

# skeptiker

Herausgeber: GWUP e. V.  
€ 7,- · ISSN 0936-9244 · D 10391

2/2019

Zeitschrift für Wissenschaft und kritisches Denken

## Wie gefährlich sind Feinstaub und Dieselabgase? Eine Debatte

Sind Antidepressiva als  
Medikamente wirksamer  
als Placebo?

Interview mit einem Aussteiger des  
Medienportals »Klagemauer.tv«

skeptiker  
magazin



# Streit um Feinstaub und Dieselabgase

## Der Versuch einer Zusammenfassung aktueller Debatten

*Philippe Leick*

Seit einigen Jahren wird die Liebe der Deutschen zum Automobil schwer geprüft. Erst wurde im Jahr 2015 bekannt, dass der Volkswagen-Konzern sich die Zulassung mancher Dieselfahrzeuge mit Hilfe sogenannter „defeat devices“ erschummelt hat; kurz darauf begann der Verein „Deutsche Umwelthilfe“ (DUH) auf juristischem Weg, die Einhaltung der EU-Grenzwerte für Luftschadstoffe einzufordern. Die von ihr angestregten Klagen gegen Kommunen und Bundesländer hat die DUH bisher weitestgehend gewonnen und die richterlichen Urteile führten in zahlreichen Fällen zu partiellen Fahrverboten für Diesel-Pkw in den betroffenen Städten. Millionen Besitzer solcher oft nur wenige Jahre alten Autos fragen sich nun, wie sie zu ihrer Arbeitsstelle kommen sollen und sorgen sich um den Wiederverkaufswert ihres einst wegen des geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoßes als besonders umweltfreundlich angepriesenen Fahrzeugs.

In die angespannte Stimmung hinein platzte Anfang des Jahres ein Positionspapier von Dieter Köhler<sup>1</sup>, einem emeritierten Professor für Pneumologie; sein Text, in dem er die EU-Grenzwerte für Feinstaub und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) in Frage stellt, wurde von gut 140 Mitstreitern, vorwiegend Mitglieder der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie, unterzeichnet. Heftige Reaktionen waren die vorhersehbare Folge: Während Verkehrsminister Andreas Scheuer „den Beitrag zur Versachlichung der Debatte“ lobte, gab es aus der wissenschaft-

lichen Community massive Kritik bis hin zum Vorwurf, Köhler würde – ähnlich wie sogenannte „Klimaskeptiker“ – mit fadenscheinigen Argumenten dort Zweifel streuen, wo die Wissenschaft längst zu eindeutigen Ergebnissen gekommen sei.

Luftschadstoffe und die zugehörigen Grenzwerte sind natürlich kein klassisches Thema für den *Skeptiker*, doch liegt es gewissermaßen in unserer DNA, konstruktive und kritische Diskussionen fern von persönlichen Angriffen zu fördern und auf diesem Weg zu einer Klärung oder zu einer

verbesserten Darstellung der relevanten Sachverhalte beizutragen. Mit diesem Ziel wollen wir das Thema aufgreifen, natürlich auch deswegen, weil wir alle sowohl Leidtragende wie auch Verursacher von Luftverschmutzung sind. Der Anspruch unserer Berichterstattung ist es, mit gängigen Vorurteilen aufzuräumen und technische Details korrekt wiederzugeben; da seit der Veröffentlichung von Köhlers Positionspapier einige Zeit vergangen ist und mittlerweile auch eine Stellungnahme der Nationalen Akademie der Wissenschaften (Leopoldina 2019) erschienen ist, fällt es leichter, diesem Anspruch gerecht zu werden und einen differenzierten Blick auf einige Aspekte der Kontroverse zu richten.



### Dr.-Ing. Philippe Leick

studierte Physik und promovierte in Maschinenbau, arbeitet in der Forschungsabteilung der Robert Bosch GmbH und befasst sich derzeit mit messtechnischen und strömungsmechanischen Fragen zu Benzineinspritzung. Schwerpunkte innerhalb der GWUP sind pseudowissenschaftliche Theorien, die sich auf die moderne Physik, insbesondere die Quantenmechanik, berufen.

