

# Wird die gesundheitliche Bedeutung von NO<sub>2</sub> in der öffentlichen Diskussion richtig eingeschätzt?

H.-Erich Wichmann<sup>1</sup>, Hans Drexler<sup>2</sup>, Caroline Herr<sup>3</sup>, Klaus F. Rabe<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ehem. Präsident der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (GMDS)

<sup>2</sup>Präsident der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin (DGAUM)

<sup>3</sup>Präsidentin der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP)  
für den Vorstand der GHUP

<sup>4</sup>Präsident der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP)

Wir erleben in Deutschland derzeit eine heftige Diskussion über Fahrverbote für Dieselfahrzeuge, wobei vor allem Gesundheitsrisiken durch NO<sub>2</sub> als Begründung verwendet werden. Wie sind diese Risiken tatsächlich einzuordnen?

## Wissensstand aus Sicht der Toxikologie

Die Toxikologie ermöglicht die experimentelle Untersuchung von Auswirkungen der Exposition auf gesundheitsrelevante Parameter unter kontrollierten Bedingungen.

Bei kurzzeitiger Exposition gegenüber NO<sub>2</sub> sind 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) zu nennen.

Die stärkste Evidenz besteht für Wirkungen auf die Verschlimmerung von Asthma. In kontrollierten Expositionsstudien an erwachsenen Asthmatikern induzieren NO<sub>2</sub>-Expositionen, die nicht viel höher sind als Spitzenkonzentrationen in der Außenluft, klinisch relevante Anstiege in der Empfindlichkeit der Atemwege und Anstiege von allergischen Reaktionen, die NO<sub>2</sub> und die Verschlimmerung von Asthma verknüpfen (US-EPA 2016, Table 1-1).

Beispielhaft sei hier die Metaanalyse von Brown (2015) genannt. Die zugrundeliegenden 16 Einzelstudien umfassen insgesamt ca. 240 Erwachsene mit mildem Asthma, bei denen die Atemwegsempfindlichkeit nach Exposition gegenüber NO<sub>2</sub> bzw. zur Kontrolle gegenüber gefilterter Luft untersucht wurde.

Die Analyse ergab, dass nach einer 30-minütigen Exposition gegenüber 200 bis 300 ppb (ca. 400 bis 600 µg/m<sup>3</sup>) NO<sub>2</sub> bzw. nach einer 60-minütigen Exposition gegenüber 100 ppb (ca. 200 µg/m<sup>3</sup>) NO<sub>2</sub> bei einem statistisch signi-

fikanten Anteil der Asthmatiker die Empfindlichkeit der Atemwege anstieg. Nach einer 60-minütigen Exposition gegenüber 100 ppb (ca. 200 µg/m<sup>3</sup>) NO<sub>2</sub> zeigte sich ferner bei einem statistisch signifikanten Anteil der Asthmatiker eine klinisch relevante Halbierung der Dosis des Provokationsmittels. Die Metaanalyse belegt somit eine Verschlechterung des Gesundheitszustands von Asthmatikern bei umweltrelevanten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen.

Es gibt einige experimentelle Studien zur Auswirkung der Kurzzeitexposition gegenüber NO<sub>2</sub> auf das *Herz-Kreislauf-System*. Hierbei zeigen sich frühe, unspezifische Effekte, die das Potenzial haben, zum Herzinfarkt zu führen: Anstiege bei Entzündungsmarkern und oxidativem Stress im menschlichen Plasma und im Herzgewebe von Ratten. Diese Studien liefern aber insgesamt keine konsistenten Ergebnisse (US-EPA 2016, Table 1-1), sollten aber im Sinne des umweltbezogenen Gesundheitsschutzes Beachtung finden.

Experimente zur Promotion von Lungentumoren durch NO<sub>2</sub> liefern insgesamt keine konsistenten Ergebnisse. In Hinblick auf Geburtsergebnisse (birth outcomes) und die postnatale Entwicklung gibt es ebenfalls keine schlüssigen toxikologischen Belege. Zur Fertilität, Reproduktion und Schwangerschaft liegen keine Studien mit NO<sub>2</sub>-Exposition vor (US-EPA 2016, Table 1-1).

Die Untersuchung von Effekten bei NO<sub>2</sub>-Exposition über längere Zeiträume (wie z. B. ein oder mehrere Jahre) ist mit toxikologischen Methoden nicht praktikabel, so dass man hier auf die Epidemiologie angewiesen ist.

## Korrespondenzautor:

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. H.-Erich Wichmann  
Waldhornstr. 54a  
80997 München  
Kontakt: [erich.wichmann@gmail.com](mailto:erich.wichmann@gmail.com)

### Wissensstand aus Sicht der Epidemiologie

In epidemiologischen Studien werden (gemessene oder geschätzte) Schadstoffkonzentrationen mit Gesundheitsdaten der exponierten Personen verglichen. Wenn Schadstoffe ein ähnliches Verteilungsmuster aufweisen, 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.

