

Die Gesundheitsbelastung durch Feinstaub (PM_{2,5}) in Deutschland 2010–2021

Health-related exposure to particulate matter (PM_{2.5}) in Germany 2010–2021

Sarah Kienzler, Dietrich Plaß, Dirk Wintermeyer

Kontakt

Sarah Kienzler | Umweltbundesamt | Fachgebiet II 1.6 – Expositionsschätzung, gesundheitsbezogene Indikatoren | Corrensplatz 1 | 14195 Berlin | E-Mail: sarah.kienzler@uba.de

Zusammenfassung

Um die Gesundheitsbelastung durch Feinstaub (PM_{2,5}) in Deutschland zu bewerten, wurden Zeitreihen (2010–2021) für zwei Indikatoren berechnet: (1) die bevölkerungsgewichtete PM_{2,5}-Exposition im Jahresmittel und (2) der Bevölkerungsanteil, der den Luftqualitätsrichtwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) für PM_{2,5} im Jahresmittel überschreitet. Hierfür wurden flächendeckend für Deutschland PM_{2,5}-Hintergrundkonzentrationen mit räumlichen Informationen zur Bevölkerungsdichte kombiniert. Die durchschnittliche bevölkerungsgewichtete PM_{2,5}-Exposition ist zwischen 2010 und 2021 um circa 41 Prozent gesunken (2010: 15,9 µg/m³; 2021: 9,3 µg/m³). Allerdings waren stets nahezu 100 Prozent der Bevölkerung im Jahresmittel PM_{2,5}-Konzentrationen ausgesetzt, die den WHO-Richtwert überschritten. Trotz der positiven Entwicklung der Exposition in den letzten Jahren zeigt der große Bevölkerungsanteil oberhalb des WHO-Richtwertes, dass für den Schutz der Gesundheit weitere europaweite Anstrengungen zur Verbesserung der Luftqualität erforderlich sind.

Abstract

To assess the health-related exposure to particulate matter (PM_{2.5}) in Germany, time series analyses (2010–2021) were performed for two indicators: (1) the population-weighted annual mean PM_{2.5} exposure and (2) the proportion of the population exceeding the World Health Organization (WHO) air quality guideline value for PM_{2.5} (annual mean). For this purpose, nationwide PM_{2.5} background concentrations were combined with spatial information on population density in Germany. The population-weighted annual mean PM_{2.5} exposure decreased by approximately 41 percent between 2010 and 2021 (2010: 15.9 µg/m³; 2021: 9.3 µg/m³). However, almost 100 percent of the population was always exposed to PM_{2.5} annual mean concentrations above the WHO guideline value. Despite the positive trend in exposure in recent years, the large proportion of the population that is above the WHO guideline value shows that further Europe-wide efforts to improve air quality are needed to protect human health.





Quelle: Prasanth/adobestock.com

Einleitung

Es ist wissenschaftlich eindeutig belegt, dass Feinstaub zu den bedeutendsten Umwelt-
 risikofaktoren weltweit zählt und sich negativ auf den Gesundheitszustand des Menschen
 auswirkt. Je kleiner die Feinstaubpartikel sind, desto tiefer können sie in die Atemwege
 oder teilweise sogar bis in den Blutkreislauf und somit auch in viele weitere Organe gelan-
 gen. Dadurch begünstigt Feinstaub das Entstehen einer Vielzahl von Erkrankungen, kann
 bestehende Erkrankungen verschlimmern und das Risiko, an diesen zu versterben, deut-
 lich erhöhen (US EPA, [2022](#); WHO, [2013](#)). Insbesondere Feinstaub mit einem aerodynami-
 schen Partikeldurchmesser von kleiner oder gleich 2,5 Mikrometern (PM_{2,5}) verursacht bei
 verlorenen gesunden Lebensjahren (englisch: Disability-Adjusted Life Years; DALYs) die
 größte Krankheitslast. Die Maßzahl DALY setzt sich dabei aus den durch Versterben verlo-
 renen Lebensjahren und den mit gesundheitlichen Einschränkungen gelebten Jahren zu-
 sammen (Tobollik et al., [2018](#)). Nach aktuellsten Berechnungen des Umweltbundesamtes
 (UBA) waren in Deutschland 2021 232.863 (95%-Konfidenzintervall: 153.716 – 314.883) DALYs
 auf eine Langzeitbelastung (Exposition) gegenüber PM_{2,5} zurückzuführen (UBA, [2022](#)).

Zum Schutz der Gesundheit empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in
 ihren 2021 aktualisierten Leitlinien für PM_{2,5} einen Richtwert im Jahresmittel von
 5 Mikrogramm pro Kubikmeter (µg/m³) nicht zu überschreiten. Grundsätzlich haben
 Studien jedoch gezeigt, dass es keine Feinstaubkonzentration gibt, unterhalb der eine

