

Wie sehr beeinträchtigt Stickstoffdioxid (NO₂) die Gesundheit der Bevölkerung in Deutschland?

Ergebnisse der Studie zur Krankheitslast von NO₂ in der Außenluft

www.uba.de/publikationen/quantifizierung-von-umweltbedingten

1 Zentrale Ergebnisse

1.1 Stickstoffdioxid (NO₂)-bedingte Krankheitslast in der Bevölkerung Deutschlands

In der Studie „Quantifizierung von umweltbedingten Krankheitslasten aufgrund der Stickstoffdioxid – Exposition in Deutschland“¹ wurden für das Jahr 2014 rund 6.000 vorzeitige Todesfälle aufgrund von Herz-Kreislauf-erkrankungen statistisch ermittelt, die auf die Langzeitbelastung mit Stickstoffdioxid (NO₂) zurückgeführt werden können (siehe Tabelle 1). Dies entspricht einem Anteil von ungefähr 1,8 Prozent aller kardiovaskulären Todesfälle in Deutschland. Bei den Berechnungen sind lediglich NO₂-Konzentrationen berücksichtigt, wie sie an ländlichen und städtischen Hintergrundmessstationen gemessen wurden.

Die Studie spricht hier von „attributablen Todesfällen“. Neben den attributablen Todesfällen kann die Krankheitslast auch als YLL dargestellt werden. YLL steht für Years of Life lost, verlorene Lebensjahre aufgrund vorzeitigen Versterbens. Die YLLs können auch als Rate in YLL pro 100.000 Einwohner dargestellt werden. Auf diese Weise lassen sich Krankheitslasten verschiedener Risikofaktoren leichter vergleichen. Die Berechnung der Krankheitslast von NO₂ basiert auf der wissenschaftlich begründeten Annahme, dass mit einem linearen Anstieg der NO₂-Konzentration im Jahresmittel von 10 Mikrogramm pro Kubikmeter (µg/m³) das Risiko, an Herz-Kreislauf-erkrankungen zu versterben, um 3 Prozent ansteigt.

Im Zeitverlauf von 2007 bis 2014 sinkt die Anzahl der attributablen Todesfälle aufgrund kardiovaskulärer Erkrankungen, die auf die NO₂-Langzeitbelastung zurückzuführen sind, von 7.832 attributablen Todesfällen in 2007 auf 5.966 in 2014 (siehe Tabelle 1). Zunächst kam es in den Jahren 2008 und 2009 zu einer Steigerung der attributablen Todesfälle auf über 8.000. Im Jahr 2011 ist eine starke Abnahme auf weniger als 7.000 Todesfälle sichtbar, welche sich im Jahr 2013 wiederholte mit einer Reduktion auf unter 6.000 Todesfälle.

¹ ReFoPlan-Vorhaben durchgeführt von Alexandra Schneider, Josef Cyrus, Susanne Breitner, Ute Kraus, Annette Peters (Helmholtz Zentrum München, Neuherberg) und Volker Diegmann, Lina Neunhäuserer (IVU Umwelt GmbH, Freiburg)

Die meisten verlorenen Lebensjahre durch kardiovaskuläre Todesfälle infolge der Belastung durch NO₂ wurden mit 126 pro 100.000 Personen für das Jahr 2008 berechnet und die geringste Anzahl für 2013 mit 83 verlorenen Lebensjahren pro 100.000 Personen.

Tabelle 1: Kardiovaskuläre Todesfälle und verlorene Lebensjahre aufgrund vorzeitigen Versterbens (YLL) durch Hintergrund-NO₂-Langzeitexposition in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2014