Um einen Zusammenhang als *kausal* einzustufen, sind generell hohe Anforderungen an die Belastbarkeit des Wissensstandes zu erfüllen (siehe z. B. US-EPA 2016). Die wichtigsten Kriterien sind:

- *Konsistenz* – der Effekt wurde in mehreren unabhängigen Studien gefunden und ist reproduzierbar
- *Kohärenz* – der Effekt wurde mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen gefunden
- *Biologische Plausibilität* – es gibt einen biologisch plausiblen Mechanismus, der die Verursachung der Erkrankung durch den Schadstoff erklären kann.

Im Rahmen der Stellungnahme internationaler Epidemiologen „Dieselskandal – Wissenschaftler widersprechen Schlussfolgerungen der Abgeordneten zu gesundheitlichen Schäden durch Stickoxide“ von Science Media Center (2017) werden einvernehmlich die Gesundheitsrisiken durch NO<sub>2</sub> betont. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass eine alleinige Zuordnung der Wirkungen zum Gas NO<sub>2</sub> zu kurz greift:

- NO<sub>2</sub> ist bei uns ein sehr guter Indikator für verkehrsbedingte Schadstoffe. Inwieweit diese „NO<sub>2</sub>-Effekte“ somit auch noch durch *andere*, mit NO<sub>2</sub> korrelierte Einzelschadstoffe *mitbedingt* sind, ist *nicht wirklich geklärt*. (Prof. Dr. Nino Künzli, Stellv. Direktor des Schweizerischen Tropen- und Public-Health-Instituts [Swiss TPH], Basel, Schweiz).
- Es ist dabei wichtig zu beachten, dass in diesen Quantifizierungen NO<sub>2</sub> als eine *Mischung von verkehrsbedingten Schadstoffen* angesehen wird. (Prof. Dr. Bert Brunekreef, Professor of Environmental Epidemiology, Institute for Risk Assessment Sciences, Universität Utrecht, Niederlande).
- „...Zusätzlich dient NO<sub>2</sub> als ein Anzeiger für einen verkehrsbedingten Schadstoffmix, in dem sich eine Vielzahl weiterer potenziell schädlicher Substanzen befindet, z.B. ultrafeine Stäube“ (Prof. Dr. Barbara Hoffmann, Universität Düsseldorf).

### Belastungssituation

Im Jahr 2016 wurden an der am stärksten belasteten Messstation Deutschlands (Stuttgart am Neckartor) für Stickstoffdioxid ein maximaler Einstundenwert von 295 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> gemessen, der Einstunden-Grenzwert von 200 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> wurde 35 Mal überschritten (erlaubt sind 18 Über-

schreitungen). Der gemessene Jahresmittelwert betrug 82 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>, der Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> wurde also massiv überschritten.

Für Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) sieht die Situation scheinbar viel „harmloser“ aus: Der Jahresmittelwert an der Messstation betrug 18 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2,5</sub> und lag damit deutlich unter dem Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2,5</sub>. Gesundheitlich relevant ist aber nicht der Grenzwert (der das praktisch Machbare berücksichtigt) sondern der Richtwert der WHO. Der Richtwert für Feinstaub beträgt jedoch nicht 25, sondern 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2,5</sub> und wird somit ebenfalls erheblich überschritten.

### Welche gesundheitlichen Auswirkungen hat NO<sub>2</sub>?

Folgende Punkte sind wohl unstrittig:

- NO<sub>2</sub> zeigt nachteilige Wirkungen auf die Atemwege, insbesondere Asthma
- die bestehenden Grenzwerte, die für NO<sub>2</sub> abgeleitet wurden und dem Schutz der Gesundheit dienen, müssen unbedingt eingehalten werden
- NO<sub>2</sub> ist ein guter Indikator für ein Gemisch von verkehrsabhängigen Schadstoffen, zu denen neben NO<sub>2</sub> ultrafeine Partikel, Ruß (elementarer Kohlenstoff) und weitere Stoffe zählen
- dieses Gemisch zeigt einen Zusammenhang mit Gesundheitseffekten, die unabhängig von den Effekten durch Feinstaub (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) sind

Tendenziell unterschiedliche Bewertungen ergeben sich für Wirkungen auf andere Organsysteme als die Atemwege, insbesondere hinsichtlich der Langzeitwirkungen.

- Die US-EPA (2016) kommt zu dem Ergebnis, dass es Hinweise für Effekte der Langzeitexposition gegenüber NO<sub>2</sub> auf die Mortalität gibt, die aber nicht ausreichen, um einen kausalen Zusammenhang abzuleiten (Suggestive of, but not sufficient to infer a causal relationship). Langzeiteffekte von NO<sub>2</sub> – unabhängig von anderen verkehrsabhängigen Schadstoffen – sind unsicher, da die epidemiologischen Analysen durch mögliche Verzerrungen limitiert sind.
- Demgegenüber halten andere Wissenschaftler es für vertretbar, Risikoberechnungen für die Sterblichkeit und andere Gesundheitsendpunkte (außerhalb der Atemwege) durchzuführen. Hierfür stellt eine WHO-Arbeitsgruppe (WHO 2013a) Berechnungsformeln zur Verfügung.