gesundheitsschädigende Wirkung mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Daher sollte die Exposition gegenüber PM_{2,5} so gering wie möglich gehalten werden, um gesundheitsschädliche Effekte zu minimieren (WHO, 2021). Derzeit liegt der EU-Grenzwert für PM_{2,5} im Jahresmittel bei 25 µg/m³ und damit deutlich oberhalb der WHO-Empfehlung (EU, 2008). Die EU-Kommission schlägt derzeit in ihrem Entwurf für eine neue Luftqualitätsrichtlinie schärfere Grenzwerte vor, die sich stärker an den WHO-Richtwerten orientieren. Für PM_{2,5} wurde ein Grenzwert von 10 µg/m³ im Jahresmittel ab 2030 vorgeschlagen. Das EU-Parlament votierte im weiteren Verlauf sogar dafür, den Grenzwert weiter zu senken, um ab 2035 den WHO-Richtwert von 5 µg/m³ zu erreichen (EC, 2022; Europäisches Parlament, 2023). Neben den Grenzwerten soll zusätzlich ein sogenannter „Indikator für die durchschnittliche Exposition“ für PM_{2,5} und Stickstoffdioxid in der neuen Luftqualitätsrichtlinie implementiert werden. Hierbei ist für PM_{2,5} das Ziel, die Belastung in urbanen Bereichen (durchschnittliche Exposition ermittelt aus ausgewählten Stationen im städtischen Hintergrund) schrittweise bis zur Erfüllung der 5 µg/m³ im Jahresmittel zu reduzieren.

Krankheitslast-Indikatoren, wie das Summenmaß DALY, sind ein wissenschaftlich anerkanntes und weitverbreitetes Instrument, um das Gesundheitsrisiko durch Umweltfaktoren wie Feinstaub für die Bevölkerung zu erfassen und zu beurteilen. Sie können auch bei der Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung der Bevölkerungsgesundheit unterstützend herangezogen werden (Tobollik et al., 2018). Allerdings erfordert die Ableitung der Indikatoren einen hohen Daten- und Berechnungsaufwand. Zudem ist das zugrunde liegende Konzept der Krankheitslasten sehr komplex, was die Erläuterung von Ergebnissen für verschiedene Akteure erschweren kann (Tobollik et al., 2022). In diesem Beitrag werden daher zwei Indikatoren zur Erfassung der Feinstaub-Belastungssituation in Deutschland näher beschrieben, die bezüglich des Datenaufwands und der Komplexität deutlich einfacher abgeleitet werden können und leichter zu interpretieren sind:

- 1 Die bevölkerungsgewichtete Exposition gegenüber Feinstaub (PM_{2,5}) im Jahresmittel in Deutschland
- 2 Der Anteil der deutschen Bevölkerung, bei dem der WHO-Richtwert für Feinstaub (PM_{2,5}) im Jahresmittel überschritten wird

Diese Indikatoren werden beispielsweise in angepasster oder erweiterter Form für das Monitoring der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (SDGs, Indikator 11.6.2) oder im Rahmen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (DNS, Indikator 3.2.b für PM₁₀) verwendet (Destatis, 2023a; 2023b; WHO, 2024). Die Expositionsschätzung dient zudem als Datengrundlage für die Berechnung von Krankheitslasten wie sie regelmäßig vom UBA durchgeführt wird (Tobollik et al., 2022; UBA, 2022).

Der vorliegende Beitrag stellt eine Aktualisierung der in Kallweit und Wintermeyer (2013) beschriebenen Vorgehensweise zur Ermittlung der Exposition und Berechnung der Indikatoren dar. Er beschreibt die aktualisierte Methodik sowie die Ergebnisse der Berechnung der beiden Indikatoren für die im Vergleich zu PM₁₀ gesundheitsrelevantere Feinstaubfraktion PM_{2,5} für Deutschland im Zeitraum 2010 bis 2021. Die Ergebnisse werden auf der Webseite des UBA im Bereich [Daten zur Umwelt](#) jährlich aktualisiert (UBA, 2023a; 2023b) und als angepasste/erweiterte SDG-Indikatoren an das Statistische Bundesamt berichtet (Destatis, 2023b). Die aus den Daten zur Exposition resultierenden Ergebnisse

zur Krankheitslast sind nicht Bestandteil dieses Beitrags, sie können in den „Daten zur Umwelt“ (UBA, [2022](#)) eingesehen werden.

Eingangsdaten, Vorbereitungsschritte und Indikatorberechnung

Für die Berechnung der beiden gesundheitsbezogenen Feinstaub-Indikatoren werden sowohl räumliche Daten zur Verteilung der mittleren jährlichen PM_{2,5}-Exposition als auch zur Bevölkerungsverteilung in Deutschland für die Jahre 2010 bis 2021 benötigt. Im Folgenden sollen diese Eingangsdaten sowie Vorverarbeitungs- und finale Berechnungsschritte näher beschrieben werden. Die verwendeten Eingangsdaten und ihre Quellen sind in [Tabelle 1](#) aufgeführt. [Abbildung 1](#) gibt eine Übersicht zum Prozessablauf der Indikatorberechnungen.

Feinstaubexposition

Um die PM_{2,5}-Exposition zu erfassen, ist es notwendig, die individuelle Belastung der Bevölkerung zu kennen. Obwohl zunehmend Messgeräte zur Erfassung der individuellen Belastung eingesetzt werden und die Zahl der PM_{2,5}-Messungen in den Messnetzen der Länder stetig steigt, reichen diese Daten nicht aus, um die Ergebnisse auf die Gesamtbevölkerung in Deutschland zu übertragen. Als Näherung an die individuelle Belastung wird daher die mittlere jährliche PM_{2,5}-Konzentration am Wohnort verwendet. Unter Anwendung des Chemie-Transport-Modells REM-CALGRID (RCG) kann das UBA auf der Grundlage von räumlich verteilten nationalen Gesamtemissionen flächendeckende Luftschadstoffkonzentrationen für Deutschland für die Jahre 2010 bis 2021 simulieren. Diese Daten gehen als zentraler Bestandteil in die Indikatorberechnung ein. Die räumliche Auflösung beträgt 2x2 km². Da in der Regel Modellrechnungen die Luftschadstoffkonzentrationen unterschätzen, werden im Nachgang Abweichungen zwischen Modellergebnis und den gemessenen PM_{2,5}-Konzentrationen durch Kombination der Modelldaten mit Messdaten verringert. Hierfür wurde das Verfahren der Optimalen Interpolation (OI) angewendet, bei dem die Modellergebnisse als Hintergrundfeld genutzt werden, in das die punktuellen Messstationsdaten integriert werden. Die final erzeugten Karten zeigen die Jahresmittelwerte für PM_{2,5} in Deutschland von 2010 bis 2021 mit einer räumlichen Auflösung von circa 2,4x2,4 km² (Flemming & Stern, [2004](#); Nordmann et al., [2020](#); Stern & Fath, [2006](#)).