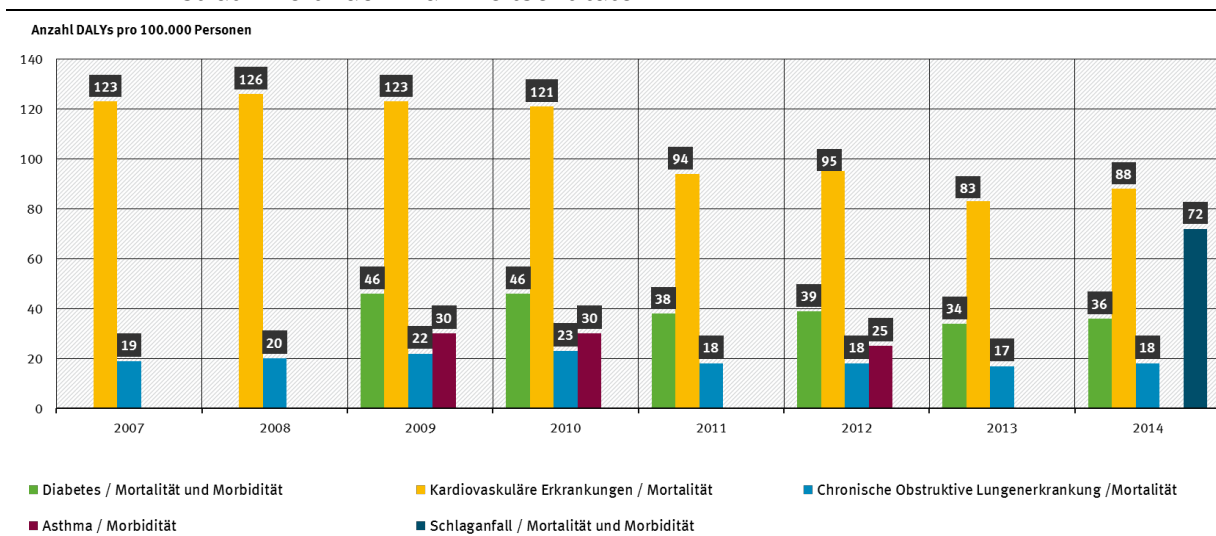
Kennzahl	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Attributabler Anteil (%) ¹	2,19	2,29	2,26	2,26	1,86	1,87	1,58	1,77
Attributable Todesfälle ²	7.832	8.157	8.035	7.960	6.343	6.531	5.605	5.966
YLL	69.244	71.396	69.526	68.428	53.489	54.536	46.795	49.726
YLL pro 100.000 Einwohner	123	126	123	121	94	95	83	88

¹ Prozentualer Anteil an kardiovaskulären Todesfällen, der auf NO₂ zurückzuführen ist

² Anzahl der Todesfälle, die auf NO₂ zurückzuführen sind

Neben der Krankheitslast aufgrund kardiovaskulärer Todesfälle, die auf NO₂ zurückzuführen ist, wurden in der Studie in einer zusätzlichen Analyse die Krankheitslasten für Diabetes Typ 2, Schlaganfall, Asthma und die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) statistisch ermittelt (siehe Abbildung 1). Dabei wurden zusätzlich zu den verlorenen Lebensjahren durch vorzeitiges Versterben (YLL) die Lebensjahre ermittelt, die in einem Zustand eingeschränkter Gesundheit gelebt wurden (YLD, Years Lived with Disability). Diese Komponenten werden bei gemeinsamer Betrachtung zu den sogenannten Disability-Adjusted Life Years (DALYs, verlorene gesunde Lebensjahre) aufaddiert. Mit diesem Wert können einzelne Risikofaktoren miteinander verglichen werden.

Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der Anzahl der DALYs je 100.000 Einwohner durch Hintergrund-NO₂-Langzeitexposition in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2014 stratifiziert nach Krankheitsentitäten*



* In Jahren ohne Angabe einer Krankheitslast fehlten Daten zur Berechnung oder die Qualität der verfügbaren Daten war nicht ausreichend.

Quelle: Umweltbundesamt 2017, eigene Zusammenstellung

1.2 Einschätzung und Einordnung der Ergebnisse

Wichtig für die Interpretation der gezeigten Ergebnisse ist, dass es sich bei den hier betrachteten Todes- und Krankheitsfällen nicht um zusätzliche Fälle, sondern um bereits erfasste Fälle handelt. Die Todesursachenstatistik und Krankheitsregister liefern generell keine Informationen darüber, welche Risikofaktoren zum Tod bzw. Erkranken des Menschen beigetragen haben. Dies gilt für die NO₂-Belastung genauso wie für andere Risikofaktoren wie Rauchen oder Alkoholkonsum. Die Berechnungsmethode erlaubt es, den Anteil der Todes- und Krankheitsfälle statistisch zu erfassen, der auf einzelne Risikofaktoren zurückgeführt werden kann. Ein Nachteil der Methode ist, dass diese stark von den verwendeten Eingangsdaten abhängt.

In die im Rahmen der Studie verwendeten Modellrechnungen sind bewusst vorsichtige Annahmen eingegangen: Zum einen wurden nur Krankheiten berücksichtigt, die mit hoher statistischer Gewissheit in Zusammenhang mit Stickstoffdioxidbelastungen stehen, z. B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Asthma, oder Diabetes. Andere Krankheiten, wo es weniger Studien gibt die den Zusammenhang belegen, wurden nicht in die Berechnungen mit einbezogen, z. B. Herzinfarkt, Lungenkrebs und Frühgeburten. Zum anderen wurden für NO₂-Belastungen unterhalb von 10 µg/m³ keine gesundheitlichen Auswirkungen berechnet, da hier aktuell nicht ausreichend verlässliche Studien vorliegen, die den Zusammenhang zwischen diesen niedrigen Konzentrationen und gesundheitlichen Effekten zweifelsfrei bestätigen. Zudem wurde für die Gesamtbevölkerung in Deutschland aufgrund methodischer Beschränkungen lediglich die NO₂-Belastung des städtischen und ländlichen Hintergrunds berücksichtigt und bestehende Spitzenbelastungen an verkehrsreichen Straßen („Hot Spots“) nicht miteinbezogen. Um auch den Einfluss von Spitzenbelastungen beurteilen zu können, wurde zusätzlich der verkehrsbezogene Anteil an der Krankheitslast durch NO₂ exemplarisch für ausgewählte Modellregionen geschätzt: Berlin, München und Brandenburg. Hier ergibt sich eine Erhöhung der Krankheitslast um bis zu 50 Prozent in Ballungsgebieten im Vergleich zu den Berechnungen, die lediglich die Hintergrund-NO₂-Langzeitexposition in Deutschland berücksichtigen

