

**Expertise zu gesundheitlichen Risiken von
Stickstoffdioxid**

**im Vergleich zu Feinstaub und anderen
verkehrsabhängigen Luftschadstoffen**

–

Bewertung durch internationale Expertengruppen

Expertise

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. H.-Erich Wichmann

Direktor d. Instituts für Epidemiologie i.R.
Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

und
o. Professor für Epidemiologie i.R.,
Ludwig Maximilians Universität, München

Stand 5.2.2018

Impressum

Autor Prof. Dr. Dr. H.-Erich Wichmann Waldhornstr. 54a 80997 München Kontakt: erich.wichmann@gmail.com	Zur Vorlage bei der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Luftreinhaltung“ der Landesregierung Baden-Württemberg
--	---

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
2 Aktueller Stand der Bewertung durch internationale Gremien	4
3 Fragen und Antworten der Expertise	7
4 Diskussion	9
4.1 Kausalitätsbetrachtungen	9
4.2 Anwendung der Kausalitätskriterien auf NO ₂	10
4.3 Hauptfragestellung: Gesundheitsfolgenabschätzung für Langzeitexposition und Mortalität	12
4.4 Abgrenzung der Wirkungen einzelner Schadstoffe in epidemiologischen Studien	14
4.5 Bedeutung der Reduktion einzelner Schadstoffkomponenten für die Gesundheit	15
4.6 Derzeit gültige Grenzwerte und Richtwerte	17
4.7 Immissionssituation in Deutschland und Stuttgart	17
4.8 weitere Anmerkungen	18
5 Gesamtbewertung	19
6 Literatur	20
7 Lebenslauf des Autors in Hinblick auf die Forschung zu gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen	23

Anhang (separat)

Anhang A: Begründung der Antworten

Anhang B: Richtwerte und Grenzwerte

Anhang C: Immissionsbelastung in Stuttgart im Vergleich zu Richtwerten und Grenzwerten

Anhang D: Vertrauenswürdigkeit der Datenlage zu gesundheitlichen Schadstoffwirkungen

Anhang E: Erläuterung wichtiger Begriffe

Zusammenfassung

Hintergrund

Luftschadstoffe aus dem Kraftfahrzeugverkehr stellen anerkanntermaßen ernstzunehmende gesundheitliche Risiken für die Bevölkerung dar. In dieser Expertise soll genauer analysiert werden, welchen Beitrag dabei die einzelnen Schadstoffe leisten.

Vorgehensweise

Grundlage ist die Bewertung internationaler Gremien von WHO/EU und US-EPA zu Wirkungen von NO₂, Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}) sowie weiteren verkehrsabhängigen Schadstoffen. Dabei stehen die Belastbarkeit der Datenlage und die quantitative Betrachtung von Effekten der Langzeitexposition im Vordergrund. Ferner werden gesundheitliche Auswirkungen von Reduktionsmaßnahmen betrachtet.

Ergebnisse

- **Belastbarkeit der Datenlage**

NO₂: Die Beweiskraft für Effekte der Kurzzeitexposition auf die Atemwege wird von WHO/EU und US-EPA als hoch angesehen, insbesondere für das Auftreten von Asthma und die Verschlimmerung von Asthma-Symptomen. Die Datenlage zu Effekten der Langzeitexposition von NO₂ ist demgegenüber weniger eindeutig. Die US-EPA sieht keine klaren Belege für unabhängige NO₂ Effekte auf biologische Prozesse, die zur erhöhten Mortalität führen könnten.

Feinstaub (PM_{2,5}): Die Beweiskraft für Effekte der Kurzzeitexposition auf das Herz-Kreislauf-System und die Atemwege sowie auf die tägliche Sterberate wird von WHO/EU und US-EPA als hoch eingestuft. Die Beweiskraft für Effekte der Langzeitexposition auf die Mortalität (Gesamtsterblichkeit) sowie Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen wird ebenfalls als hoch angesehen.

Sonstige verkehrsabhängige Schadstoffe: Für grobe Partikel (PM_{10-2,5}) sowie für ultrafeine Partikel gibt es aus Sicht von WHO/EU und US-EPA wegen der begrenzten Datenlage lediglich Hinweise auf Effekte der Kurzzeitexposition.

- **Quantitative Abschätzungen der Auswirkungen der Langzeitexposition auf die Mortalität**

NO₂: US-EPA und WHO/EU sehen die Datenlage für quantitative Aussagen zur vorzeitigen Todesfällen und verlorenen Lebensjahren als begrenzt an. Deshalb verzichtet US-EPA auf die Durchführung entsprechender Abschätzungen für NO₂. WHO/EU empfiehlt solche Abschätzungen nur für Sensitivitätsanalysen und verweist darauf, dass NO₂ möglicherweise ein Schadstoffgemisch repräsentiert und man nicht ausschließen kann, dass derartige Abschätzungen nicht die Wirkungen des NO₂-Gases allein wiedergeben.

Feinstaub (PM_{2,5}): US-EPA und WHO/EU halten Aussagen zu vorzeitigen Todesfällen und zu verlorenen Lebensjahren für abgesichert und nehmen entsprechende Abschätzungen vor.

Sonstige verkehrsabhängige Schadstoffe: Nach Einschätzung von US-EPA und WHO/EU ist die Datenlage nicht ausreichend, um Abschätzungen für gesundheitliche Langzeitwirkungen dieser Schadstoffe durchführen zu können.

Ferner machen weitere internationale Expertengremien quantitative Aussagen zum Zusammenhang zwischen der Langzeitexposition gegenüber Feinstaub und der Mortalität. WHO/EU, US-EPA, die EU-Kommission, die OECD und das Konsortium „Global Burden of Disease“ führen Abschätzungen für PM_{2,5} durch und geben den berechneten Mortalitätseffekten ein hohes Gewicht. Für NO₂ nimmt lediglich die Europäische Umweltbehörde quantitative Abschätzungen vor.

- **Auswirkungen von Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Hinblick auf die Gesundheitsrisiken**

NO₂: Die Reduktion der Exposition gegenüber NO₂ als Gas kann naturgemäß nur eine Verringerung der gesundheitlichen Auswirkungen des Gases NO₂ zur Folge haben.

Betrachtet man NO₂ als Indikator für das Gemisch verkehrsabhängiger Luftschadstoffe, dann können die durch die anderen Schadstoffe (wie ultrafeine Partikel, Ruß (elementarer Kohlenstoff), PAH etc)

bedingten gesundheitlichen Auswirkungen nicht direkt durch die Reduktion der Freisetzung des Gases NO₂ beeinflusst werden. Hierzu ist es vielmehr erforderlich, die Freisetzung dieser Schadstoffe ebenfalls zu verringern.

Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}), ultrafeine Partikel: Dieselfußfilter sorgen für eine erhebliche Reduktion der Freisetzung von groben, feinen und ultrafeinen Partikeln. Damit werden gleichzeitig die an diese Partikel angelagerten toxischen Stoffe herausgefiltert. Ferner hat sich die Einführung von Umweltzonen als eine wirkungsvolle Maßnahme zur Verringerung der Partikelbelastung erwiesen.

Schlussfolgerung

NO₂: Die Exposition gegenüber hohen Belastungsspitzen von NO₂ kann zum Auftreten von Asthma und der Verschlimmerung von Asthmasymptomen führen. Daher sind Maßnahmen zur Verringerung derartiger Kurzzeitbelastungen dringend geboten.

In Hinblick auf Effekte der Langzeitexposition gegenüber NO₂ ist die Datenlage weniger eindeutig, dennoch haben WHO/EU und US-EPA Richtwerte/ Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor Langzeitbelastungen durch NO₂ festgelegt. Eine quantitative Abschätzung von Effekten des Gases NO₂ auf die Mortalität erscheint schwierig, da eine Abgrenzung von Auswirkungen anderer verkehrsabhängiger Schadstoffe nicht überzeugend gelingt. Am ehesten lässt sich NO₂ als Indikator für verkehrsabhängige Schadstoffe verstehen. Daher ist es aus gesundheitlicher Sicht nicht ausreichend, nur die Freisetzung des Gases NO₂ aus Kraftfahrzeugen zu verringern.

Feinstaub: Demgegenüber sind die gesundheitlichen Auswirkungen der Feinstaubbelastung in Hinblick auf die Kurzzeit- und Langzeitexposition als gesichert anzusehen. So steigt nach dem derzeitigen Wissensstand die Mortalität mit zunehmender Belastung durch PM_{2,5} an und entsprechend ist von einem Rückgang der Mortalität bei Reduktion der Feinstaubbelastung auszugehen.

Auch wenn die Beweiskraft für Auswirkungen von Feinstaub auf die Gesundheit – insbesondere bei Langzeitbelastung – klarer und das Ausmaß der Gesundheitsschäden höher ist als durch das Gas NO₂, so ist dennoch zum Schutz der Bevölkerung eine Verringerung der hohen NO₂-Belastung in städtischen Bereichen in Deutschland dringend zu fordern.

1 Einleitung

Ziel dieser Expertise ist es, den aktuellen Wissensstand zu den gesundheitlichen Auswirkungen von NO₂ zusammenzustellen, zu bewerten und mit dem Wissen über Feinstaub und andere verkehrsabhängige Schadstoffe zu vergleichen. Diese Gegenüberstellung ist wichtig, da wir es mit einem Schadstoffgemisch zu tun haben, von dem belegt ist, dass es negative gesundheitliche Auswirkungen auf die exponierte Bevölkerung hat.

Im Folgenden soll analysiert werden, ob und in welchem Umfang eine Zuordnung dieser Wirkungen zu einzelnen Schadstoffen möglich ist. Ferner soll beleuchtet werden, wie sich Reduktionsmaßnahmen für einzelne Schadstoffe auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirken. Ein wichtiger Aspekt ist die Frage der Gesundheitsfolgenabschätzung durch Berechnungen der Auswirkung der Schadstoffbelastung auf die Sterblichkeit. Diese wird als Mortalität bezeichnet und bezieht sich auf die Gesamtsterblichkeit aller natürlichen Todesursachen. Die genauere Definition hierfür und für andere Fachbegriffe findet sich im Anhang E.

2 Aktueller Stand der Bewertungen internationaler Gremien

Es werden vorrangig Dokumente betrachtet, die durch internationale Expertengruppen erarbeitet wurden und den aktuellen Wissensstand wiedergeben. Dies sind überwiegend die Bewertungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Umweltbehörde der USA (US-EPA), da diese Institutionen die umfassendsten und validesten Berichte vorgelegt haben. Die EU arbeitet seit vielen Jahren eng mit dem WHO-Regionalbüro für Europa zusammen und nimmt keine eigenen Bewertungen des gesundheitsbezogenen Wissensstandes vor. Deshalb werden die Dokumente von WHO und EU gemeinsam betrachtet.

Kasten 1: analysierte Dokumente aus Europa (WHO/EU)

Die Dokumente der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Europäischen Union (EU) werden gemeinsam betrachtet, da die EU auf eigene gesundheitliche Bewertungen verzichtet und sich auf die Bewertungen und Ableitungen der WHO stützt.

WHO 2006 Air Quality Guidelines

Die derzeit gültigen Leitlinien für die Luftqualität wurden 2006 von der WHO herausgegeben. Sie enthalten Empfehlungen für gesundheitsbasierte Richtwerte sowie deren wissenschaftliche Begründung.