Hohe PM_{2,5}-Konzentrationen, die lokal begrenzt auftreten, wie beispielsweise an Messstationen entlang verkehrsreicher Straßen, können aufgrund der begrenzten räumlichen Auflösung dieses Ansatzes nicht erfasst werden. Aus diesem Grund wurden für die OI nur Daten von Messstationen berücksichtigt, die für größere Gebiete repräsentativ sind. Das sind Messstationen in typischen städtischen Wohngebieten (städtischer Hintergrund) sowie in ländlichen Gebieten, in denen die Luftqualität weitgehend unbeeinflusst von lokalen Emissionen ist (ländlicher Hintergrund). Andernfalls wäre aufgrund der besonderen Lage und Emissionssituation von Verkehrsmessstationen sowie der häufig vorkommenden dichten Bebauung in der Umgebung eine Ausbreitungsmodellierung von PM_{2,5} mit einer deutlich höheren räumlichen Auflösung der Eingangsdaten und Modellergebnisse erforderlich. Derzeit ist dies jedoch flächendeckend für ganz Deutschland nicht realisierbar. Für den Betrachtungszeitraum 2010–2021 ist daher anzunehmen, dass die berechnete jährliche PM_{2,5}-Exposition die tatsächliche Belastung der Bevölkerung in Deutschland

unterschätzt, da hoch belastete verkehrsnahen Messstationen bei der OI nicht berücksichtigt wurden. Dies gilt insbesondere für städtische Gebiete mit hohem Verkehrsaufkommen und einer hohen Bevölkerungsdichte. Allerdings haben sich insbesondere in den letzten Jahren verkehrsnahen Belastungen dem Belastungsniveau im urbanen Hintergrund deutlich angenähert (UBA, 2023c). Im Verlauf der Zeitreihe hat sich damit höchstwahrscheinlich auch die Unterschätzung der PM_{2,5}-Exposition verringert.

Bevölkerungsverteilung

Im Rahmen des Zensus 2011 wurden flächendeckend Informationen zur Einwohnerzahl in Deutschland erhoben und von den Statistischen Ämtern des Bundes und der Länder als Geodaten in einer räumlichen Auflösung von 100x100 m² veröffentlicht (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2015). Dieser Datensatz diente als Grundlage für die Berechnung der beiden Indikatoren. Da dieser jedoch nur den Bevölkerungsstand von Mai 2011 abbildet, wurden die Einwohnerzahlen für die einzelnen Betrachtungsjahre (2010–2021) auf Basis der Bevölkerungsfortschreibung des Statistischen Bundesamtes auf Bundeslandebene jeweils angepasst (Destatis, 2024). Dazu wurden für jedes Jahr (t) und Bundesland (BL) Skalierungsfaktoren für die Bevölkerungsentwicklung berechnet:

$$\text{Skalierungsfaktor Bevölkerungsentwicklung}_{BL,t} = \frac{\text{Einwohnerzahl}_{BL,t}}{\text{Einwohnerzahl}_{BL,Zensus\ 2011}}$$

Die Einwohnerzahlen aus dem Zensus 2011 wurden dafür mit Hilfe der Software ArcGIS (Version 10.5.1) den einzelnen Bundesländern zugeordnet und anschließend mit den entsprechend abgeleiteten Skalierungsfaktoren der Bevölkerungsentwicklung für das jeweilige Betrachtungsjahr multipliziert.

Tabelle 1: Eingangsdaten für die Indikatorberechnung

Eingangsdaten	Jahr	Einheit	Räumliche Auflösung	Quelle
PM _{2,5} -Jahresmittelwerte	2010–2021	µg/m ³	2,4 x 2,4 km ²	Umweltbundesamt intern
Bevölkerungsverteilung	2011	Einwohner je Hektar	100 x 100 m ²	Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2015)
Bevölkerungsfortschreibung	2010–2021	Einwohner je Bundesland	–	Destatis (2024)
Administrative Grenzen	2021	–	1:250.000	GeoBasis-DE/BKG (2022)