Insgesamt ist davon auszugehen, dass die in der vorliegenden Studie getroffenen Annahmen zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Krankheitslast führen und tatsächlich mehr Menschen an Auswirkungen zu hoher NO₂-Konzentrationen leiden.

Die Auswertungen zeigen, dass die Belastung mit NO₂ in Deutschland zu erheblichen gesundheitlichen Einbußen in der Bevölkerung führt. Bei den Berechnungen der vorzeitigen Todesfälle, die auf Feinstaub zurückzuführen sind, hat das Umweltbundesamt eine vergleichbare Methode eingesetzt. Hier zeigt sich, dass die Krankheitslast für Feinstaub mit rund 41.100 vorzeitigen Todesfällen in 2014 statistisch deutlich höher ist². Durch die vorsichtige Vorgehensweise im Projekt kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Krankheitslast zum einen bei Einbezug höherer NO₂-Konzentrationen resultierend aus Hot Spot-Belastungen und zum anderen bei Berücksichtigung weiterer gesundheitlicher Auswirkungen (wie Diabetes oder Asthma) de facto höher ist als die in der Basisanalyse ermittelten rund 6.000 vorzeitigen Todesfällen.

² Informationen zur Krankheitslast von Feinstaub: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-der-bevoelkerung-durch-feinstaub>

2 Hintergrund: Stickstoffdioxid (NO₂)

2.1 Was ist NO₂?

NO₂ ist ein Reizgas mit stechend-stickigem Geruch. Es wirkt als sehr reaktives Oxidationsmittel an Zellstrukturen der Lunge und kann Entzündungsreaktionen in den Atemwegen verursachen. Die relativ geringe Interaktion des Schadstoffs NO₂ mit den Strukturen der oberen Atemwege führt dazu, dass der Schadstoff tief in den Atemtrakt eindringt. Dort kann NO₂ im Lungengewebe Zellschäden auslösen und entzündliche Prozesse verursachen sowie zu einer verstärkten Reizbarkeit der Bronchien führen.

2.2 Entstehung von NO₂

NO₂ entsteht durch die Verbrennung fossiler Energieträger. Die Hauptquellen für die durch Menschen verursachten Stickoxid-Emissionen in Deutschland sind Diesel-Verbrennungsmotoren und Feuerungsanlagen für Kohle, Öl, Gas, Holz und Abfälle. In dicht besiedelten Ballungsgebieten ist der Straßenverkehr eine der bedeutendsten NO₂-Quellen mit einem Anteil von etwa 60 Prozent.³

3 Gesundheitliche Auswirkungen von NO₂

3.1 Aktuelle Datenlage zu den Gesundheitseffekten von NO₂

Die in der Studie berücksichtigten, relevanten gesundheitlichen Auswirkungen von NO₂ wurden im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche ausgewählt. Anhand von definierten Kriterien wurde zudem der Evidenzgrad für die identifizierten gesundheitlichen Auswirkungen von NO₂ bestimmt. Der Evidenzgrad gibt wieder, wie hoch die Gewissheit ist, dass NO₂ in Zusammenhang mit bestimmten gesundheitlichen Wirkungen steht. Starke Evidenz bzw. ein hoher Evidenzgrad besteht, wenn eine ausreichende Zahl von epidemiologischen Studien konsistente Ergebnisse für den Zusammenhang zeigen. Dieser Fall liegt für NO₂ hinsichtlich der Sterblichkeit aufgrund von Herz-Kreislauf-erkrankungen vor. Weniger Studien, jedoch ebenfalls mit konsistenten Ergebnissen, zeigen einen Zusammenhang zwischen der NO₂-Belastung und dem Auftreten von Diabetes Typ 2 und Bluthochdruck, dem Auftreten von und Versterben aufgrund ischämischer Herzerkrankungen, dem Auftreten von Herzinsuffizienz, Schlaganfall, Asthma und dem Versterben aufgrund der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD). Die Evidenz für diese Endpunkte wird aufgrund der geringeren Studienanzahl lediglich als moderat eingestuft.