WHO 2013 REVIHAAP Evaluation of Health aspects of air pollution

Das WHO Regionalbüro für Europa hat die Projekte REVIHAAP (Evidence on health aspects of air pollution to review EU policies) und HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe) mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission durchgeführt. Diese Projekte sollen wissenschaftliche, evidenzbasierte Empfehlungen zu gesundheitlichen Aspekten der Luftverschmutzung liefern, um die für 2013 geplante umfangreiche Bewertung der Luftreinhaltepolitik der EU (s.u.) zu unterstützen.

WHO 2013 HRAPIE Concentration-Response Functions

In dem Bericht werden Empfehlungen für Expositions-Wirkungs-Beziehungen (als Konzentrations-Wirkungs-Funktionen bezeichnet) zur quantitativen Abschätzung von Gesundheitsrisiken sowie zugehörige Hintergrundinformationen zusammengestellt. Die Empfehlungen basieren auf den Ergebnissen des REVIHAAP-Berichts.

WHO 2016 Available evidence for update of the guidelines

Das WHO Regionalbüro für Europa veranstaltete 2015 in Bonn eine globale Anhörung, um die Einschätzung von Experten zu aktuell verfügbaren Belegen für Gesundheitseffekte der Luftverschmutzung und zu Interventionsmöglichkeiten zu ihrer Reduzierung zu erfahren. Die Ergebnisse sollen in die zukünftige Aktualisierung der WHO-Leitlinien einfließen.

EU 2013 EU Clean Air Policy Package

Die Mitteilung EU (2013) zum Paket der EU-Luftreinhaltepolitik stellt fest, dass die derzeit gültigen Luftqualitätsgrenzwerte sorgfältig geprüft, aber nicht geändert wurden. Ferner werden Abschätzungen durchgeführt, wie sich die angestrebte Verbesserung der Luftqualität in den nächsten Jahren auf die Reduktion der Mortalität (durch Feinstaub und Ozon) auswirkt. NO₂ wird nicht betrachtet.

ETC/ACM 2016 und Heroux et al. 2015 Quantifying the health impacts of ambient air pollution

In diesem technischen Bericht des European Topic Center on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM) wird das Verfahren angegeben, das für die Gesundheitsfolgenabschätzung (Health Impact Assessment) in den Luftqualitätsreports der Europäischen Umwelt Agentur (EEA) verwendet wird. Gleichzeitig werden die Konzentrations-Wirkungs Funktionen (u.a. für PM_{2,5} und NO₂) zur Abschätzung von Auswirkungen auf die Mortalität und die Morbidität im Detail beschrieben.

EEA 2016 und 2017 Annual Reports

Die Luftqualitätsreports der Europäischen Umwelt Agentur (EEA) für 2016 bzw. 2017 enthalten neben Expositionsdaten der Bevölkerung in den Ländern der EU Abschätzungen für vorzeitige Todesfälle und verlorene Lebensjahre durch PM_{2,5} und NO₂ bzw. zusätzliche Sensitivitätsanalysen.

Aktueller Stand und die nächsten Schritte

Derzeit wird eine Aktualisierung der WHO Air Quality Guidelines vorbereitet. Hierzu fand 2015 ein Beratungstreffen statt (WHO 2016, s.o.). Nach Auskunft des federführenden WHO Regionalbüros für Europa, Europäisches Zentrum für Umwelt und Gesundheit (WHO/ECEH) Bonn ist mit der Fertigstellung der neuen WHO Leitlinien im Jahr 2020 zu rechnen (WHO 2017, 2018). Bis dahin sind die Richtwerte aus dem Jahr 2006 gültig.

Kasten 2: analysierte Dokumente aus den USA

Die Umweltschutzbehörde der USA (US-Environmental Protection Agency) führt in regelmäßigen Abständen sehr gründliche Analysen des Wissensstandes zu gesundheitlichen Auswirkungen der wichtigsten Luftschadstoffe durch. Dabei werden auch die Daten aus Europa im Detail berücksichtigt.

US-EPA 2009 Integrated Science Assessment for Particulate Matter

Die integrierte Bewertung der Wissenschaft (Integrated Science Assessment) dient der Überprüfung Synthese und Einordnung der wichtigsten Erkenntnisse, die für die Grenzwertableitung relevant sind. Sie bildet die wissenschaftliche Grundlage für die Grenzwerte für Partikel in den USA.

US-EPA 2010 Quantitative Health Risk Assessment for Particulate Matter

Dieser Bericht zur quantitativen Abschätzung des Gesundheitsrisikos (Quantitative Health Risk Assessment) dient dem Ziel, die gesundheitsbezogenen Grenzwerte der USA (primary standards) für Partikel zu überprüfen.

US-EPA 2016a Review Plan for Air Quality Standards of Particulate Matter

Die EPA führt eine neuerliche Überprüfung der bestehenden Luftreinhaltkriterien für Partikel durch. Diese Überprüfung wird zu einer aktualisierten integrierten Bewertung der relevanten wissenschaftlichen Informationen führen. Der vorliegende Plan zur Überprüfung (Integrated Review Plan) der Grenzwerte für Partikel wurde von der EPA auf der Grundlage von Empfehlungen des unabhängigen Beratungskomitees CASAC (Clean Air Scientific Advisory Committee) und von Kommentaren aus der Öffentlichkeit erstellt. Dieser Prozess ist noch nicht abgeschlossen.

US-EPA 2016 Integrated Science Assessment for NO₂

Die integrierte Bewertung der Wissenschaft (Integrated Science Assessment) dient der Überprüfung und Synthese der wichtigsten Erkenntnisse, mit dem Ziel, die Exposition gegenüber NO₂ und die Relation zu Gesundheitseffekten zu charakterisieren. Sie bildet die wissenschaftliche Grundlage für die Überprüfung der Grenzwerte für NO₂ in den USA.

US-EPA 2017 Review of Air Quality Standards for NO₂

Dieses Dokument begründet die von der EPA in Übereinstimmung mit den Experten vorgeschlagene Beibehaltung der Grenzwerte für NO₂.

Aktueller Stand und die nächsten Schritte

Die Überprüfung der Grenzwerte für NO₂ in den USA ist 2017 praktisch abgeschlossen worden und es ist davon auszugehen, dass die bestehenden Grenzwerte beibehalten werden.

Die Überprüfung der bestehenden Luftreinhaltkriterien für Partikel in den USA ist noch nicht abgeschlossen, es liegen allerdings seit 2016 wichtige Zwischenergebnisse vor. Das US-EPA Integrated Science Assessment für PM sollte ursprünglich im ersten Entwurf Ende 2017 veröffentlicht werden, ist aber noch nicht verfügbar.

Die Bewertungen stützen sich auf die Einschätzung ausgewiesener Experten aus der Expositionsforschung, Toxikologie und Epidemiologie sowie der Risikoabschätzung. Grundlage ist die umfangreiche publizierte Weltliteratur zur Erforschung dieser Zusammenhänge.

Auch in anderen Ländern, zB. In Kanada (Health Canada 2016), Großbritannien (COMEAP 2018) oder der Schweiz (Swiss TPH 2015) befassen sich eigene Expertengremien mit gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffbelastungen, aber deren Ergebnisse ähneln denen der hier betrachteten Expertengruppen, so dass sie nicht im Detail diskutiert werden sollen.

Es sollte beachtet werden, dass die Expertengruppen sich überwiegend auf dieselben zentralen wissenschaftlichen Arbeiten stützen. Daher ist es nicht überraschend, dass sich die Kernaussagen in diesen Bewertungen ähneln. Unterschiede ergeben sich vor allem dadurch, dass die Verlässlichkeit der bewerteten Studien unterschiedlich eingeschätzt wird bzw. dass manche Expertengruppen nur klar belegte Zusammenhänge zur Grundlage ihrer Empfehlungen machen während andere Expertengruppen auch weniger gut abgesicherte Befunde in ihre Bewertungen einfließen lassen. Ferner kann die Datenlage zum Zeitpunkt der Berichtserstellung unterschiedlich sein, da neuere Studien in älteren Bewertungen naturgemäß nicht berücksichtigt werden konnten.

In die Grenzwertfestsetzung fließen zusätzliche Gesichtspunkte ein. So müssen Umweltbehörden der EU und der USA nicht nur den Kenntnisstand zu den Risiken (risk assessment) sondern auch die Umsetzbarkeit und Durchsetzbarkeit der Regelungen zur Luftreinhaltung (risk management) berücksichtigen.

Die vorliegende Expertise wertet die in den Kästen 1 und 2 aufgelisteten Dokumente aus Europa und den USA in Hinblick auf NO₂, Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}) und andere verkehrabhängige Schadstoffe aus. In diesen teilweise sehr umfangreichen Dokumenten werden Aussagen zu den hier interessierenden Aspekten an vielen verschiedenen Textstellen gemacht. Es ist daher nicht machbar und sinnvoll, wörtliche Zitate zu verwenden. Stattdessen werden die Aussagen sinngemäß zusammengefasst.

3 Fragen und Antworten der Expertise

Im Folgenden werden die wichtigsten Fragen der Expertise und deren Antworten in kompakter Form zusammengestellt. Die ausführlichen Begründungen der Antworten finden sich im Anhang A.

Frage 1: *Wie ist der Wissensstand zu Auswirkungen der Kurzzeitexposition gegenüber NO₂, Feinstaub und anderen verkehrabhängigen Schadstoffen auf die menschliche Gesundheit?*

Antwort 1: *Effekte der Kurzzeitexposition können unter kontrollierten Bedingungen im Tierversuch oder in Expositions-kammern am Menschen untersucht werden. Ferner stehen epidemiologische Studien zur Verfügung, die in der exponierten Bevölkerung Zusammenhänge zwischen dem Gesundheitszustand und der täglichen Schadstoffkonzentrationen analysieren.*

Für Effekte der Kurzzeitexposition gegenüber NO₂ besteht nach Einschätzung von WHO/EU die stärkste Beweiskraft für respiratorische Krankenhausaufnahmen und die tägliche Sterberate. Die Belege für einen Zusammenhang zwischen der Kurzzeitexposition gegenüber NO₂ und respiratorischen Erkrankungen haben sich verstärkt. Seitens der US-EPA werden nur Kurzeffekte von NO₂ auf die Atemwege als kausal angesehen. Hierzu zählen insbesondere die Verschlimmerung von Asthma, klinisch relevante Anstiege in der Empfindlichkeit der Atemwege und Anstiege von allergischen Reaktionen, ferner der Abfall der Lungenfunktion und der Anstieg von Atemwegssymptomen bei Kindern mit Asthma und der Anstieg von Krankenhausaufnahmen und Besuchen von Notaufnahmen wegen asthmatischer Beschwerden.

Als Effekte der Kurzzeitexposition gegenüber Feinstaub (PM_{2,5}) werden seitens WHO/EU Effekte auf die tägliche Sterberate sowie Krankenhausaufnahmen von Patienten mit Herz-Kreislauf Erkrankungen oder Atemwegserkrankungen als abgesichert eingestuft. Die US-EPA sieht ebenfalls Kurzeffekte von Feinstaub auf die tägliche Sterberate und das Herz-Kreislauf System als kausal abgesichert an.

Für andere Luftschadstoffe werden seitens WHO/EU und US-EPA in Hinblick auf grobe Partikel (PM₁₀-PM_{2,5}) und ultrafeine Partikel (<0,1 µm) Hinweise auf Effekte der Kurzzeitexposition gesehen. Die Datenlage reicht aber nicht für eine Einstufung als kausal aus.