Berechnung der Indikatoren

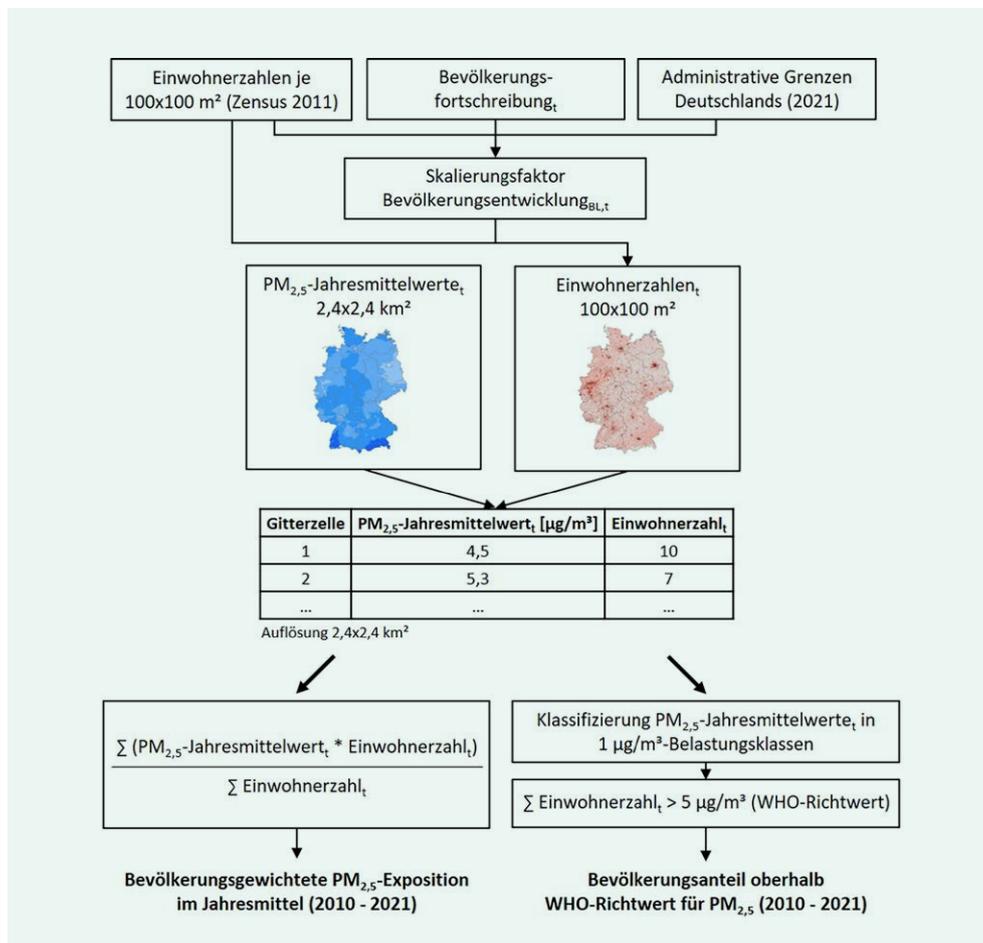
Für die Berechnung der beiden Indikatoren wurden die skalierten Einwohnerzahlen des Zensus 2011 mit den modellierten Jahresmittelwerten der PM_{2,5}-Konzentrationen für Deutschland für die Jahre 2010 bis 2021 jeweils kombiniert. Die Bevölkerungsdaten mit einer räumlichen Auflösung von 100x100 m² wurden auf die einzelnen 2,4x2,4 km²-Gitterzellen der PM_{2,5}-Konzentrationen mit Hilfe der Software ArcGIS (Version 10.5.1) übertragen und pro Gitterzelle jeweils aufsummiert. Jeder Gitterzelle wurden somit ein PM_{2,5}-Jahresmittelwert und eine entsprechende Anzahl von Personen zugeordnet (□ [Abbildung 1](#)).

Für den bevölkerungsgewichteten Indikator wird die PM_{2,5}-Exposition in Gebieten stärker gewichtet, in denen die meisten Menschen leben – und zwar proportional zur jeweiligen Bevölkerungsdichte. Hierzu wurde für jede Gitterzelle die modellierte PM_{2,5}-Konzentration mit der zugeordneten Einwohnerzahl multipliziert, anschließend wurden die Produkte aller Zellen aufsummiert und zuletzt ins Verhältnis zur Gesamtbevölkerung des jeweiligen Betrachtungsjahres (t) gesetzt:

$$\text{Bevölkerungsgewichtete Exposition}_t = \frac{\sum (\text{PM}_{2,5} \text{ Jahresmittelwert}_t * \text{Einwohnerzahl}_t)}{\sum \text{Einwohnerzahl}_t}$$

Um den jährlichen Anteil der deutschen Bevölkerung zu ermitteln, an deren Wohnort der WHO-Richtwert für PM_{2,5} im jeweiligen Jahr überschritten wurde, wurden die modellierten PM_{2,5}-Jahresmittelwerte pro Gitterzelle zunächst in 1 µg/m³-Belastungsklassen eingeteilt. Im nächsten Schritt wurde die Anzahl der Personen, die gleichen Belastungsklassen zugeordnet waren, über die gesamte Fläche Deutschlands aufsummiert. Hieraus kann abgeleitet werden, wie hoch der Bevölkerungsanteil oberhalb des WHO-Richtwertes für PM_{2,5} von 5 µg/m³ ist. Das gesamte Berechnungsverfahren ist in [Abbildung 1](#) schematisch dargestellt.