3.2 Schwellenwert für die Gesundheitseffekte von NO₂

Aktuelle Studien weisen darauf hin, dass es für NO₂ keinen Schwellenwert gibt, unterhalb dessen gesundheitliche Auswirkungen ausgeschlossen werden können. Somit muss auch bei niedrigen NO₂-Werten von negativen Auswirkungen auf die Gesundheit ausgegangen werden. Da es jedoch insbesondere in dem unteren Konzentrationsbereich (zwischen 0 und 10 µg/m³ NO₂ im Jahresmittel) noch Forschungsbedarf besteht, wurden in diesem Projekt die Gesundheitseffekte erst ab einer NO₂-Konzentration von 10 µg/m³ angenommen. Dieser Wert wird untere Quantifizierungsgrenze genannt.

³ Weitere allgemeine Informationen zu NO₂:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/stickstoffoxide>

4 Grenzwerte, Messwerte & Belastung

4.1 Außenluft-Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit

Für den Schutz der menschlichen Gesundheit wurden von der Europäischen Kommission Grenzwerte für NO₂-Konzentrationen in der Außenluft festgelegt, die seit 2010 EU-weit gelten⁴. Die Auswertung der vorläufigen Messdaten der Länder und des Umweltbundesamtes für Deutschland zeigt, dass im Jahr 2017 an gut 48 Prozent der verkehrsnahen Messstationen der EU-Grenzwert (Jahresmittelwert) von 40 µg/m³ überschritten wurde. In Ballungsräumen, Städten und dort vor allem in verkehrsnahen Bereichen finden sich im Vergleich zu ländlichen Gebieten deutlich höhere NO₂-Konzentrationen.

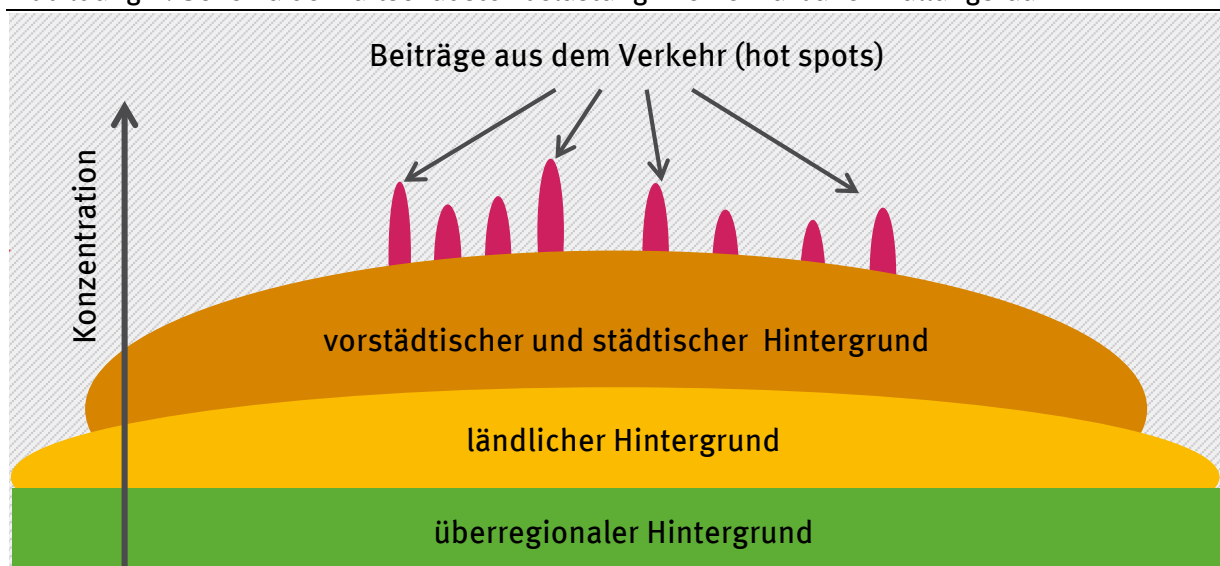
4.2 NO₂-Konzentrationen in der Außenluft

In Deutschland wird die NO₂-Konzentration an unterschiedlichen Messstationen (z. B. ländlich, städtisch, verkehrsnah) gemessen. Einzelne Messstationen können die Konzentration repräsentativ jedoch nur für ihren Standort und dessen unmittelbare Umgebung wiedergeben. Aus diesem Grund werden zur flächendeckenden Erfassung der NO₂-Konzentration für Gesamtdeutschland Ausbreitungsmodelle eingesetzt. Ergebnisse dieser Modellrechnungen werden anschließend mit den Messdaten kombiniert.