Frage 2: *Wie ist der Wissensstand zu Auswirkungen der Langzeitexposition gegenüber NO₂, Feinstaub und anderen verkehrabhängigen Schadstoffen auf die menschliche Gesundheit?*

Antwort 2: *Effekte der Langzeitexposition setzen Expositionen über einen langen Zeitraum (Jahre) voraus. Daher stehen toxikologische Experimente oder Expositions-kammerversuche unter kontrollierten Bedingungen zu ihrer Untersuchung nicht zur Verfügung. Die Bewertungen stützen sich somit auf epidemiologische Beobachtungen in der Bevölkerung.*

Von WHO/EU werden nach Langzeitexposition gegenüber NO₂ Effekte auf die Atemwege (bronchitische Symptome bei Kindern mit Asthma) und die Mortalität relativ am höchsten eingestuft. Dabei wird die Datenlage jedoch als „unsicherer“ bezeichnet. Das wird damit begründet, dass es schwierig ist, zu beurteilen, ob es in den vorliegenden Studien unabhängige Effekte von NO₂ als Gas gibt, da die Korrelationen zwischen NO₂ und anderen Schadstoffen oftmals hoch sind, so dass NO₂ möglicherweise ein Schadstoffgemisch repräsentiert.

Seitens der US-EPA werden in Hinblick auf die Langzeitexposition gegenüber NO₂ Wirkungen auf die Atemwege (Entwicklung von Asthma, Neuerkrankungen von Asthma bei Kindern) als wahrscheinlich kausal eingestuft. Effekte auf die Mortalität (sowie weitere Effekte) werden als Hinweise angesehen, die nicht ausreichen, um einen kausalen Zusammenhang abzuleiten.

Für gesundheitliche Auswirkungen der Langzeitexposition gegenüber Feinstaub (PM_{2,5}) gibt es aus Sicht von WHO/EU eine vertrauenswürdige Datenlage für Effekte auf die Mortalität. Von der US-EPA wird die Beweiskraft für die Gesamtmortalität, die Mortalität durch Herz-Kreislauf Erkrankungen und Atemwegserkrankungen als kausal oder wahrscheinlich kausal eingestuft.

Für Gesundheitseffekte der Langzeitexposition gegenüber anderen Schadstoffen ist die Datenlage als unzureichend anzusehen.

Frage 3: Sind quantitative Abschätzungen von Auswirkungen der Exposition gegenüber NO₂, Feinstaub und anderen verkehrsabhängigen Schadstoffen auf die Gesundheit und insbesondere auf die Mortalität möglich?

Antwort 3: Prinzipiell sind quantitative Abschätzungen gesundheitlicher Auswirkungen der Schadstoffexposition für ein Land oder eine Region vertretbar, wenn die Datenlage entsprechend abgesichert ist. Speziell für die Mortalität ist ein übliches Verfahren, Konzentrations-Wirkungs-Funktionen zur Berechnung vorzeitiger Todesfälle bzw. verlorener Lebensjahre in Abhängigkeit vom Jahresmittel der Schadstoffkonzentration zu verwenden, die auf epidemiologischen Studien basieren.

Für die Langzeitexposition gegenüber NO₂ wird von WHO/EU eine Konzentrations-Wirkungs-Funktion für die Mortalität angegeben. Diese soll aber wegen bestehender Unsicherheiten nur für Sensitivitätsanalysen verwendet werden. Die Europäischen Umweltagentur (EEA) führt dennoch Abschätzungen durch und berechnet für Deutschland 12.860 vorzeitige Todesfälle und 133.800 verlorene Lebensjahre durch NO₂ in 2014. Der NO₂-Jahresmittelwert in 2014 betrug 20,2 µg/m³.

Demgegenüber gibt die US-EPA keine Konzentrations-Wirkungs-Funktion für die Mortalität in Abhängigkeit von NO₂ an, da dieser Zusammenhang als nicht ausreichend abgesichert eingestuft wird.

Für die Langzeitexposition gegenüber PM_{2,5} wird von WHO/EU ebenfalls eine Konzentrations-Wirkungs-Funktion für die Mortalität angegeben. Die Beweiskraft wird in die höchste Gruppe eingestuft (Es sind genügend Daten vorhanden, um eine vertrauenswürdige Quantifizierung von Wirkungen zu ermöglichen). Mit dieser Konzentrations-Wirkungs-Funktion werden für Deutschland 66.080 vorzeitige Todesfälle und 687.700 verlorene Lebensjahre durch PM_{2,5} in 2014 berechnet. Der PM_{2,5}-Jahresmittelwert in 2014 betrug 13,4 µg/m³.

Die US-EPA gibt mehrere Konzentrations-Wirkungs-Funktionen für die Mortalität in Abhängigkeit von PM_{2,5} an, die im Wesentlichen auf der gleichen Datengrundlage wie die Funktion der WHO/EU beruhen und dieser daher ähneln.

Frage 4: Was ergibt der Vergleich von NO₂ mit Feinstaub und anderen verkehrsabhängigen Schadstoffen in Hinblick auf die menschliche Gesundheit?

Antwort 4: Dieser Vergleich wird wiederum auf der Grundlage der Bewertungen von WHO/EU und US-EPA durchgeführt.

Der Vergleich zwischen NO₂ und PM_{2,5} ergibt, dass sich die Experten der US-EPA und der WHO/EU darin einig sind, dass der Zusammenhang zwischen Langzeitexposition gegenüber PM_{2,5} und der Mortalität sehr gut abgesichert ist und als kausal angesehen werden kann, während die Belege für NO₂ schwächer sind.

Die WHO/EU Experten teilen zwar die Einschätzung der Experten der US-EPA, dass die Datenlage für NO₂ unsicherer ist, sie halten aber dennoch Berechnungen für Sensitivitätsanalysen für vertretbar.

Der Vergleich der NO₂-Exposition mit der Exposition gegenüber anderen verkehrsabhängigen Schadstoffen ergibt, dass NO₂, ultrafeine Partikel und Ruß (elementarer Kohlenstoff) stark miteinander

korreliert sind. Daher ist die Zuordnung der gesundheitlichen Auswirkungen zu einem dieser Stoffe nur begrenzt möglich.

Frage 5: Was bewirken Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Hinblick auf die Gesundheitsrisiken durch NO₂, Feinstaub und andere verkehrsabhängige Schadstoffe?

Antwort 5: Als Maßnahmen kommen die verminderte Freisetzung des Schadstoffes oder indirekte Schritte wie die Nutzungsbeschränkung für Kraftfahrzeuge in Betracht.

Die Reduktion der Exposition gegenüber NO₂ als Gas kann naturgemäß nur eine Verringerung der gesundheitlichen Auswirkungen des Gases NO₂ bewirken.

Betrachtet man NO₂ in seiner Rolle als Indikator auch für andere verkehrsabhängige Luftschadstoffe dann können die dadurch bedingten gesundheitlichen Auswirkungen nicht durch die alleinige Reduktion der Freisetzung von NO₂ vermieden werden. Hierzu ist es erforderlich, auch die Freisetzung dieser anderen Schadstoffe zu verringern. Da diese Stoffe überwiegend zu den Partikeln zählen oder an Partikel angelagert sind, sind zusätzliche Maßnahmen zu Verminderung der Partikelemission sinnvoll.

Für die Reduktion von Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}) sind ebenfalls und vor allem Maßnahmen zu Verminderung der Partikelemission sinnvoll. Diese werden in der Diskussion genauer beschrieben.

In Hinblick auf Langzeiteffekte geht ein Anstieg des Feinstaubes (PM_{2,5}) linear mit einer Anstieg der vorzeitigen Mortalität oder der verkürzten Lebenserwartung einher. Umgekehrt ist von einem Rückgang der Mortalität bei Reduktion der Feinstaubbelastung auszugehen.

4 Diskussion

4.1 Kausalitätsbetrachtungen

Für die sachgerechte Bewertung der gesundheitlichen Risiken durch einen Schadstoff ist es entscheidend, ob ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Exposition und gesundheitlichen Schäden besteht. Es gibt im Wesentlichen drei Untersuchungsmethoden:

- Tierexperimentelle Untersuchung

Hierbei werden die Versuchsbedingungen so gestaltet, dass man nachweisen kann, ab welcher Konzentration des Schadstoffes und ab welcher Expositionsdauer biologische Veränderungen reproduzierbar nachgewiesen werden können.

- Kontrollierte Exposition des Menschen

Ähnlich wie beim Tierversuch werden die Expositionsbedingungen so gestaltet, dass man nachweisen kann, ab welcher Konzentration des Schadstoffes und ab welcher Expositionsdauer biologische Veränderungen bei den freiwilligen Versuchsteilnehmern reproduzierbar nachgewiesen werden können. Hierbei sind sehr viel strengere Anforderungen an die Versuchsanordnung zu stellen als im Tierversuch, da aus ethischen Gründen nur mit deutlich niedrigeren Konzentrationen gearbeitet werden darf.

- Epidemiologische Studien am Menschen

Fast alle epidemiologischen Studien im Umweltbereich sind Beobachtungsstudien, bei denen die bestehenden Belastungsbedingungen nicht verändert werden können. Einerseits wird die Exposition der betrachteten Personen gegenüber dem Schadstoff gemessen oder abgeschätzt, andererseits wird die Gesundheit der Personen untersucht oder erfragt oder die Krankheitslast für die Personengruppe aus Krankenhausstatistiken, Sterberegistern etc. ermittelt. Da neben dem Schadstoff viele andere Einflüsse den Gesundheitszustand mit bestimmen, werden diese – soweit möglich - erfasst und als Kovariablen oder Störgrößen in der statistischen Analyse berücksichtigt. Wichtige Kovariablen sind der Lebensstil (Rauchen, Ernährung etc), Beruf, Ausbildung, aber auch die Exposition gegenüber anderen Schadstoffen.

Generell werden Anforderungen an die Belastbarkeit des Wissensstandes festgelegt, die erfüllt sein müssen um einen beobachteten Zusammenhang als kausal einzustufen (Hill 1965, US-EPA 2016). Die wichtigsten Kriterien sind:

- Konsistenz - der Effekt wurde in mehreren unabhängigen Studien gefunden und ist reproduzierbar, dh es gibt keine (erklärbaren) widersprüchlichen Ergebnisse
- Kohärenz- der Effekt wurde mit unterschiedlichen Studienansätzen (kontrollierte Exposition, tierexperimentell, epidemiologisch) und für ähnliche Gesundheitsendpunkte gezeigt (zB Herz-Kreislauf Erkrankungen und Herz-Kreislauf Mortalität)
- Biologische Plausibilität - es gibt (zB aus experimentellen Studien) biologisch plausible Mechanismen (für die Krankheitsentstehung durch die Schadstoffwirkung)
- Weitere Kriterien - siehe Anhang E

Die US-EPA hat ferner ein Rahmenwerk aufgestellt, das in 5 Stufen klassifiziert, in welchem Ausmaß die Kausalitätskriterien erfüllt sind (US-EPA 2009, 2016, genaueres siehe im Anhang E). Die drei wichtigsten Stufen sind:

Stufe 1: Es besteht ein *kausaler* Zusammenhang (causal): In Studien, bei denen Zufall, Störvariable (Confounder) und andere Verzerrungen mit ausreichender Zuverlässigkeit ausgeschlossen werden konnten, wurde gezeigt, dass der Schadstoff zu Gesundheitseffekten führt. Die Einstufung basiert auf mehreren Studien von hoher Qualität, die von mehreren Forschergruppen durchgeführt wurden.