Abbildung 1: Prozess-Diagramm zur Berechnung der beiden vorgestellten Indikatoren (BL = Bundesland; t = 2010–2021)



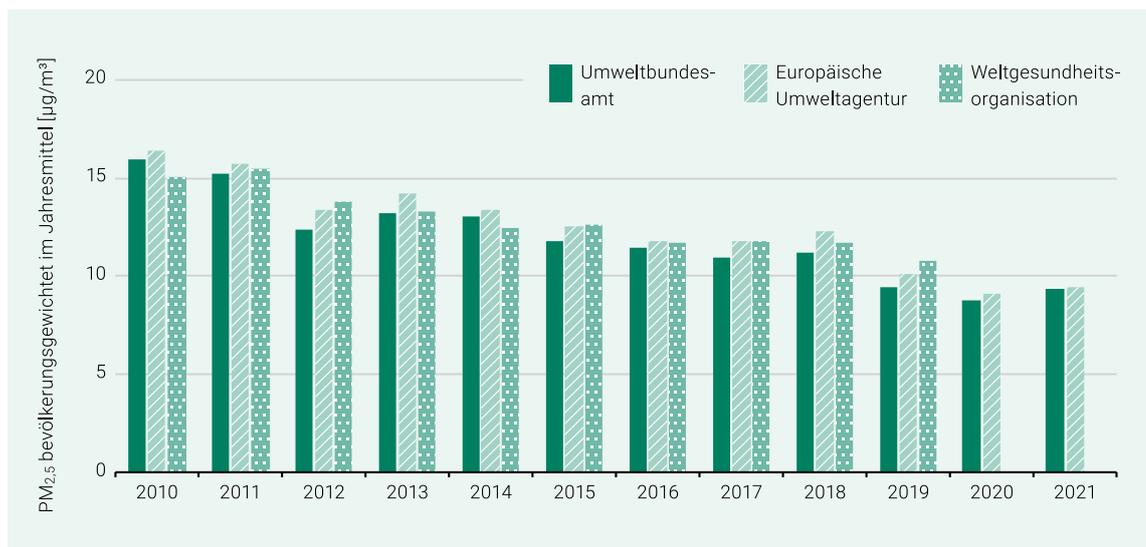
Ergebnisse

Bevölkerungsgewichtete PM_{2,5}-Exposition im Jahresmittel in Deutschland

Über den Betrachtungszeitraum von 2010 bis 2021 nahm die bevölkerungsgewichtete PM_{2,5}-Exposition in Deutschland trotz meteorologisch bedingter zwischenzeitlicher Schwankungen ab. Im Jahr 2021 lag der Indikator mit 9,3 µg/m³ im Jahresmittel deutlich niedriger als im Jahr 2010 mit 15,9 µg/m³. Dies entspricht einer Reduktion von circa 41 Prozent. Allerdings hat sich der Abnahmetrend in den letzten Jahren deutlich abgeschwächt (□ **Abbildung 2**, Balken: Umweltbundesamt). Diese Daten werden regelmäßig auch auf der Webseite des UBA in der Rubrik „Daten zur Umwelt“ veröffentlicht (UBA, 2022; 2023b) sowie vom Statistischen Bundesamt als angepasster SDG-Indikator 11.6.2 berichtet (Destatis, 2023b).

Zusätzlich stellt □ **Abbildung 2** entsprechende Indikatorwerte der Europäischen Umweltagentur (EEA) und der WHO für Deutschland dar (WHO-Zeitreihe aktuell nur von 2010–2019) (EEA, 2022; WHO, 2024). Ein Vergleich der drei Indikatorergebnisse für die Zeitreihe zeigt eine ähnliche Größenordnung der ermittelten Werte. Die Indikator-Werte der EEA sind im Allgemeinen höher als die des UBA. Die Abweichungen des von der WHO berechneten Indikators von den Ergebnissen des UBA sind dagegen uneinheitlich. Grund für die Abweichungen zwischen den Indikatorwerten in den einzelnen Jahren ist die jeweils etwas unterschiedliche zugrunde liegende Datenbasis sowohl bei der Expositions- als auch bei der Bevölkerungsverteilung.

Abbildung 2: Zeitreihe der bevölkerungsgewichteten PM_{2,5}-Exposition im Jahresmittel in Deutschland – Vergleich der Ergebnisse des Umweltbundesamtes, der Europäischen Umweltagentur (EEA, 2022) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 2024)



Anteil der deutschen Bevölkerung, bei dem der WHO-Richtwert für PM_{2,5} im Jahresmittel überschritten wird

In Deutschland waren die PM_{2,5}-Konzentrationen in den Jahresmitteln stark räumlich differenziert und lagen zwischen 4 und 25 µg/m³. Im zeitlichen Vergleich von 2010 zu 2021 ist zudem eine deutliche Verschiebung der Bevölkerungsanteile von höheren Feinstaubbelastungsklassen hin zu niedrigeren Belastungsklassen im Jahresmittel zu erkennen

(**Abbildung 3**). Dies zeigt eine deutliche Verbesserung der Luftqualität in Deutschland im Verlauf der Jahre. Im Betrachtungszeitraum wurde der aktuell gültige EU-Grenzwert für PM_{2,5} von 25 µg/m³ im Jahresmittel nicht überschritten. Dies gilt gleichermaßen für verkehrs- und industrienähe Messstationen (UBA, [2023c](#)). Allerdings waren während der gesamten Zeitreihe fast 100 Prozent der Bevölkerung PM_{2,5}-Konzentrationen ausgesetzt, die über dem WHO-Richtwert von 5 µg/m³ im Jahresmittel lagen und somit aus gesundheitlicher Sicht als bedenklich einzustufen sind.

Abbildung 3: Anteile der deutschen Bevölkerung in verschiedenen Feinstaubbelastungsklassen (PM_{2,5}), vergleichend für die Jahre 2010 und 2021



Weitere Darstellungen zum Indikator für alle Jahre der Zeitreihe sind auf der Webseite des UBA in den „Daten zur Umwelt“ zu finden (UBA, [2022](#); [2023a](#)).