4.3 Ländlicher und städtischer Hintergrund

In der vorliegenden Studie wurden aus methodischen Gründen nur die Konzentrationen für den ländlichen und städtischen Hintergrund in den Modellen berücksichtigt. Es wurden somit höhere NO₂-Konzentrationen, die vornehmlich in verkehrsnahen Bereichen auftreten, nicht in die Berechnung der räumlichen Verteilung der NO₂-Konzentration in Deutschland eingeschlossen (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Schema der Luftschadstoffbelastung in einem urbanen Ballungsraum



Quelle: Umweltbundesamt 2017, modifiziert nach Lenschow et al. (2001)

⁴ EU-Grenzwerte für NO₂ und Erläuterungen zur Festlegung: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/welche-grenzwerte-gibt-es-fuer-die>

Deutlich werden die hohen NO₂-Werte an verkehrsnahen Messstationen in Abbildung 3. Diese Abbildung zeigt neben der Hintergrundbelastung auch die Messungen an so genannten Hot Spots, Messstellen an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen, welche z. T. Werte oberhalb von 60 µg/m³ im Jahresmittel aufweisen. Diese Werte konnten in diesem Projekt jedoch nicht berücksichtigt werden.

Abbildung 3: NO₂-Jahresmittelwerte für das Jahr 2014 inklusive Hot Spot-Messungen