Stufe 2: Es besteht *wahrscheinlich* ein *kausaler* Zusammenhang (likely to be causal): In Studien, bei denen die Ergebnisse nicht durch Zufall, Störvariable (Confounder) und andere Verzerrungen erklärt werden können, wurde gezeigt, dass der Schadstoff zu Gesundheitseffekten führt. Insgesamt bestehen aber Unsicherheiten in Hinblick auf die Datenlage. Die Einstufung basiert auf mehreren Studien von hoher Qualität.

Stufe 3: Es gibt *Hinweise* auf einen kausalen Zusammenhang mit relevanten Schadstoffexpositionen, aber die Belege sind begrenzt und Zufall, Störvariable (Confounder) und andere Verzerrungen können nicht ausgeschlossen werden. Die Hinweise reichen nicht aus, um einen kausalen Zusammenhang abzuleiten (suggestive).

4.2 Anwendung der Kausalitätskriterien auf NO₂

Die **US-EPA** nimmt die aktuellste Bewertung der Datenlage zu Gesundheitseffekten von NO₂ vor und liefert eine detaillierte Begründung (US-EPA 2016). Dabei werden Studien berücksichtigt, die bis 2015 erschienen sind. Diese Bewertung soll hier verkürzt wiedergegeben werden.

Kasten 3: Beispiel für die Auswertung von Expositionskammerstudien zur Untersuchung von Auswirkungen der Kurzzeitexposition gegenüber NO₂

Hier sei die Studie von Brown (2015) kurz beschrieben. Diese Metaanalyse wird in US-EPA (2016, Table 5-39) als eine der 3 Metaanalysen genannt, die konsistente Evidenz aus mehreren kontrollierten Expositionsstudien am Menschen mit hoher Qualität liefern. Hierbei können Zufall und Verzerrungen mit hinreichender Verlässlichkeit ausgeschlossen werden.

In die Metaanalyse von Brown (2015) zur Exposition in Ruhe wurden 16 Studien mit insgesamt ca. 240 Erwachsenen mit mildem Asthma aufgenommen, bei denen die Atemwegempfindlichkeit nach Exposition gegenüber NO₂ bzw. zur Kontrolle gegenüber gefilterter Luft untersucht wurde.

Die Analyse ergibt, dass nach einer 30 minütigen Exposition gegenüber 200 bis 300 ppb (ca. 400 bis 600 µg/m³) NO₂ bzw. nach einer 60 minütigen Exposition gegenüber 100 ppb (ca. 200 µg/m³) NO₂ bei einem statistisch signifikanten Anteil der Asthmatiker die Empfindlichkeit der Atemwege ansteigt. Nach einer 60 minütigen Exposition gegenüber 100 ppb (ca. 200 µg/m³) NO₂ zeigt sich ferner bei einem statistisch signifikanten Anteil der Asthmatiker ein klinisch relevante Halbierung der Dosis des Provokationsmittels. Die Studie belegt somit eine Verschlechterung des Gesundheitszustands von Asthmatikern bei umweltrelevanten NO₂-Konzentrationen.

Kasten 4: Beispiele für epidemiologische Studien zum Zusammenhang zwischen der Langzeitexposition gegenüber NO₂ und der Mortalität

- Die Analyse von Hoek et al. (2013) berücksichtigt 11 Studien aus Europa und Nordamerika, in denen der Zusammenhang zwischen PM_{2,5} und NO₂ mit der Mortalität untersucht wurde. In einem Teil der Studien lagen zusätzlich Daten zu PM₁₀, Ruß (black carbon, black smoke) und elementarem Kohlenstoff vor. Die gepoolten Effektschätzer für PM_{2,5}, NO₂ und elementaren Kohlenstoff zeigten signifikante Zusammenhänge mit der Mortalität, wobei die Autoren NO₂ und elementaren Kohlenstoff als Marker für Verbrennungsquellen ansehen. Die in dieser Analyse gefundenen Konzentrations-Effekt-Beziehungen zwischen PM_{2,5} bzw. NO₂ und der Mortalität wurden von WHO 2013 HRAPIE und EEA (2016,2017) zur Berechnung der vorzeitigen Sterblichkeit ausgewählt. Es sei angemerkt, dass die umfangreichen Daten des europäischen ESCAPE-Projektes und der kalifornischen ACS-Auswertung in der Metaanalyse von Hoek et al. (2013) nicht berücksichtigt werden konnten, weil sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht veröffentlicht waren. Sie wurde erst später in den Arbeiten von Beelen et al. (2014) und Jerrett et al. (2013) publiziert.
- Die Meta-analyse von Beelen et al. (2014) untersucht ebenfalls den Einfluss der Luftverschmutzung auf die Mortalität. Sie basiert auf dem europäischen ESCAPE-Projekt. Dieses umfasst 22 Kohortenstudien mit ca. 370.000 Teilnehmern und einer mittleren Nachbeobachtungszeit von ca. 14 Jahren. Betrachtet wurde die Langzeitexposition gegenüber PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂ und weiteren Expositionsparametern. Die Exposition an der Wohnadresse der Teilnehmer wurde mit Hilfe von Landuse Regressions-Modellen geschätzt. Als Kovariablen wurden das Geschlecht, mehrere Variablen zum Rauchen, Passivrauchen und zur Ernährung sowie zu Beruf und Ausbildung berücksichtigt. Nach Adjustierung für die Kovariablen ergab sich nur für PM_{2,5} eine signifikante Expositions-Wirkungs-Beziehung. Für NO₂ ließ sich kein Effekt auf die Mortalität nachweisen.
- In der Arbeit von Jerrett et al. (2013) wurden die Daten einer Teilpopulation der Studie der American Cancer Society (Krewski et al. 2009) vertieft analysiert. Es handelt sich um die ca. 74.000 Teilnehmer aus Kalifornien mit einer Nachbeobachtungszeit von 18 Jahren, für die eine detaillierte Modellierung der Exposition (ebenfalls mit Hilfe von Landuse Regressions-Modellen) durchgeführt wurde. Auch hier wurde für eine große Zahl von Kovariablen (zu Lebensstil, Ernährung, Demographie, beruflichen und Ausbildungsfaktoren, Qualität der Wohnumgebung etc) adjustiert. Die Expositions-Wirkungs-Beziehung für die Langzeitexposition gegenüber PM_{2,5} und NO₂ zeigt einen signifikanten Anstieg der Mortalität, wobei die Schätzer für beide Schadstoffe vergleichbar sind. In der Zusammenfassung stellen die Autoren fest, dass das Ergebnis für NO₂ darauf hinweist, dass die verkehrsabhängige Luftverschmutzung mit vorzeitiger Sterblichkeit einhergeht.
- Die US-EPA (2016, Table 6-18) stuft die Studie von Jerrett et al. (2013) in die Kategorie „epidemiologische Studien von hoher Qualität, die generell einen kausalen Zusammenhang unterstützten aber nicht ganz konsistent sind“ ein. In dieser Kategorie werden insgesamt 13 Publikationen genannt, darunter auch die Veröffentlichungen zur Kohortenstudie mit ca. 5000 Frauen aus dem Ruhrgebiet (Heinrich et al. 2013, Wichmann et al. 2012, Schikowski et al. 2007). Die Studie von Beelen et al. (2014) wird in die Kategorie „Studien die keine Assoziation zeigen“ eingeordnet. Diese Kategorie umfasst 7 Publikationen.

Effekte der Kurzzeitexposition gegenüber NO₂:

Stufe 1 (kausal) - Effekte auf die Atemwege (Verschlimmerung von Asthma, klinisch relevante Anstiege in der Empfindlichkeit der Atemwege und Anstiege von allergischen Reaktionen, Abfall der Lungenfunktion und Anstieg von Atemwegssymptomen bei Kindern mit Asthma, Anstieg von Krankenhausaufnahmen und Besuchen von Notaufnahmen wegen asthmatischer Beschwerden)

Effekte der Langzeitexposition gegenüber NO₂:

Stufe 2 (Wahrscheinlich kausal) - Effekte auf die Atemwege (Entwicklung von Asthma, Neuerkrankungen an Asthma bei Kindern)

Stufe 3 - Es gibt Hinweise, die reichen aber nicht aus, um einen kausalen Zusammenhang abzuleiten (suggestive) – Es gibt keine klaren Belege für unabhängige NO₂ Effekte auf biologische Prozesse, die zur Mortalität führen. Ein großer Prozentsatz der Mortalität hat kardiovaskuläre Ursachen, für die unabhängige Effekte von NO₂ unsicher sind.

Für die **WHO** steht eine entsprechend detaillierte Analyse noch aus und wird für 2020 erwartet. Allerdings wird der Wissensstand bis 2013 im Rahmen der WHO-Projekte "Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP" (WHO 2013 REVIHAAP) und "Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE" (WHO 2013 HRAPIE) im Hinblick auf die Vertrauenswürdigkeit der Datenlage bewertet:

Gruppe A (vertrauenswürdig) - Die Datenlage für NO₂ ist in Hinblick auf die Kurzzeitexposition für Krankenhausaufnahmen wegen Atemwegs-Erkrankungen und die tägliche Sterberate wird als vertrauenswürdig angesehen.

Gruppe B (unsicherer) - In Hinblick auf die Langzeitexposition wird die Datenlage für die Mortalität sowie für Effekte auf die Atemwege (Häufigkeit bronchitischer Symptome bei Kindern mit Asthma) als unsicherer eingestuft.

Die Einstufung der Datenlage zu weiteren gesundheitlichen Auswirkungen von NO₂, sowie zum Feinstaub und anderen verkehrsabhängigen Schadstoffen, findet sich im Anhang D.

Die Beispiele für experimentelle und epidemiologische Studien in Kasten 3 und 4 dienen der Illustration.

4.3 Hauptfragestellung: Gesundheitsfolgenabschätzung für Langzeitexposition und Mortalität

Die Hauptfragestellung dieser Expertise ist, ob eine quantitative Abschätzung der gesundheitlichen Folgen (Health Impact Assessment) durch Langzeitexposition gegenüber NO₂, Feinstaub und anderen verkehrsabhängigen Schadstoffen durchführbar ist und ob speziell für Deutschland belastbare Aussagen zu Mortalitätseffekten möglich sind.

Für eine solche Abschätzung müssen folgende technische Voraussetzungen erfüllt sein:

- Möglichst flächendeckende Daten zur Schadstoffbelastung
- Möglichst flächendeckende Daten zur Bevölkerungsdichte
- repräsentative Daten zu Erkrankungshäufigkeiten oder der Mortalität
- Abgesicherte Konzentrations-Wirkungs-Funktionen

Daten zur Schadstoffbelastung liegen für Deutschland für die Schadstoffe NO₂, PM_{2,5} und PM₁₀ als Jahresmittelwerte an einer ausreichend großen Zahl von Messstationen vor. Durch räumliche Mittelung lassen sich daraus detaillierte Schadstoffkarten erzeugen, so dass jeder Person über den Wohnort näherungsweise eine Schadstoffkonzentration zugeordnet werden kann, die vereinfacht als Langzeitexposition angesehen wird. Das gelingt zufriedenstellend für die Hintergrundbelastung. Für verkehrsnahe Belastungen ist dies nur eingeschränkt möglich, da eine Modellierung der Schadstoffkonzentration zB in Abhängigkeit vom Abstand zu stark befahrenen Straßen erforderlich wäre. Zu weiteren relevanten verkehrsabhängigen Schadstoffen (vor allem zu ultrafeinen Partikeln und elementarem Kohlenstoff) liegen für Deutschland keine ausreichenden Daten vor, um für diese eine verlässliche Abschätzung der Exposition der Bevölkerung vorzunehmen.

