angelegten Datenreihe für die bevölkerungsbasierte Feinstaubexposition ist vorgesehen. Zusätzlich in Planung ist die Einbeziehung auch der verkehrsbedingten Feinstaub-Emissionen entlang stark befahrener Straßenzüge speziell in Ballungsräumen.

Literatur

Conrad A, Rappolder M, Hornberg C et al. (2009): Wie krank macht uns unsere Umwelt? Bestimmung und Vergleich gesundheitlicher Belastungen durch Umweltfaktoren. In: UMID 02(2009): 5–8.

Lenschow P, Abraham HJ, Kutzner K et al. (2001): Some ideas about the sources of PM10. In: Atmospheric Environment 35. Supplement 1: S23–S33.

Murray CJ, Lopez A D: The Global Burden of Disease (1996): a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020. Cambridge, MA, Harvard School of Public Health. Global Burden of Disease and Injury Series. Vol. I.

Statistisches Bundesamt: Lebenserwartung in Deutschland. Durchschnittliche und fernere Lebenserwartung nach ausgewählten Altersstufen. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Sterbefaelle/Tabellen/LebenserwartungDeutschland.html> (Abrufdatum: 15.11.2013).

UBA 2012: Luftqualität 2011. Feinstaubepisoden prägen das Bild. Hintergrundpapier. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2011> (Abrufdatum: 15.11.2013).

WHO (2012): ENHIS Database. Indicator 3.3: Exposure to particulate matter in outdoor air. World Health Organization. <http://www.enhis.org/> (Abrufdatum: 21.10.2013).

WHO (2011): Environment and Health Information System (ENHIS). Exposure to air pollution (particulate matter) in outdoor air. Fact sheet 3.3. July 2011. Code: RPG3_Air_Ex2. World Health Organization. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/97002/ENHIS_Factsheet_3.3_July_2011.pdf (Abrufdatum: 15.10.2013).

Kontakt

Dr. Dagmar Kallweit
Umweltbundesamt
Fachgebiet: II 1.6 „Expositionsschätzung,
gesundheitsbezogene Umweltindikatoren“
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: [dagmar.kallweit\[at\]uba.de](mailto:dagmar.kallweit[at]uba.de)

[UBA]