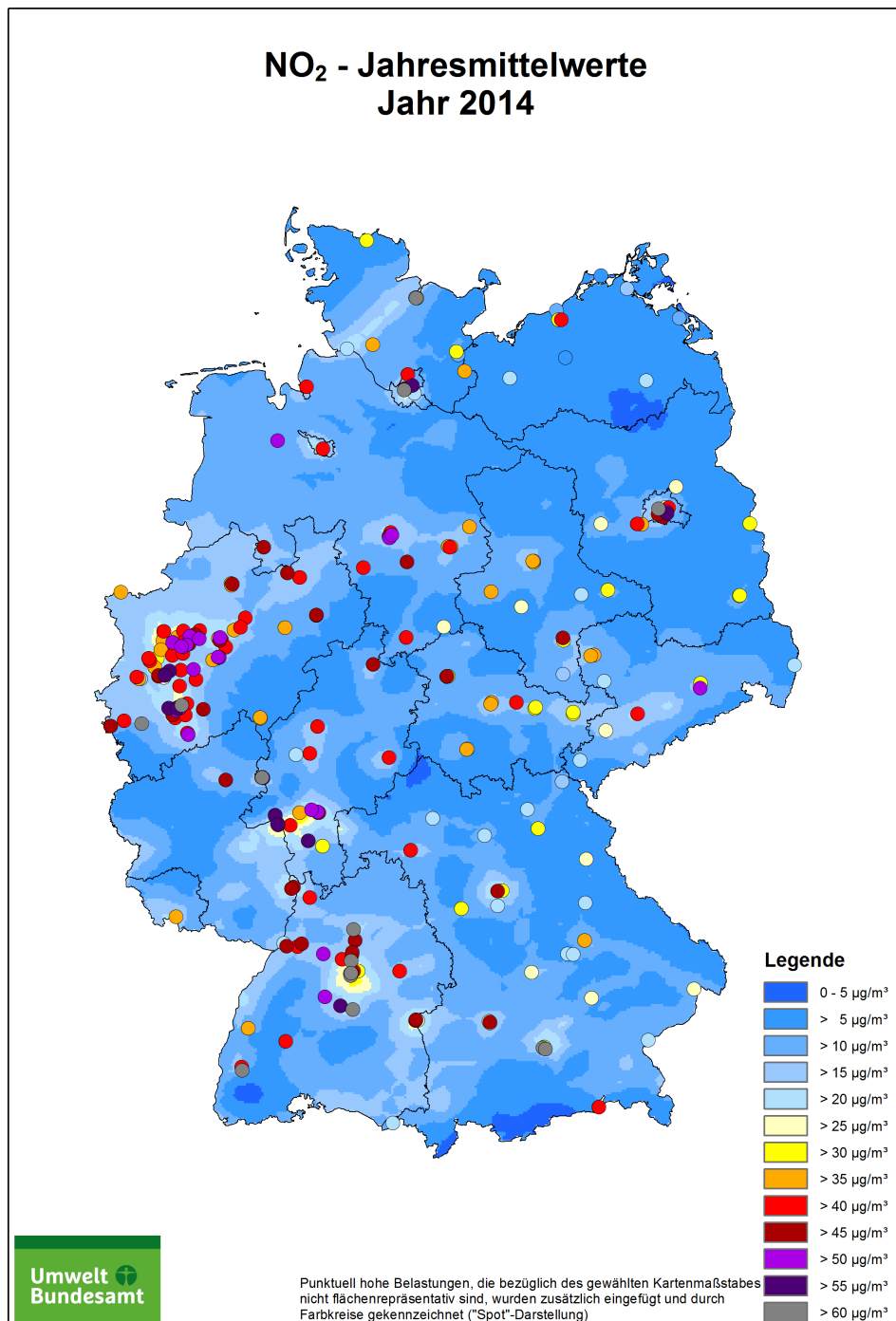
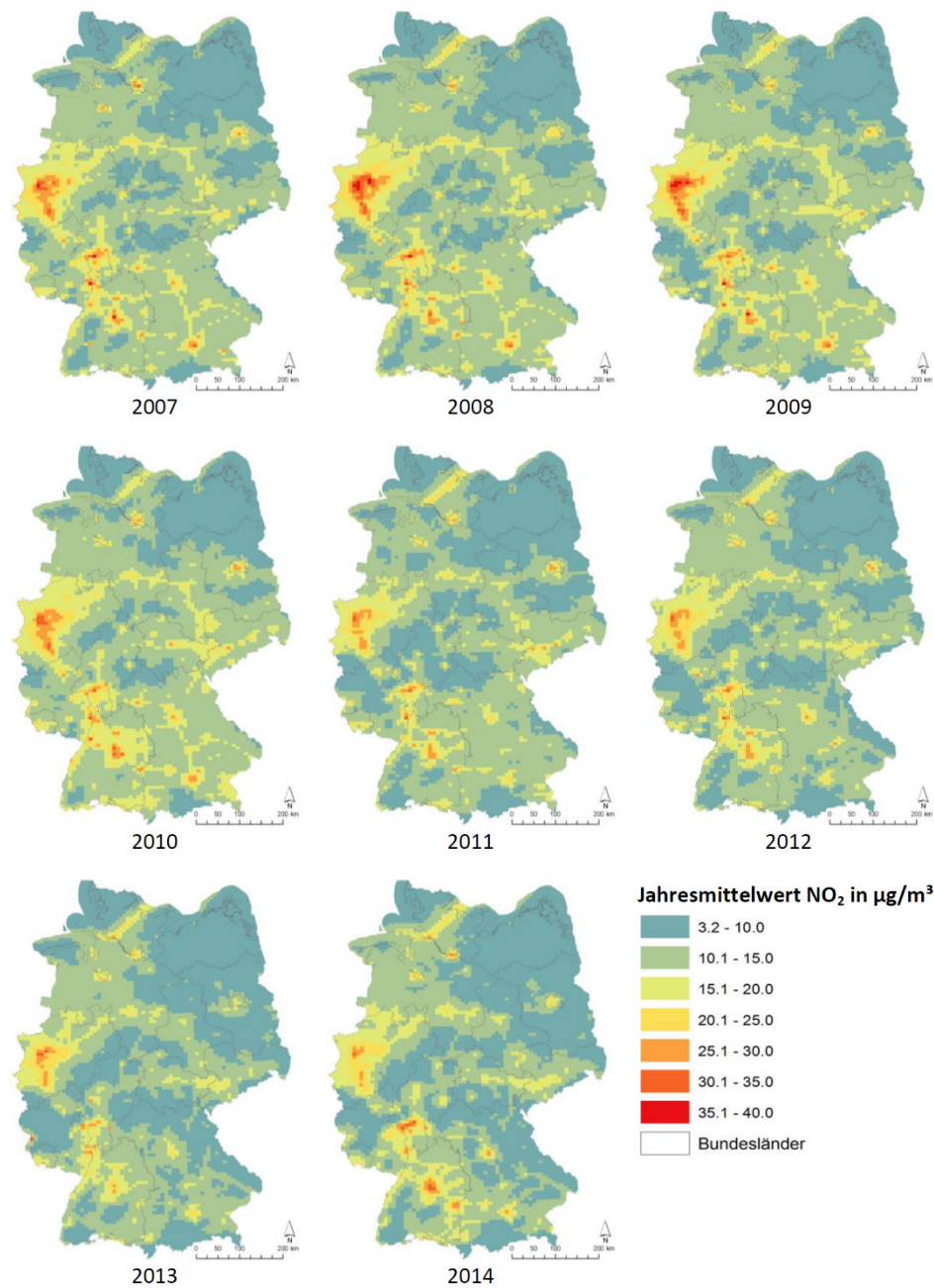


Abbildung 4 stellt die zeitliche Entwicklung der deutschlandweiten NO₂-Konzentration unter Berücksichtigung der NO₂-Konzentrationen gemessen an Messstationen im ländlichen und städtischen Hintergrund dar. Insbesondere in den Ballungsräumen des Ruhrgebiets, entlang des Rheins und im Rhein-Main-Gebiet ist seit 2010 eine Abnahme der NO₂-Konzentration zu erkennen. Für den Großraum Stuttgart zeigt sich ebenfalls ein leichter Rückgang der Belastung, die 2014 besonders dort und im Rhein-Main-Gebiet jedoch wieder zunimmt.