Daten zur Bevölkerungsdichte sind flächendeckend für Deutschland vorhanden. Dadurch lässt sich die Bevölkerungsdichte der Schadstoffexposition zuordnen und auf diese Weise ermitteln, wie viele Personen welcher Schadstoffbelastung ausgesetzt sind.

Repräsentative Daten zu Erkrankungshäufigkeiten werden für Deutschland im Rahmen repräsentativer epidemiologischer Studien für ausgewählte Krankheiten erfasst. Daten zur Mortalität sind für Deutschland vollständig verfügbar. Sie erlauben Aussagen über die Gesamtmortalität sowie die todesursachenspezifische Mortalität z.B. an Herz-Kreislauf Erkrankungen oder Atemwegserkrankungen. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes betrug 2015 in Deutschland der Anteil der Todesursachen Herz-Kreislauf Erkrankungen 39%, Atemwegserkrankungen 7% und Lungenkrebs 5% der Gesamtmortalität (DESTATIS 2017).

Abgesicherte Konzentrations-Wirkungs-Funktionen gibt es für Auswirkungen von Langzeitexpositionen gegenüber PM_{2,5} auf die Mortalität. Diese können nach Ansicht der US-EPA und der WHO zur Abschätzung der vorzeitigen Todesfälle oder der verlorenen Lebensjahre verwendet werden. Dabei werden lineare Konzentrations-Wirkungs-Funktion ohne Schwellenwert angenommen.

Für die Langzeitexposition gegenüber NO₂ und den Zusammenhang mit der Mortalität wird in den USA auf die Angabe einer Konzentrations-Wirkungs-Funktion verzichtet. Das wird mit der teils widersprüchlichen Datenlage und der hohen Korrelation zwischen NO₂ und dem Gemisch weiterer verkehrsabhängig freigesetzten Schadstoffe begründet, die eine verlässliche Abgrenzung der Effekte der einzelnen Komponenten nicht gestattet (US-EPA (2016, 2017)).

Seitens der **WHO** werden folgende Aussagen gemacht:

- In WHO 2013 REVIHAAP steht (p.117), dass Kohortenstudien Beziehungen zwischen der Langzeit-Exposition gegenüber NO₂ und der Mortalität zeigen. Aber nicht alle sind ausreichend robust, um sie in einer Hauptanalyse (core analysis) der Gesundheitsfolgenabschätzung zu verwenden. Stattdessen sollten sie nur für Sensitivitätsanalysen benutzt werden
- In WHO 2013 HRAPIE wird eine lineare Konzentrations-Wirkungs-Funktion für die quantitative Abschätzung der Langzeitwirkung von NO₂ auf die Mortalität angegeben, die aus der Meta-analyse von Hoek et al. (2013) übernommen wird. Dabei verwendet man ein Relative Risiko (RR) von 1,055 (95% Vertrauensbereich 1,031-1,08) pro 10 µg/m³, wobei nur Konzentrationen oberhalb von 20 µg/m³ berücksichtigt werden.
- In WHO 2016 wird festgestellt (p.17), dass bei der Bewertung der Datenlage zur Langzeitexposition gegenüber NO₂ berücksichtigt werden muss, dass NO₂ andere Bestandteile des Gemisches verkehrsbezogener Luftschadstoffe repräsentieren kann.

Trotz des deutlichen Hinweises in WHO 2013 REVIHAAP, Assoziationen der Langzeitexposition gegenüber NO₂ mit der Mortalität nicht kausal dem Gas NO₂ zuzuordnen, werden von der Europäischen Umweltagentur (EEA 2016, 2017) Berechnungen zu vorzeitigen Todesfällen und verlorenen Lebensjahren durch NO₂ durchgeführt, ohne explizit vor einer kausalen Interpretation dieser Ergebnisse in Hinblick auf das Gas NO₂ zu warnen.

Tatsächlich geben Mortalitätsabschätzungen für NO₂ am ehesten die Auswirkungen des verkehrsabhängigen Schadstoffgemischs als Ganzes wieder, von dem NO₂ eine Komponente ist, nicht aber ausschließlich die Auswirkungen des Gases NO₂. NO₂ ist vielmehr als guter Indikator für dieses Gemisch anzusehen, das zusätzlich zum Feinstaub gesundheitliche Wirkungen zeigt.

Ergänzend sei angemerkt, dass auch **andere Organisationen** quantitative Abschätzungen gesundheitlicher Effekte von Luftschadstoffen vorgenommen haben. Hierbei betrachtet z.B. die OECD Auswirkungen auf die Mortalität, aber ausschließlich für Feinstaub und Ozon - NO₂ wird nicht erwähnt (OECD 2012). Auch die Europäische Kommission bedient sich derartiger Berechnungen, ebenfalls ausschließlich für Feinstaub (PM_{2,5}) und Ozon, nicht für NO₂ (EU 2013).

In der Publikation „Global Burden of Disease“ wird von einem wissenschaftlichen Expertengremium eine quantitative Abschätzung der Auswirkungen von 79 Risikofaktoren für die Krankheitsentstehung durchgeführt. Dabei wird eine Synthese der Datenlage für die Exposition gegenüber diesen Risikofaktoren vorgenommen und abgeschätzt, welche Krankheitslast diesen Faktoren zuzuschreiben ist.. Weltweit die größten Beiträge zur Mortalität leisten dabei (1) Bluthochdruck und (2) Rauchen. Der Feinstaub (PM_{2,5}) liegt als Risikofaktor weltweit an 6.Stelle, bezogen auf Deutschland an 9. Stelle. Mortalitätseffekte von NO₂ wurden nicht betrachtet und nicht erwähnt (GBD 2016).

Diese Abschätzungen sind beispielhaft in Tabelle 1 aufgelistet.

Letztlich darf nicht vergessen werden, dass derartige quantitativen Abschätzungen das Ziel haben, die Vorteile unterschiedliche Maßnahmen zur Reduktion der Schadstoffbelastung miteinander zu vergleichen (WHO 2013 HRAPIE). Insofern geht es bei den Berechnungen zur Mortalität um relative Aussagen beim Vergleich der Effektivität verschiedener umweltpolitischer Szenarien und nicht primär um absolute Aussagen zur Krankheitslast. Diese Zielrichtung ist in Tabelle 1 beispielhaft für die geplanten Verbesserungen der Luftqualität in den USA (US-EPA 2011 “Benefits and Costs of the Clean Air Act”) und in Europa (EU 2013 “Auswirkungen des Programms Saubere Luft für Europa“) erkennbar.

Table 1: Auswirkungen der Langzeitexposition gegenüber NO₂ bzw. Feinstaub auf die Mortalität. Datenlage und Abschätzung der Effekte durch internationale Expertengremien

Langzeitexposition	NO ₂	Feinstaub (PM _{2,5})
Datenlage zu Auswirkungen der Langzeitexposition auf die Mortalität		
WHO/EU: (WHO/EU 2013)	Gruppe B (unsicherere Datenlage), Abschätzung mit Unsicherheiten möglich**	Gruppe A (Datenlage vertrauenswürdig), Abschätzung möglich
USA: (US-EPA 2010, 2016)	Stufe 3 (Hinweise), Abschätzung nicht möglich	Stufe 1 (kausal), Abschätzung möglich
Beispiele für die Abschätzung von Auswirkungen der Langzeitexposition auf die Mortalität		
US-EPA 2011 Benefits and Costs of the Clean Air Act	-	In den USA sinkt die Zahl vorzeitiger Todesfälle durch PM _{2,5} bei Umsetzung des Clean Air Act um 160.000 (in 2010) bzw. um 230.000 (in 2020) im Vergleich zu 1990
OECD 2012 Umweltausblick bis 2050	-	Weltweit nimmt die Zahl vorzeitiger Todesfälle durch Feinstaub ohne neue Maßnahmen von ca. 1,4 Mio (2010) auf ca. 2,2 Mio (2030) und ca. 3,6 Mio (2050) Todesfälle pro Jahr zu
EU 2013 Auswirkungen des Programms „Saubere Luft für Europa“	-	In Europa betrug 2010 die Zahl vorzeitiger Todesfälle durch Feinstaub und Ozon über 400 000. Durch die neuen Luftqualitätsziele ist ein Rückgang dieser Zahl um 52% zu erwarten, bezogen auf 2005
GBD 2016 Global Burden of Disease	-	Weltweit beträgt in 2015 die Zahl vorzeitiger Todesfälle durch Feinstaub (PM _{2,5}) 4,2 Mio. das entspricht 103 Mio verlorenen DALYs (behinderungsadjustierte Lebensjahre)
EEA 2017 Air Quality in Europe*	In Deutschland beträgt in 2014 die Zahl vorzeitiger Todesfälle durch NO ₂ 12.860, das entspricht 133.800 verlorenen Lebensjahren	In Deutschland beträgt in 2014 die Zahl vorzeitiger Todesfälle durch PM _{2,5} 66.080, das entspricht 687.700 verlorenen Lebensjahren

*Hinweis: Bei den Abschätzungen für NO₂ kann eine Verzerrung wegen der Korrelation mit Partikeln bestehen

4.4 Abgrenzung der Wirkungen einzelner Schadstoffe in epidemiologischen Studien

Auswertungsprinzip epidemiologischer Studien

In epidemiologischen Studien werden (gemessene oder geschätzte) Schadstoffkonzentrationen mit Gesundheitsdaten der exponierten Personen verglichen. Dabei können folgende Fragen untersucht werden:

- treten an Tagen hoher Belastungen (oder mit kurzer Verzögerung in den Tagen danach) vermehrt Gesundheitseffekte auf? Das entspricht der Analyse zeitlicher Zusammenhänge bei der Kurzzeitexposition
- treten an Orten mit hohen Belastungen vermehrt Gesundheitseffekte auf? Das entspricht der Analyse räumlicher Zusammenhänge bei der Langzeitexposition

Wenn Schadstoffe eng korreliert sind ist es schwierig bis unmöglich, ihre Effekte voneinander abzugrenzen. In gewissem Umfang hilft die Adjustierung für den jeweils anderen Schadstoff, aber bei starker Korrelation wird dadurch das Problem auch nicht gelöst.

Mithin ist die Analyse epidemiologischer Studien im Wesentlichen eine Korrelationsanalyse, und die Zuordnung von Effekten zu einzelnen Risikofaktoren kann nur dann zufriedenstellend gelingen, wenn diese Faktoren nicht stark miteinander korrelieren.