Diskussion und Ausblick

Die Indikatoren zeigen insgesamt eine rückläufige PM_{2,5}-Exposition der deutschen Bevölkerung zwischen 2010 und 2021, was einer durchaus positiven Entwicklung entspricht. Maßnahmen zur Emissionsminderung der letzten Jahre, insbesondere aus stationären Quellen wie Kraftwerken, Müllverbrennungsanlagen, Haushalten/Kleinverbrauchern und verschiedenen industriellen Prozessen sowie aus dem Verkehrssektor, haben maßgeblich dazu beigetragen. Wichtige Beiträge zur weiteren Reduktion der Belastung sind sicherlich auch die Umsetzung von Maßnahmen des nationalen Luftreinhalteprogramms (UBA, [2019](#)) und die angestrebte Revision der EU-Luftqualitätsrichtlinie.

Dieser Trend zeigt sich auch in vergleichbaren bevölkerungsgewichteten PM_{2,5}-Expositionsindikatoren der EEA und der WHO für Deutschland. Die EEA kombiniert für die Indikatorenbildung der EU27-Länder die Ergebnisse von chemischen Transportmodellen und weitere ergänzende Daten wie Höhenlage, Meteorologie und Bevölkerungsdichte mit Messstationsdaten von ländlichen und städtischen Hintergrundstationen. Im Gegensatz zu den Berechnungen des UBA werden zusätzlich Daten von städtischen

Verkehrsstationen berücksichtigt. Die modellierte Feinstaubexposition wird mit einer räumlichen Auflösung von 1x1 km² etwas feiner dargestellt. Dazu werden zusätzliche approximierete PM_{2,5}-Jahresmittelwerte aus PM₁₀-Jahresmittelwerten abgeleitet, um die Anzahl und die räumliche Abdeckung der PM_{2,5}-Datenpunkte zu erhöhen. Für die Bevölkerungsdichte verwendet die EEA ähnliche statistische Daten von Eurostat, die auf den Zensusdaten von 2011 für Deutschland basieren (ETC HE, 2024). Die WHO ermittelt den Indikator im Rahmen des globalen SDG-Monitorings derzeit für 232 Länder mit Fokus auf urbanen Gebieten (SDG-Indikator 11.6.2). Der Wert wird aber auch für die nationale Ebene berichtet. Zur Berechnung werden Modelle verwendet, in die Satellitenfernerkundungsdaten, Chemietransportmodellsimulationen, Topographie, Bevölkerungsschätzungen sowie Daten von Messstationen einfließen.

Die WHO verwendet für Deutschland berichtete Luftqualitätsdaten der EEA, wobei ebenfalls aus den PM₁₀-Jahresmittelwerten zusätzlich PM_{2,5}-Jahresmittelwerte abgeleitet werden. Stationen an Hotspots, wie zum Beispiel Industriestandorten, werden jedoch explizit ausgeschlossen. Die von der WHO verwendeten Bevölkerungsdaten basieren dagegen auf Bevölkerungsstatistiken der Vereinten Nationen beziehungsweise nationalen Zensusdaten (WHO, 2016; 2024). Insgesamt liegen die Ergebnisse für Deutschland trotz methodischer Unterschiede in der Indikatorberechnung alle in derselben Größenordnung.

Ungeachtet der Reduktion der PM_{2,5}-Exposition der Bevölkerung im Betrachtungszeitraum ist festzustellen, dass bis zum Jahr 2021 nahezu die gesamte Bevölkerung in Deutschland PM_{2,5}-Konzentrationen im Jahresmittel ausgesetzt war, die den WHO-Richtwert von 5 µg/m³ überschreiten. Die Belastung der Luft in Deutschland mit Feinstaub hat viele Ursachen: Neben natürlichen Quellen wie Waldbränden, sind vor allem Verbrennungsprozesse sowie die Bildung von sekundärem Feinstaub durch verschiedene gasförmige Vorläuferstoffe – unter anderem aus Verkehr, Industrie und Landwirtschaft wie Stickoxide, Schwefeldioxid und Ammoniak – zu nennen. Zusätzlich ist zu bedenken, dass Feinstaub und seine Vorläuferstoffe auch über große Entfernungen in der Atmosphäre transportiert werden können, wie beispielsweise der Sahara-Staub zeigt. Dies führt dazu, dass die lokal beziehungsweise regional/national nicht beeinflussbare Hintergrundbelastung der Luft durch natürliche Quellen und den Ferntransport bereits einen nennenswerten Anteil des von der WHO vorgeschlagenen Richtwerts von 5 µg/m³ für PM_{2,5} ausmacht. Daher wird dieser Wert in Deutschland in naher Zukunft nicht flächendeckend einzuhalten sein, insbesondere nicht allein auf Basis nationaler Anstrengungen. Aus Sicht des Gesundheitsschutzes muss es dennoch Ziel bleiben, sich schrittweise dem WHO-Richtwert weiter anzunähern. Daher sind Maßnahmen zur weiteren Reduktion der PM_{2,5}-Exposition in Deutschland und damit zur Verringerung der feinstaubbedingten Krankheitslast nicht nur auf nationaler, sondern auch auf europäischer Ebene mit Nachdruck zu fordern.