### Welche gesundheitlichen Auswirkungen haben andere verkehrsabhängige Schadstoffe?

Die Bewertung des Wissensstands zu Gesundheitsrisiken durch internationale Expertengremien ergibt für die Kurzzeit- und Langzeitexposition gegenüber *Feinstaub* (insbesondere PM<sub>2,5</sub>) erhebliche Gesundheitsrisiken für Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie für die Mortalität.

Zusätzlich ist wichtig, dass das Leben nahe an stark befahrener Straßen mit Belastungen der Gesundheit verbunden ist, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht durch Feinstaub erklärt werden können, da  $PM_{2,5}$  in Straßennähe nur leicht erhöht ist. Im Gegensatz dazu sind die Konzentrationen von Ultrafeinen Partikeln, CO,  $NO_2$ , Ruß, PAH und einigen Metallen ebenfalls in Straßennähe erhöht. Einzeln oder in Kombination sind diese wahrscheinlich für die beobachteten Gesundheitseffekte verantwortlich. Der derzeitige Wissensstand erlaubt es nicht, zu unterscheiden, welche Schadstoffe oder Schadstoffkombinationen welchen Gesundheitseffekten zugeordnet werden können.

Mit der zunehmenden Reduktion der Abgasemissionen aus Fahrzeugen gewinnen andere Quellen wie der Abrieb von Straßen, Reifen und Bremsen relativ an Bedeutung. Die toxikologische Forschung zeigt zunehmend, dass solche nicht aus Abgasen stammenden Schadstoffe für einige der beobachteten Gesundheitseffekte verantwortlich sein könnten (WHO 2013b p14).

#### Wie kommen wir weiter?

Es ist dringend erforderlich, der ausufernden und oft wenig sachbezogenen Diskussion in der Öffentlichkeit eine klare Stellungnahme aus der Wissenschaft entgegenzusetzen. Es sollte angestrebt werden, ein *Konsenspapier* zu formulieren, welches die Wirkungen von verkehrsabhängigen Schadstoffen insgesamt bewertet, inklusive Stickstoffdioxid, Feinstaub, Ruß und ultrafeine Partikel:

- Was ist gesichertes Wissen, worauf gibt es Hinweise, was ist unsicher?
- Wieweit ist es möglich, Effekte einzelner Schadstoffkomponenten voneinander abzugrenzen?
- Welche Aussagekraft haben Sterbezahlen und Erkrankungszahlen, die aus Hochrechnungen auf die Bevölkerung stammen?
- Was ist erforderlich, um nicht nur das Einhalten von Grenzwerten sicherzustellen sondern – viel wichtiger – die Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung zu minimieren?

Die Wissenschaft ist aufgerufen, hier Klarheit zu schaffen und die bestehende Verunsicherung der Bürger zu beseitigen. Die Fakten zu Gesundheitsrisiken durch  $NO_2$  und andere Schadstoffe aus dem Kfz-Verkehr sind weit weniger strittig, als dies in der Öffentlichkeit erscheint. Rationales umweltpolitisches Handeln setzt voraus, dass die Risiken von den Wissenschaftlern, die auf diesem Gebiet arbeiten, verständlich und nachvollziehbar aufgezeigt werden. Hierzu sollten wir uns gemeinsam verpflichtet fühlen.

*Hinweis:* Der Diskussionsbeitrag „Gesundheitliche Risiken von Stickstoffdioxid im Vergleich zu Feinstaub und anderen verkehrsabhängigen Luftschadstoffen“ (Wichmann 2018) fasst die diesbezüglichen Bewertungen internationaler Gremien wie WHO/EU und US-EPA in kompakter Form zusammen und versucht eine Einordnung des gesicherten Kenntnisstandes.

#### Literatur

- Brown JS (2015). Nitrogen dioxide exposure and airway responsiveness in individuals with asthma. *Inhal Toxicol* 27 (1): 1–14
- Science Media Center (2017) Dieselskandal – Wissenschaftler widersprechen Schlussfolgerungen der Abgeordneten zu gesundheitlichen Schäden durch Stickoxide. Stellungnahme. <https://www.sciencemediacenter.de/angebote/rapid-reaction/details/news/diesel-skandal-wissenschaftler-widersprechen-schlussfolgerungen-der-abgeordneten-zu-gesundheitlich/>
- US-EPA (Environmental Protection Agency) (2016). Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria. EPA/600/R-15/068 | January 2016: 1–1148 <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=310879>
- WHO (World Health Organization) (2013a). 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](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1)
- WHO (World Health Organization)(2013b) 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](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1)
- Wichmann HE (2018). Diskussionsbeitrag: Gesundheitliche Risiken von Stickstoffdioxid im Vergleich zu Feinstaub und anderen verkehrsabhängigen Luftschadstoffen. *Umweltmedizin – Hygiene – Arbeitsmedizin* (dieses Heft)