Korrelationen zwischen Schadstoffkonzentrationen

Eine gute Möglichkeit, die Abhängigkeit der Schadstoffemission vom Verkehrsaufkommen zu demonstrieren, ist die Betrachtung der Korrelation der Schadstoffkonzentration mit Daten von Verkehrszählungen. Betrachtet man die Korrelationskoeffizienten für die Tagesmittelwerte des Kfz-Verkehrs (Zahl von Kraftfahrzeugen pro Tag unmittelbar an der Messstation) mit den Tagesmittelwerten des Schadstoffs an der Messstation, dann ergibt sich typischerweise Folgendes (siehe Beispieldaten in Anhang A4):

- deutliche Korrelationen des Verkehrsaufkommens mit Stickoxiden (NO und NO₂), Ruß (elementarem Kohlenstoff) und Partikelanzahl (UFP)
- keine oder schwache Korrelationen des Verkehrsaufkommens mit Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) und Nitrat

Betrachtet man die Korrelationen der Schadstoffe untereinander, dann zeigen sich:

- starke Korrelationen von Stickoxiden (NO und NO₂) mit Ruß sowie mit der Partikelanzahl (UFP)
- starke Korrelationen von Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) mit Nitrat

das bedeutet:

- Stickoxide (NO und NO₂) sind als Indikatoren für Ruß und UFP anzusehen, wobei der Verkehr die gemeinsame Ursache für die Freisetzung dieser Schadstoffe ist.
- PM₁₀ und PM_{2,5} enthalten zum großen Teil sekundäre Aerosole, die nicht nur verkehrsnah sondern vor allem im städtischen Hintergrund gebildet werden
- Nitrat, das durch chemische Umwandlung von Stickoxiden (NO und NO₂) in der Atmosphäre entsteht, ist ein sekundäres Aerosol und ähnelt in seinem Verteilungsmuster deutlich stärker dem Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) als den Stickoxiden (NO oder NO₂)

Wie erläutert, ist es in epidemiologischen Studien schwierig bis unmöglich, beobachtete Gesundheitseffekte einem Schadstoff ursächlich zuzuordnen, wenn dieser mit anderen Schadstoffen stark korreliert sind (wie NO₂ mit Ruß und UFP). Das ist der Grund, weshalb NO₂ als Indikator für das Gemisch aus NO₂, Ruß und UFP anzusehen ist (sowie ggf. für weitere Schadstoffe, die in engem Zusammenhang mit der Freisetzung durch den Kfz-Verkehr stehen), und eine Zuordnung der Gesundheitseffekte zu NO₂ als Gas epidemiologisch so schwierig ist.

Umgekehrt ist die Abgrenzung von Gesundheitseffekten durch Feinstaub von den Gesundheitseffekten durch NO₂ als Indikator für das Gemisch möglich, da Feinstaub mit NO₂ (und den anderen Komponenten des Gemischs) nicht oder nur schwach korreliert ist. (Hierbei spielt Ruß eine Sonderrolle, da er sowohl aus dem Verkehr als auch aus weit entfernten Quellen stammen kann).

Schließlich wird ebenso deutlich, dass Nitrat eng mit Feinstaub korreliert ist, aber deutlich schwächer mit den Stickoxiden (NO und NO₂).

4.5 Bedeutung der Reduktion einzelner Schadstoffkomponenten für die Gesundheit

Reduktion der NO₂-Exposition

Wie ausgeführt, ist NO₂ einerseits als Gas zu betrachten, das durch Kraftfahrzeuge (insbesondere Dieselfahrzeuge) freigesetzt wird. Andererseits kann man NO₂ als Indikator für weitere verkehrsabhängige Schadstoffe wie ultrafeine Partikel, Ruß (elementaren Kohlenstoff) etc. ansehen, und ein ähnliches Ausbreitungsmuster wie das Gas NO₂ aufweisen.

Bedeutung der Reduktion der NO₂-Belastung für die Gesundheit

Eine Reduktion des Ausstoßes des Gases NO₂ aus Fahrzeugen führt zu einer Verringerung von Gesundheitswirkungen, die dem Gas NO₂ allein zuzuordnen sind. Für die Exposition gegenüber dem Gas NO₂ sind Effekte auf die Atemwege, insbesondere Asthma, nachgewiesen. Für andere direkte Effekte des Gases NO₂ liegen keine klaren Belege vor. Insbesondere sind keine ausreichenden Belege für Effekte auf die Mortalität durch die Langzeitexposition gegenüber dem Gas NO₂ allein gegeben. Anders ausgedrückt, es gibt keine ausreichenden Belege, dass Maßnahmen zur Reduktion der Langzeitexposition gegenüber dem Gas NO₂ allein sich nennenswert auf die Mortalität auswirken würden.

Maßnahmen, die ausschließlich die Reduktion des Gases NO₂ betreffen, können naturgemäß nicht die Auswirkungen von Schadstoffen reduzieren, für die NO₂ als Indikator dient.

Hierbei ist zu beachten, dass mit der Reduktion des Gases NO₂ auch die Bildung von Nitrat als sekundärem Aerosol verringert wird. Da das Verteilungsmuster von Nitrat aber dem von Feinstaub ähnelt, würde eine Verringerung von Nitrat nicht zu einer Verringerung der Konzentration des Schadstoffgemischs aus NO₂, UFP und Ruß führen.

Reduktion der Partikelexposition

Die direkte und sehr effektive Maßnahme zur Reduktion der Partikelfreisetzung ist der Einsatz von Partikelfiltern. Beim Dieselfilter werden sowohl die Partikelmasse (gemessen als PM₁₀ oder PM_{2,5}) als auch deren Anzahl (als Maß für ultrafeine Partikel) wirkungsvoll reduziert. Man geht davon aus, dass durch diese Filter die Freisetzung von Partikeln mit einem Durchmesser von mehr als 20 nm um 90 -99% vermindert wird.

Eine indirekte Maßnahme zur Reduktion der Exposition gegenüber Partikeln sind Umweltzonen. Diese wurden als Maßnahme zur Verbesserung der Luftqualität eingeführt, insbesondere zur Reduzierung der Belastung durch Feinstaub in Städten. Neuere Untersuchungen zur Wirksamkeit von Umweltzonen zeigen einen klaren Trend. So ist bei ausreichender Größe der Umweltzone und Gültigkeit der strengsten Schadstoffgruppe (Einfahrt nur mit grüner Plakette) ein Rückgang der PM₁₀ - Konzentrationen um 5–10 % nachweisbar, an verkehrsbelasteten Messstationen teilweise auch um über 10 %. Die Reduktion bei PM_{2,5} liegt etwas höher als bei PM₁₀ und reicht bis zu 15%.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein großer Anteil des Feinstaubes nicht aus den Kfz-Abgasen stammt und daher durch die Umweltzonen nicht beeinflusst wird. Für Partikel, die spezifischer für den Kfz-Verkehr und insbesondere für Dieselfahrzeuge sind, wurden nach Einführung von Umweltzonen deutlich stärkere Verbesserungen mit einem Rückgang der verkehrsnahen Immission von Ruß (elementarem Kohlenstoff) um bis zu 50 % bzw. der Dieselfuß-Emission um bis zu 63 % festgestellt (Cyrus et al. 2014).

Bedeutung der Reduktion der Feinstaubbelastung für die Gesundheit

Für PM_{2,5} können – z.B. auf der Grundlage der Konzentrations-Effekt Beziehung aus WHO (2013) HRAPIE – Abschätzungen zu den Auswirkungen der Reduktion der Exposition auf die Mortalität gemacht werden. Danach ist zu erwarten, dass wegen der linearen Konzentrations-Wirkungs Funktion bei einem Rückgang der PM_{2,5} -Konzentration z.B. um 10% ein Rückgang der mit PM_{2,5} assoziierten vorzeitigen Todesfälle bzw. der verlorenen Lebensjahre um 10% erfolgt.

Insgesamt ist zu erwarten, dass durch eine Reduktion der Partikelbelastung die gesicherten Gesundheitseffekte durch Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}) auf die Mortalität sowie auf Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen zurückgehen würden.

Reduktion anderer verkehrsabhängiger Schadstoffe

Als weitere gesundheitsrelevante Schadstoffe aus dem Kfz-Verkehr – zusätzlich zu NO₂ und Feinstaub – sind ultrafeine Partikel, Ruß (elementarer Kohlenstoff), PAH und Metalle sowie CO zu nennen. Abgesehen von CO handelt es sich hierbei entweder um Partikel oder um an Partikel gebundene Komponenten, so dass durch Reduktion der Partikelbelastung auch deren Konzentrationen zurückgehen. CO erreicht in Straßennähe keine gesundheitsgefährdenden Konzentrationen, so dass dieses Gas hier nicht näher betrachtet werden soll.

Bedeutung der Reduktion anderer verkehrabhängiger Schadstoffe für die Gesundheit

In einer zunehmenden Zahl von tierexperimentellen und epidemiologischen Studien zeigen sich – insbesondere für ultrafeine Partikel und elementaren Kohlenstoff - Assoziationen mit negativen gesundheitlichen Wirkungen. Allerdings ist die Datenlage nicht stabil genug, um diese Befunde als gesichert anzusehen. In jedem Fall werden (potentielle) Wirkungen dieser Komponenten durch Reduktion der Partikelbelastung verringert. Auch hier sind also Partikelfilter und Umweltzonen als geeignete Maßnahmen zu nennen.

4.6 Derzeit gültige Grenzwerte und Richtwerte

Nach eigenem Verständnis werden die Richtwerte der WHO ausschließlich auf der Grundlage des Wissensstandes zu gesundheitlichen Auswirkungen festgelegt. Demgegenüber fließen in die Grenzwertfestsetzung bei EU und in den USA zusätzliche Gesichtspunkte ein. Dies zeigt sich u.a. daran, dass die WHO-Richtwerte von Expertengruppen festgelegt werden, die ausschließlich das toxikologische und epidemiologische Wissen sowie Ergebnisse von Risikoabschätzungen berücksichtigen, während vor der Festlegung der Grenzwerte zusätzlich politische Instanzen, Behörden und Industrievertreter angehört werden.

Die Richtwerte und Grenzwerte sowie deren Begründungen sind im Anhang B zusammengestellt.

Anlässlich der Verabschiedung des Programms „Saubere Luft für Europa“ im Jahr 2013 merkt die europäische Kommission an, dass die derzeit gültigen Luftqualitätsgrenzwerte im Rahmen der Bewertung der EU-Luftqualitätskriterien sorgfältig geprüft wurden, aber nicht geändert wurden. Es sei klar, dass sie unzureichend seien im Vergleich zu den Richtwerten der WHO, welche die Schadstoffkonzentrationen angeben, bei denen Gesundheitsrisiken minimiert werden. Eine weitere Verschärfung der existierenden EU-Grenzwerte sei jedoch ineffektiv, solange man keine klare Reduktion der Hauptquellen sehe. Da gegen viele Mitgliedsstaaten derzeit Vertragsverletzungsverfahren durchgeführt würden, weil diese es nicht schaffen, die gültigen Grenzwerte einzuhalten, erscheine es zu diesem Zeitpunkt kontraproduktiv, strengere Grenzwerte vorzuschlagen (EU 2013).

Neuere wissenschaftliche Erkenntnisse haben bisher nicht zu einer Veränderung der Richtwerte der WHO und der Grenzwerte in den USA und Europa geführt, auch wenn die WHO darauf hinweist, dass die verbesserte Datenlage zeigt, dass auch unterhalb der derzeit gültigen Richtwerte nachteilige gesundheitliche Wirkungen auftreten können. Möglicherweise ändert sich die Richtwerte, wenn die Überarbeitung der Air Quality Guidelines der WHO (voraussichtlich 2020) abgeschlossen ist.