Blickt man nun in die aktuelle Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (Bundesregierung, 2020) und den darin enthaltenen Indikator zur Gesundheitsbelastung durch Feinstaub (DNS-Indikator 3.2.b „Anteil der Bevölkerung mit erhöhter PM₁₀-Feinstaubexposition“ (Destatis, 2023a)), zeigt sich jedoch derzeit ein anderes Bild: Im Gegensatz zum hier dargestellten Indikator der Überschreitungen des im Jahr 2021 aktualisierten WHO-Richtwerts für PM_{2,5}, beschreibt der DNS-Indikator, wie viele Menschen in Deutschland PM₁₀-Konzentrationen im Jahresmittel oberhalb des inzwischen nicht mehr aktuellen WHO-Richtwerts aus dem Jahr 2005 (20 µg/m³) ausgesetzt sind. Das umweltpolitische

Ziel für diesen Indikator ist, dass dieser Bevölkerungsanteil in Deutschland bis zum Jahr 2030 auf 0 sinkt. 2021 waren nur noch 0,3 Prozent der Menschen in Deutschland von einer Überschreitung des früheren Richtwerts für PM₁₀ betroffen (Destatis, 2023a). Das Ziel ist somit bereits nahezu erreicht und lässt an dieser Stelle fälschlicherweise wenig weiteren Handlungsbedarf vermuten. Aufgrund der höheren gesundheitlichen Relevanz der Feinstaubfraktion PM_{2,5} im Vergleich zu PM₁₀ und wegen der aktualisierten WHO-Richtwerte zur Luftqualität von 2021 ist es aus Sicht eines umfassenden Gesundheitsschutzes der Bevölkerung dringend geboten, den DNS-Indikator 3.2.b umzustellen, ihn auf die Feinstaubfraktion PM_{2,5} zu beziehen und die Zielsetzung für das Jahr 2030 entsprechend anzupassen. Eine Zielsetzung, die ähnlich wie für PM₁₀ keine Überschreitungen des aktuellen WHO-Richtwerts für PM_{2,5} anstrebt, erscheint jedoch selbst mit den im Rahmen des nationalen Luftreinhalteprogramms geplanten emissionsmindernden Maßnahmen bis 2030 nicht realisierbar. Aus Sicht des umweltbezogenen Gesundheitsschutzes der Bevölkerung in Deutschland muss es dennoch Ziel der Immissionsschutzmaßnahmen bleiben, die Exposition der Bevölkerung gegenüber Luftschadstoffen zeitnah den aktuellen WHO-Richtwerten anzunähern, um die Richtwerte in absehbarer Zeit flächendeckend einzuhalten. Mit Blick auf die gesundheitlichen Risiken durch Luftschadstoffe besteht in Deutschland der größte Handlungsbedarf weiterhin bei PM_{2,5} (ETC HE, 2023).

Die vorgestellten Ergebnisse zu den beiden Indikatoren liefern wichtige Informationen zur Verteilung und Entwicklung von gesundheitsgefährdenden PM_{2,5}-Belastungen in der deutschen Bevölkerung. Allerdings ist zu beachten, dass in den Berechnungen der flächendeckenden PM_{2,5}-Konzentrationen keine Messstationen in Ballungsgebieten mit einer hohen Verkehrsbelastung berücksichtigt wurden. Dadurch wurde die modellierte PM_{2,5}-Exposition in Deutschland im Betrachtungszeitraum geringfügig unterschätzt.

Die beschriebenen Zeitreihen für beide Indikatoren sollen auch zukünftig weiterhin in die Indikatoren-Sets für die SDGs beim Statistischen Bundesamt und in die DNS einfließen. Darüber hinaus werden sie regelmäßig im Rahmen der Berichterstattung zu den „Daten zur Umwelt“ des UBA veröffentlicht. Die hier dargestellten bevölkerungsbezogenen Expositionsschätzungen dienen des Weiteren als Datengrundlage für regelmäßige Berechnungen der Krankheitslast der Bevölkerung in Deutschland durch PM_{2,5}.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei den Kolleginnen und Kollegen der Abteilung Luft des UBA und insbesondere Stefan Feigenspan und Stephan Nordmann für die Bereitstellung der PM_{2,5}-Expositionsdaten und Kommentierung unseres Beitrags.

Literatur

- [1] Bundesregierung. (2020). Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-weiterentwicklung-2021-langfassung-1875178>