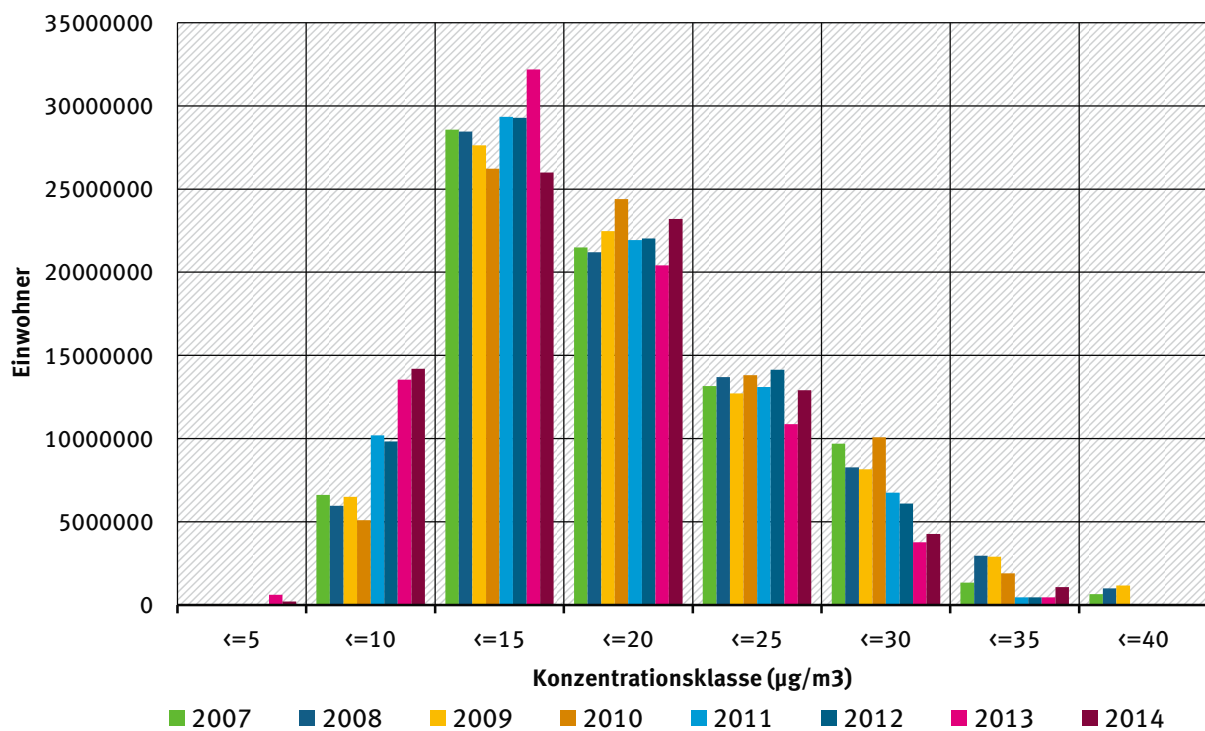
Abbildung 4: Karten der räumlichen Verteilung der NO₂-Hintergrundkonzentration in µg/m³ in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2014



4.4 NO₂-Belastung der deutschen Bevölkerung

Eine personengenaue Angabe der NO₂-Belastung für die Bevölkerung Deutschlands ist derzeit nicht möglich. Zur Schätzung der Belastung der Bevölkerung wurde in der vorliegenden Studie ein Belastungsindikator berechnet, der die durchschnittliche bevölkerungsgewichtete NO₂-Konzentration pro Jahr darstellt. Hierzu wurden Daten zur Einwohnerdichte mit den Daten der deutschlandweiten NO₂-Belastung kombiniert. Abbildung 5 zeigt die Anzahl der Einwohner in den jeweiligen NO₂-Konzentrationsklassen für die Jahre 2007 bis 2014. Die meisten Einwohner betreffen NO₂-Belastungen zwischen 10 und 15 µg/m³. In Ballungsgebieten werden zum Teil deutlich höhere Werte als 40 µg/m³ erreicht. Diese bleiben hier unberücksichtigt, wie zuvor bereits erläutert.

Abbildung 5: Anzahl der Einwohner in NO₂-Konzentrationsklassen der NO₂-Hintergrundbelastung für die Jahre 2007 bis 2014



Quelle: Eigene Darstellung nach Schneider et al. 2018

5 Hintergrundinformationen zur Studie

5.1 Wie wird untersucht, welche Auswirkungen NO₂ auf die menschliche Gesundheit hat?

Im Rahmen epidemiologischer Studien, dies sind bevölkerungsbezogene Beobachtungsstudien, werden Personen mit einer hohen NO₂-Belastung mit Personen verglichen, die einer niedrigeren NO₂-Konzentration ausgesetzt sind. Hieraus kann abgeleitet werden, wie hoch bei bestimmten NO₂-Konzentrationen das Risiko zu erkranken oder versterben ist.