4.7 Immissionssituation in Deutschland und Stuttgart

Die Belastungssituation in Deutschland lässt sich für 2016 folgendermaßen charakterisieren (UBA 2017):

- Der Kurzzeitgrenzwert für NO₂ beträgt 200 µg/m³ (Stundenmittelwert) und darf 18 Mal pro Jahr überschritten werden. Dies war 2016 an ca. 1% der verkehrsnahen Messstationen der Fall.
- Der Langzeitgrenzwert für NO₂ von 40 µg/m³ (Jahresmittelwert) wurde 2016 an keiner Messstation im ländlichen Bereich und im städtischen Hintergrund überschritten. Allerdings wurde der Grenzwert an ca. 57% (Hochrechnung) der verkehrsnahen Messstationen überschritten.
- Der Kurzzeitgrenzwert für PM₁₀ beträgt 50 µg/m³ (Tagesmittelwert) und darf 35 Mal pro Jahr überschritten werden. Dies war 2016 an einer (verkehrsnahen) Messstation der Fall.
- Der Langzeitgrenzwert für PM₁₀ von 40 µg/m³ (Jahresmittelwert) wurde 2016 an keiner Messstation überschritten.
- Der Langzeitgrenzwert für PM_{2,5} von 25 µg/m³ (Jahresmittelwert) wurde 2016 an keiner Messstation überschritten.

Stuttgart als derzeit durch Luftschadstoffe am stärksten belastete Stadt soll etwas genauer betrachtet werden (die Angaben beziehen sich auf die Messstation Stuttgart am Neckartor, weitere Angaben siehe im Anhang C).

Der Kurzzeitgrenzwert für NO₂ wurde 2016 an 35 Tagen überschritten, der maximale Stundenmittelwert lag bei 295 µg/m³.

- Der Langzeitgrenzwert für NO₂ wurde 2016 ebenfalls erheblich überschritten, der Jahresmittelwert lag bei 82 µg/m³
- Der Kurzzeitgrenzwert für PM₁₀ wurde 2016 an 63 Tagen überschritten
- Der Langzeitgrenzwert für PM₁₀ wurde 2016 knapp nicht überschritten, der Jahresmittelwert lag bei 38 µg/m³
- Der Langzeitgrenzwert für PM_{2,5} wurde 2016 nicht überschritten, der Jahresmittelwert lag bei 18 µg/m³

Im Jahr 2017 lagen die gemessenen Konzentrationen etwas niedriger als 2016 (LUBW 2017, 2018).

Hierzu ist anzumerken, dass die für den Gesundheitsschutz eigentlich relevanten Richtwerte der WHO an dieser Messstation 2016 und 2017 für alle gemessenen Schadstoffe (NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}) sowohl als Kurzzeitwerte als auch die Langzeitwerte erheblich überschritten wurden (siehe die Tabelle im Anhang C).

Bewertet man diesen Tatbestand aus gesundheitlicher Sicht, dann sind dringend Maßnahmen erforderlich, die Situation insbesondere in den verkehrsbelasten Innenstadtbereichen großer Städte nachhaltig zu verbessern.

Die Tatsache, dass die Grenzwerte für NO₂ z.T. erheblich überschritten werden, die Grenzwerte für Feinstaub aber überwiegend eingehalten werden, darf jedoch nicht zu dem Fehlschluss verleiten, die größten Gesundheitsprobleme seien dem NO₂ als Gas zuzuordnen. Das Gegenteil ist der Fall, wie oben erläutert.

Unabhängig davon sind die Reduktion der NO₂-Belastung und das Einhalten der NO₂-Grenzwerte dringend erforderlich.

4.8 weitere Anmerkungen

Grenzwert für den Arbeitsplatz

Der NO₂-Grenzwert für die Exposition am Arbeitsplatz ist mit 950 µg/m³ deutlich höher als der Langzeitwert von 40 µg/m³ für die Exposition in der Umwelt. Der Grund hierfür ist die Tatsache, dass die wichtigen Risikogruppen für gesundheitliche Schäden, nämlich Patienten, Kinder und alte Menschen nicht am Arbeitsplatz anzutreffen sind. Ferner ist die Exposition auf die Arbeitszeit (ca. 8 Stunden am Tag für 5 Tage) begrenzt ist, während die Exposition in der Umwelt für 24 Stunden am Tag und 7 Tage in der Woche stattfindet. Daher ist unstrittig, dass Arbeitsplatzgrenzwerte nicht für die Umwelt anwendbar sind.

Datenbasis zur Ableitung von Richtwerten/Grenzwerten

Im Umweltbereich ist es nur in Ausnahmefällen (wie beim Feinstaub oder für Kurzeffekte von NO₂) möglich, Richt- und Grenzwerte stringent auf der Grundlage von Wirkungsuntersuchungen abzuleiten. In der Regel liegen nur Hinweise für Gesundheitsrisiken vor, quantitative Abschätzungen sind selten möglich. Auch in diesen Fällen ist es erforderlich, Richtwerte/Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung festzulegen. Das Aufstellen solcher Grenzwerte ist also absolut legitim und ihre strikte Einhaltung ist zu fordern.

Das gilt auch für den Langzeitgrenzwert von NO₂. Hierzu kommentiert das Umweltbundesamt: „Der WHO-Richtwert für NO₂ von 40µg/m³ wurde in dem Sinne abgeleitet, dass er geeignet ist, die Gesundheit der Bevölkerung (auch empfindlicher Gruppen) bei dauerhafter Exposition zu schützen. Dieser empfohlene Richtwert sollte auch der Tatsache Rechnung tragen, dass NO₂ als ein Indikator für komplexe, durch Verbrennung erzeugte Luftschadstoffgemische überwacht wird“ (UBA 2018).

Allerdings ist es problematisch, eine unsichere Datenlage, die nur allgemein die Festlegung von Grenzwerten zum Schutz der Gesundheit erlaubt, für die quantitative Berechnung von Gesundheitseffekten wie vorzeitigen Todesfällen oder verlorenen Lebensjahren zu verwenden.

5 Gesamtbewertung

Die Schadstoffbelastung in verkehrsbelasteten Innenstädten in Deutschland ist vor allem durch Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5}), weitere Partikel und NO₂ geprägt.

Die Bewertung des Wissensstands zu Gesundheitsrisiken durch internationale Expertengremien ergibt für die Kurzzeit- und Langzeitexposition gegenüber Feinstaub (insbesondere PM_{2,5}) erhebliche Gesundheitsrisiken für Atemwegs- und Herz-Kreislauf Erkrankungen sowie für die Mortalität. Die Datenlage gestattet es, gut begründete Abschätzungen von vorzeitigen Todesfällen oder verlorenen Lebensjahren durch die Exposition gegenüber PM_{2,5} vorzunehmen, wie diese von mehreren Institutionen (WHO, US-EPA, EU-Kommission, OECD, Global Burden of Disease) durchgeführt werden.

Die Datenlage für NO₂ ergibt klare Belege für Auswirkungen auf das Auftreten von Asthma und die Verschlechterung des Zustands von Asthmatikern, ferner für andere Atemwegserkrankungen. Die in einigen epidemiologischen Studien gefundenen Zusammenhänge mit der Mortalität werden als weniger eindeutig eingestuft. Insbesondere ist NO₂ in diesen Studien möglicherweise als Indikator für andere verkehrsabhängige Schadstoffe wie ultrafeine Partikel und elementaren Kohlenstoff etc. anzusehen, die ein ähnliches Ausbreitungs- und Verteilungsmuster wie NO₂ aufweisen und gleichzeitig mit NO₂ auftreten.

Diese Interpretation der Datenlage wird sehr eindeutig von der Expertengruppe der US-EPA vertreten, die 2016 die derzeit aktuellste Bewertung des Wissensstandes zu NO₂ durchgeführt hat.

Von der WHO liegt eine abschließende Bewertung bisher nicht vor, sie wird von der Aktualisierung der Air Quality Guidelines im Jahr 2020 erwartet. In der Zwischenzeit haben Arbeitsgruppen der WHO ihre Einschätzungen erarbeitet, und auch diese weisen auf die unsichere Datenlage für Wirkungen von NO₂ auf die Mortalität hin. Dennoch wurden von der Europäischen Umweltorganisation (EEA) Rechnungen zu vorzeitigen Todesfällen und verlorenen Lebensjahren durch NO₂ vorgelegt, die ohne zusätzliche Erläuterung als irreführend einzustufen sind.

Die Abschätzungen der EEA zum Feinstaub sind als gerechtfertigt anzusehen und entsprechen dem Wissensstand. Die Abschätzungen zum NO₂ hingegen sind am ehesten als Hinweis auf negative gesundheitliche Wirkungen des Gemischs verkehrsabhängiger Schadstoffe zu bewerten, für das NO₂ als Indikator angesehen werden kann, nicht aber als realistische Abschätzungen für Auswirkungen von NO₂ als Gas.

Unabhängig davon ist die Tatsache, dass in Deutschland an verkehrsnahen Messstationen die Grenzwerte für NO₂ regelmäßig und z.T. erheblich überschritten werden, aus gesundheitlicher Sicht nicht akzeptabel und macht die Durchführung geeigneter Reduktionsmaßnahmen dringend erforderlich.

6 Literatur

Beelen R, et al. 2014 Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet*. Mar 1;383(9919):785-95

Birmili W 2006 Räumlich-zeitliche Verteilung, Eigenschaften und Verhalten ultrafeiner Aerosolpartikel (<100nm) in der Atmosphäre, sowie die Entwicklung von Empfehlungen zu ihrer systematischen Überwachung in Deutschland. UBA-Bericht 26/06
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3114.pdf>

Brown JS. 2015 Nitrogen dioxide exposure and airway responsiveness in individuals with asthma. *Inhal Toxicol*. Jan;27(1):1-14.

COMEAP (Committee on the Medical Effects of Air Pollutants) 2018 COMEAP report on NO₂ mortality 'due'.
<https://www.airqualitynews.com/2017/10/25/comeap-report-no2-mortality-due-2017/> Zugriff 31.1.2108

CYRYS J, PETERS A, SOENTGEN J, GU J, WICHMANN HE 2014 Umweltzonen. In Wichmann HE, Schlipkötter HW, Fülgraff G (Hrsg) *Handbuch Umweltmedizin – Kap. VIII – 1.3.2 53. Erg. Lfg. S. 1-30*

DESTATIS (Statistisches Bundesamt) 2017 *Gesundheit: Todesursachen in Deutschland 2015*. Fachserie 12, Reihe 4.
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Todesursachen/Todesursachen2120400157004.pdf?__blob=publicationFile

EEA (European Environmental Agency) 2016 *Air quality in Europe — 2016 report* EEA Report No 28/2016,
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>

EEA (European Environmental Agency) 2017 *Air quality in Europe — 2017 report* EEA Report No 13/2017,
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>

ETC/ACM (European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation) 2016 *Quantifying the health impacts of ambient air pollution*, de Leeuw, F. and Horálek, J., Technical Paper 2016/5, European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation.