- [2] Destatis. (2024). Fortschreibung des Bevölkerungsstandes: Bevölkerung – Bundesländer, Stichtag GENESIS-Online. <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=12411-0010&bypass=true&levelindex=0&levelid=1702485738613#abreadcrumb>
- [3] Destatis. (2023a). 3 Gesundheit und Wohlergehen: Luftbelastung – Gesunde Umwelt erhalten: Indikator 3.2.b: Anteil der Bevölkerung mit erhöhter PM₁₀-Feinstaubexposition. Statistisches Bundesamt. Abgerufen am 10. Dezember 2023 von <http://dns-indikatoren.de/3-2-b/>
- [4] Destatis. (2023b). 11 Nachhaltige Städte und Gemeinden: Indikator 11.6.2: Bevölkerungsgewichtete Jahresmittelwerte der Feinstaubkonzentration (z. B. PM_{2,5} und PM₁₀) in Städten. Statistisches Bundesamt. Abgerufen am 10. Dezember 2023 von <https://sdg-indikatoren.de/11-6-2/>
- [5] EC – European Commission. (2022). Proposal for a revision of the Ambient Air Quality Directives. Abgerufen am 15. Dezember 2023 von https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation_en
- [6] EEA – European Environment Agency. (2022). Air Quality Health Risk Assessments (NUTS3 and countries). Abgerufen am 10. Januar 2024 von <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/srv/api/records/cbde49ae-7e01-4789-a3ed-435929aad38c>
- [7] ETC HE – European Topic Centre on Human Health and the Environment. (2024). Air quality maps of EEA member and cooperating countries for 2021 – PM10, PM2.5, O3, NO2, NOx and BaP spatial estimates and their uncertainties (ETC HE Report 2023/3). <https://www.eionet.europa.eu/etcs/all-etc-reports>
- [8] ETC HE – European Topic Centre on Human Health and the Environment. (2023). Health Risk Assessment of Air Pollution: assessing the environmental burden of disease in Europe in 2021 (ETC HE Report 2023/7). <https://www.eionet.europa.eu/etcs/all-etc-reports>
- [9] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, EU-RL 2008/50/EG (2008). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>
- [10] Europäisches Parlament. (2023). Luftverschmutzung: Strengere Grenzwerte, um bis 2050 verschmutzungsfrei zu sein. Abgerufen am 15. Januar 2024 von <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20230911IPR04915/luftverschmutzung-strengere-grenzwerte-um-bis-2050-verschmutzungsfrei-zu-sein>
- [11] Flemming, J. & Stern, R. (2004). Datenassimilation auf der Basis der Optimalen Interpolation für die Kartierung von Immissionsbelastungen – Beschreibung der Methodik und praktische Anwendung für 2002. Abschlussbericht im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 201 43 250 auf dem Gebiet des Umweltschutzes „Anwendung modellgestützter Beurteilungssysteme für die bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität und ihrer Tochterrichtlinien“. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/datenassimilation-auf-basis-optimalen-interpolation>
- [12] Kallweit, D. & Wintermeyer, D. (2013). Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Feinstaub (PM10) [Calculating environmental burden of disease of the German population caused by particulate matter (PM10)]. *Umwelt und Mensch – Informationsdienst*, 4, 18–24. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/360/publikationen/berechnung_belastung_feinstaub_dtl_s_18-24.pdf
- [13] Nordmann, S., Mues, A. C. & Feigenspan, S. (2020). Evaluierung flächenhafter Daten der Luftschadstoffbelastung in Deutschland aus der Chemie-Transportmodellierung [Evaluation of area-related air quality data in Germany from chemistry-transport modelling]. In *Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft* (pp. 281–290). Springer-VDI-Verlag. <https://doi.org/10.37544/0949-8036-2020-07-08-31>
- [14] Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (2015). Einwohner je Hektar – Ergebnisse des Zensus am 9. Mai 2011 pro ha (Version 1, 23.04.2015; dl-de/by-2-0; <http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). https://www.zensus2011.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilung/DemografischeGrunddaten/csv_Bevoelkerung_100m_Gitter.zip?__blob=publicationFile&v=2

- [15] Stern, R. & Fath, J. (2006). Kartographische Darstellung der flächenhaften Immissionsbelastung in Deutschland durch Kombination von Messung und Rechnung für die Jahre 1999 bis 2003. Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 204 42 202/03 auf dem Gebiet des Umweltschutzes „Analyse und Bewertung der Immissionsbelastung durch Feinstaub in Deutschland durch Ferntransporte“. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartografische-darstellung-flaechenhaften>
- [16] Tobollik, M., Kienzler, S. E., Schuster, C. et al. (2022). Burden of Disease Due to Ambient Particulate Matter in Germany-Explaining the Differences in the Available Estimates. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013197>
- [17] Tobollik, M., Plaß, D., Steckling, N. et al. (2018). Das Konzept der umweltbedingten Krankheitslast [The Environmental Burden of Disease Concept]. *Gesundheitswesen*, 80(02), 154–159. <https://doi.org/10.1055/s-0043-110851>
- [18] UBA – Umweltbundesamt. (2024). Daten zur Umwelt. Abgerufen am 01. Februar 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten>
- [19] UBA – Umweltbundesamt. (2023a). Indikator: Belastung der Bevölkerung durch Feinstaub (PM_{2,5}). Abgerufen am 15. Januar 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-belastung-der-bevoelkerung-durch-0#die-wichtigsten-fakten>
- [20] UBA – Umweltbundesamt. (2023b). Indikator: Bevölkerungsgewichtete Feinstaubbelastung (PM_{2,5}). Abgerufen am 15. Januar 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-bevoelkerungsgewichtete>
- [21] UBA – Umweltbundesamt. (2023c). Luftqualität 2022 – Vorläufige Auswertung [Hintergrundpapier]. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2022>
- [22] UBA – Umweltbundesamt. (2022). Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub. Abgerufen am 31. Januar 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-feinstaub>
- [23] UBA – Umweltbundesamt. (2019). Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland 2019. Abgerufen am 15. Januar 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/nlrp2019>
- [24] US EPA – United States Environmental Protection Agency. (2022). Supplement to the 2019 Integrated Science Assessment for Particulate Matter (Final Report, 2022) (EPA/635/R-22/028). https://ordspub.epa.gov/ords/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=544706
- [25] WHO – World Health Organization. (2024). The Global Health Observatory: SDG Indicator 11.6.2 Concentrations of fine particulate matter (PM_{2.5}). Abgerufen am 10. Januar 2024 von [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-\(pm2-5\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-(pm2-5))
- [26] WHO – World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. (Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO). <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>
- [27] WHO – World Health Organization. (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease [Meeting Report]. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1>
- [28] WHO – World Health Organization. (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project [Technical Report]. World Health Organization Regional Office for Europe. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341712/WHO-EURO-2013-4101-43860-61757-eng.pdf?sequence=1>