Epidemiologische Studien ermöglichen keine Aussagen über ursächliche Beziehungen. Jedoch liefern zahlreiche epidemiologische Studien konsistente Ergebnisse über die statistischen Zusammenhänge zwischen negativen gesundheitlichen Auswirkungen und NO₂-Belastungen. Außerdem liefern experimentelle und toxikologische Studien Hinweise auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen ausgewählten Gesundheitsstörungen und der Belastung gegenüber NO₂.

Einen umfassenden Überblick zu den Gesundheitswirkungen von NO₂ bieten die Übersichtsarbeiten der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 2013a⁵ und 2013b⁶), der amerikanischen Umweltbehörde (U.S. EPA, 2016⁷), des Schweizerischen Tropen und Public Health Instituts (Swiss TPH; Kutlar Joss et al., 2015⁸) und der Kanadischen Regierung (Health Canada, 2016⁹). Ausgehend von den Erkenntnissen dieser Berichte wurde in der hier vorliegenden Studie ergänzend eine Literaturrecherche nach epidemiologischen Studien zu den gesundheitlichen Effekten von NO₂ durchgeführt. Die Gesamtheit der recherchierten Studien bildet die Grundlage für die daraus abgeleiteten gesundheitlichen Wirkungen durch die NO₂-Belastung in Deutschland.

5.2 Berechnung der Krankheitslast

Die NO₂-bedingte Krankheitslast wird unter Verwendung der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) entwickelten Environmental Burden of Disease (EBD)-Methode quantifiziert (Prüss-Üstün et al. 2003). Als Maßeinheit werden verlorene gesunde Lebensjahre (engl. Disability-Adjusted Life Years, kurz: DALY) genutzt. DALYs sind ein Summenmaß und kombinieren die Anzahl der Lebensjahre, die durch vorzeitigen Tod verloren gehen (engl. Years of Life Lost, kurz: YLL), mit den Lebensjahren, die in einem durch Erkrankungen eingeschränkten Gesundheitszustand gelebt werden (engl. Years Lived with Disability, kurz: YLD)¹⁰.

⁵ <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>

⁶ <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide>

⁷ <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=310879>

⁸ <http://edoc.unibas.ch/37623/>

⁹ <http://publications.gc.ca/site/eng/9.816718/publication.html>

¹⁰ UBA-Erklärvideo zur EBD-Methode: <https://www.youtube.com/watch?v=vEe5jCGYrpl>

Zur Berechnung der Krankheitslast werden Daten zum Krankheits- und Versterbegeschehen benötigt. Diese Daten stammen aus nationalen Registern (z. B. Todesursachenstatistik) und Studien (z. B. Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland).

Die Krankheitslast, die auf die Wirkungen von NO₂ zurückzuführen ist, wird mit Hilfe des populationsbezogenen attributablen Anteils berechnet. Für diese Kennzahl wird die bevölkerungsbezogene NO₂-Exposition in Deutschland mit der entsprechenden Expositions-Wirkungsfunktion kombiniert. Expositions-Wirkungsfunktionen quantifizieren den statistischen Zusammenhang zwischen einer Erhöhung der Exposition und dem Anstieg des Gesundheitsrisikos. Dieses stammt aus den recherchierten epidemiologischen Studien (siehe Abschnitt 5.1).

Referenzen

EU-RICHTLINIE 2008/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa

Health Canada (2016): Human health Risk Assessment for Ambient Nitrogen Dioxide. Water and Air Quality Bureau. Safe Environments Directorate, Healthy Environments and Consumer Safety Branch. Health Canada 2016

Kutlar Joss M, Dyntar D, Rapp R (2015): Gesundheitliche Wirkungen der NO₂-Belastung auf den Menschen: Synthese der neueren Literatur auf Grundlage des WHO-REVIHAAP Berichts. Basel

Lenschow P, Abraham HJ, Kutzner K, Lutz M, Preuss JD, Reichenbacher W (2001): Some ideas about the sources of PM₁₀. Atmos Environ 35 Suppl 1: 23-33.

Minkos A, Dauert U, Feigenspan S et al. (2017). Luftqualität 2016 vorläufige Auswertung. Schriftenreihe Hintergrundpapier. Berlin/Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt

Prüss-Üstün A, Mathers C, Woodward A & Corvalán C (2003): Introduction and methods: assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Environmental Burden of Disease Series, No. 1. Geneva: World Health Organization.

U.S. EPA (2016): Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2016; EPA/600/R-14/006

WHO (2013a): Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project. Technical Report. 2013a. Bonn: WHO Regional Office for Europe

WHO (2013b): Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Bonn: WHO Regional Office for Europe