EU (Europäische Union) 2008 *Luftqualität und saubere Luft für Europa. RICHTLINIE 2008/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2008*

EU (Europäische Union) 2013 *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN über ein Programm „Saubere Luft für Europa“* <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0918&from=EN>

GBD (Global Burden of Disease) 2016 *Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015*. GBD 2015 Risk Factors Collaborators (644 Collaborators). *Lancet*. 2016 Oct 8;388 (10053):1659-1724

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. Cat.: H144-31/2016E-PDF. ISBN: 978-0-660-05365-3 http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/sc-hc/H144-31-2016-eng.pdf

Heinrich J, Thiering E, Rzehak P, Krämer U, Hochadel M, Rauchfuss KM, Gehring U, Wichmann HE. 2013 Long-term exposure to NO₂ and PM₁₀ and all-cause and cause-specific mortality in a prospective cohort of women. *Occup Environ Med*. Mar;70(3):179-86.

Héroux, M.-E., Anderson, H. T., Atkinson, R., Brunekreef, B., Cohen, A. Forastiere, F., Hurley, F., Katsouyanni, K., Krewski, D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Mills, I., Querol, X., Ostro, B. Walton, H., 2015, 'Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project', *International Journal of Public Health* 60, pp. 619-627.

- Hill, AB. 1965 The environment and disease: Association or causation? Proc R Soc Med 58: 295-300.
- Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, Kaufman JD. 2013 Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. Environ Health. May 28;12(1):43
- Jerrett M, Burnett RT, Beckerman BS, Turner MC, Krewski D, Thurston G, Martin RV, van Donkelaar A, Hughes E, Shi Y, Gapstur SM, Thun MJ, Pope CA 3rd. 2013 Spatial analysis of air pollution and mortality in California. Am J Respir Crit Care Med. Sep 1;188(5):593-9.
- Krewski, D.; Jerrett, M.; Burnett, R.T.; Ma, R.; Hughes, E.; Shi, Y.; Turner, M.C.; Pope, C.A. III; Thurston, G.; Calle, E.E.; Thun, M.J. 2009. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. HEI Research Report, 140, Health Effects Institute, Boston, MA.
- LFUG (Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen) 2005 Korngrößendifferenzierte Feinstaubbelastung in Straßennähe in Ballungsgebieten Sachsens http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/lfug_epabt2_korngr_030401_041231_050817_4_7mb.pdf
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) 2017 Kenngrößen der Luftqualität – Jahresdaten 2016 http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/273015/kenngroessen_der_luftqualitaet_jahresdaten_2016.pdf?command=downloadContent&filename=kenngroessen_der_luftqualitaet_jahresdaten_2016.pdf
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) 2018 Ergebnisse der Spotmessungen in Baden-Württemberg 2016 und 2017 (vorläufig) http://mnz.lubw.baden-wuerttemberg.de/messwerte/aktuell/static_pages/spot/spot_result16.htm und http://mnz.lubw.baden-wuerttemberg.de/messwerte/aktuell/static_pages/spot/spot_result17v.htm
- Mücke HG, Wagner HM, Henschel S 2013 Stickstoffdioxid. In Wichmann HE, Schlipkötter HW, Fülgraff G (Hrsg) Handbuch der Umweltmedizin, Kap. VI-1. 49. ErgLfg S. 1-42
- OECD 2012 Umweltausblick bis 2050: DIE KONSEQUENZEN DES NICHTHANDELNS ISBN 978-92-64-17280-7 97 2012 01 5 P <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49889636.pdf>
- Schikowski T, Sugiri D, Ranft U, Gehring U, Heinrich J, Wichmann HE, Krämer U. 2007 Does respiratory health contribute to the effects of long-term air pollution exposure on cardiovascular mortality? Respir Res. 2007 Mar 7;8:20.
- SwissTPH (Schweizerisches Tropen- und Public Health Institut) 2015 Gesundheitliche Wirkungen der NO₂-Belastung auf den Menschen. Synthese der neueren Literatur auf Grundlage des WHO-REVIHAAP-Berichts.
- UBA(Umweltbundesamt) 2017 Luftqualität 2016 - Vorläufige Auswertung https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/hgp_luftqualitaet_2016.pdf
- | | | |
|---|------------------|------|
| Jährliche Auswertung | NO ₂ | 2016 |
| https://www.umweltbundesamt.de/search/content/j%25C3%25A4hrliche%2520and%2520auswertung%2520and%2520no%2520and%25202016?keys=j%C3%A4hrliche%20auswertung%20no%202016 | | |
| Jährliche Auswertung | PM ₁₀ | 2016 |
| https://www.umweltbundesamt.de/search/content/j%25C3%25A4hrliche%2520and%2520auswertung%2520and%2520pm10%2520and%25202016?keys=j%C3%A4hrliche%20auswertung%20pm10%202016 | | |
- UBA (Umweltbundesamt) 2018 Zugriff 31.1.2018 Hintergrund zu EU-Grenzwerten für NO₂ <https://www.umweltbundesamt.de/print/themen/hintergrund-zu-eu-grenzwerten-fuer-no2>
- NO₂-Emissionen <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#textpart-1>
- SCR Katalysator <https://www.umweltbundesamt.de/themen/technische-nachruistung-senkt-nox-ausstoss-von>

US-EPA (Environmental Protection Agency) 2009 Integrated Science Assessment for **Particulate Matter**. National Center for Environmental Assessment-RTP Division, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC p1-1071
<https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=216546>

US-EPA (Environmental Protection Agency) 2010 Quantitative Health Risk Assessment for **Particulate Matter**. EPA-452/R-10-005, June 2010 p1-596
https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/PM_RA_FINAL_June_2010.pdf

US-EPA 2011 The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020.
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/summaryreport.pdf>

US-EPA (Environmental Protection Agency) 2016a Integrated Review Plan for the National Ambient Air Quality Standards for **Particulate Matter**. EPA-452/R-16-005, December 2016 p1-173
<https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/201612-final-integrated-review-plan.pdf>

US-EPA (Environmental Protection Agency) 2016 Integrated Science Assessment for **Oxides of Nitrogen** –Health Criteria. EPA/600/R-15/068 | January 2016 p1-1148
<https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=310879>

US-EPA 2017 Review of the Primary National Ambient Air Quality Standards for **Oxides of Nitrogen**. Federal Register / Vol. 82, No. 142 / Wednesday, July 26, 2017 / Proposed Rules. P1-43 <https://www.epa.gov/no2-pollution/primary-national-ambient-air-quality-standards-naaqs-nitrogen-dioxide>

WHO (World Health Organisation) 2000 Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition. WHO Regional Office for Europe Copenhagen.

WHO (World Health Organisation) 2006 Air Quality Guideline. Global Update 2005. WHO Regional Office for Europe Copenhagen. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

WHO (World Health Organisation) 2013 **HRAPIE** - Health risks of air pollution in Europe. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of **particulate matter**, ozone and **nitrogen dioxide**. WHO Regional Office for Europe. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1

WHO (World Health Organisation) 2013 **REVIHAAP** - Review of evidence on health aspects of air pollution. Technical Report. WHO Regional Office for Europe. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1

WHO (World Health Organisation) 2016 WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). Meeting report Bonn, Germany 29 September-1 October 2015, WHO Regional Office for Europe. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0013/301720/Evidence-future-update-AQGs-mtg-report-Bonn-sept-oct-15.pdf?ua=1

WHO (World Health Organisation) 2017 Evolution of WHO air quality Guidelines – past, presence, future. WHO Regional Office for Europe. ISBN 9789289052306
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0019/331660/Evolution-air-quality.pdf?ua=1

WHO (World Health Organisation) 2018 Update of WHO Air Quality Guidelines <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/update-of-who-global-air-quality-guidelines> Zugriff 31.1.2018

Wichmann HE, Thiering E, Heinrich J 2012 Feinstaubkohortenstudie Frauen in NRW. Langfristige gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub, Folgeuntersuchungen bis 2008 LANUV-Fachbericht 31 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen Recklinghausen 2012
https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_commercedownloads/30031.pdf

7 Lebenslauf des Autors in Hinblick auf die Forschung zu gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. H.-Erich Wichmann

Akademischer Lebenslauf

- 1973 Dipl.-Phys., Universität Köln
- 1976 Dr. rer. nat., Universität Köln
- 1983 Dr. med., Universität Köln
- 1983 Habilitation Biomathematik, Universität Köln
- 1993 Zertifikat in Epidemiologie
- 1973 - 1983 Assistent, Universität Köln, Med. Klinik 1
- 1983 - 1988 Leiter der Abteilung für Biostatistik, Medizinisches Institut für Umwelthygiene, Düsseldorf
- 1988 - 1995 Direktor des Instituts für Arbeitssicherheit und Umweltmedizin, Universität Wuppertal
- 1990 - 2011 Direktor des Instituts für Epidemiologie, GSF bzw. Helmholtz Zentrum München, Neuherberg
- 1995 - 2011 Professor für Epidemiologie, Universität München
- Seit 10/2011 im Ruhestand

wissenschaftliche Tätigkeit im Bereich Umweltepidemiologie:

- Untersuchung der Smog-Episode 1985 im Ruhrgebiet
- Einfluss von Luftschadstoffbelastungen auf
 - Kindliche Atemwegserkrankungen, Lungenfunktion, Pseudokrapp, Asthma/Allergien
 - Atemwegeerkrankungen bei Erwachsenen, Lungenfunktion, COPD
 - Lungenkrebs
- Untersuchungen des Gesundheitseinflusses von
 - Partikelmasse (Schwebstaub, Feinstaub, Dieselabgasen)
 - Partikelanzahl (Ultrafeine Partikel)
 - Gasförmigen Luftschadstoffen (SO₂, NO₂)
- Wichtige Studien
 - Kindliche Atemwegserkrankungen in den neuen Bundesländern (Bitterfeld, Hettstedt Zerbst)
 - Entwicklung der Partikelbelastung in den neuen Bundesländern und deren Einfluss auf die Mortalität (Erfurt)
 - Auswirkungen der Umweltzone in München in Hinblick auf die Feinstaubbelastung
- Dokumente
 - Mitarbeit an den derzeit gültigen Luftqualitätsleitlinien der WHO (Air Quality Guidelines 2006 sowie WHO-Arbeitsgruppe zur Bewertung von Feinstaub, Ozon und NO₂)
 - Bewertung von Deselemissionen
 - Bewertung des Wissensstands zu Ultrafeinen Partikeln
- Herausgeber des Handbuchs für Umweltmedizin (1992-2015 Wichmann, Schlipkötter, Fülgraff, seit 2016 Wichmann, Fromme), 5 Bände, 59 Ergänzungslieferungen

Insgesamt 916 wiss. Arbeiten in PubMed (Stand März 2016, alle Arbeitsgebiete), h-Index: 116

Mitgliedschaft in Beratungsgremien:

- 1994 - 2010 WHO air pollution – Advisor
- 1993 - 2002 Mitglied der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU)
- 1996 - 1999 Mitglied der Arbeitsgruppe „Dieselmotoremissionen“ des BMU
- 1995 - 2002 Mitglied der MAK -Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
- 2005 - 2011 Mitglied der Strahlenschutzkommission, BMU

Mitgliedschaft in Aufsichtsräten:

- seit 2008 Vorsitzender des Verwaltungsrats/Aufsichtsrats des Instituts für Umweltmedizinische Forschung (IUF), Düsseldorf

Auszeichnungen:

- 1984 Ludwig Heilmeyer Medaille in Silber
- 2005 Bayerische Staatsmedaille für Umweltmedizin

Informationen über weitere Forschungsaktivitäten finden sich unter

https://de.wikipedia.org/wiki/Heinz-Erich_Wichmann sowie

http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/WB/Lebenslaeufer/Wichmann.pdf

Kontakt: erich.wichmann@gmail.com