Kontakt: philippe.leick@web.de.

### Luftqualität in Deutschland

Weltweit ist Umweltverschmutzung aktuellen Hochrechnungen zufolge für etwa 9 Millionen vorzeitige Todesfälle (im Jahr 2015) verantwortlich (Landrigan et al. 2017). Dies entspricht 16% der weltweiten Sterbefälle und übertrifft den Anteil, der dem Tabakkonsum (knapp 8 Millionen) zu-

geordnet wird, sowie die Anzahl der Menschen, die bei Verkehrsunfällen ums Leben kommen (ca. 1.5 Millionen). Der größte Teil wird dabei auf Luftverschmutzung zurückgeführt (ca. 6.5 Millionen), weitere Faktoren sind verseuchtes Wasser (ca. 1.8 Millionen), kontaminierte Böden (ca. 0.5 Millionen), Blei (ca. 0.5 Millionen) und berufsbedingte Belastungen (ca. 0.8 Millionen). Studien dieser Art basieren auf aufwendiger mathematischer Modellierung, da die wenigsten Todesfälle direkt einem einzelnen Umweltfaktor zugeordnet werden können. Sie sind somit gewissen Unsicherheiten unterworfen und ihre Ergebnisse können durch systematische Fehler verzerrt werden. Die Größenordnung der genannten Zahlen ist in der Wissenschaft jedoch weitestgehend Konsens. Für Deutschland im Jahr 2018 geht die Europäische Umweltagentur von 62 300 vorzeitigen Todesfällen durch Feinstaub (PM2.5), 13 100 durch Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und 3000 durch Ozon aus<sup>2</sup>. Eine aktuelle Studie des Umweltbundesamtes zu den Auswirkungen der NO<sub>2</sub>-Belastung der Luft rechnet mit einem Schwellwert von 10 µg/m<sup>3</sup>, unterhalb dessen keine gesundheitlichen Auswirkungen mehr angenommen werden, und beziffert die vorzeitigen Sterbefälle niedriger (5966 im Jahr 2014) (Schneider et al. 2018). Die Angabe der vorzeitigen Todesfälle ist in der epidemiologischen Literatur ein gängiges, aber umstrittenes (Morfeld, Erren 2014) Verfahren, da der Begriff „vorzeitig“ nicht danach differenziert, ob es sich um den Verlust von wenigen Tagen oder mehreren Jahrzehnten handelt. Weit aussagekräftiger und weniger umstritten, aber weniger anschaulich sind Angaben zu den verlorenen Lebensjahren (YLL, *years of life lost*). Anhand aktueller Medienberichte bzw. dem in letzter Zeit aufflammenden Interesse könnte leicht der Eindruck gewonnen werden, dass es sich bei der Luftverschmutzung um ein neues Problem handelt und die Belastung in den letzten Jahren zugenommen hat. Dem

Luftschadstoff	Vorzeitige Todesfälle	Verlorene Lebensjahre (YLL)	Verlorene Lebenserwartung
PM2.5, 2015 [16]	62 300	657 000	8.5 Monate
NO <sub>2</sub> , 2015 [16]	13 100	134 200	52 Tage
O <sub>3</sub> , 2015 [16]	3 000	31 800	12 Tage
NO <sub>2</sub> , 2014 [4]	5 966	49 726	20 Tage

Tabelle 1: Folgen der Luftverschmutzung in Deutschland. Die Angaben zu vorzeitigen Todesfällen bzw. YLL sind „pro Jahr“ zu verstehen, eine einfache Umrechnung in verlorene Lebenszeit pro Person erfolgt durch Division der YLL mit der Anzahl der Todesfälle in Deutschland (2014: 868 373, 2015: 925 200).

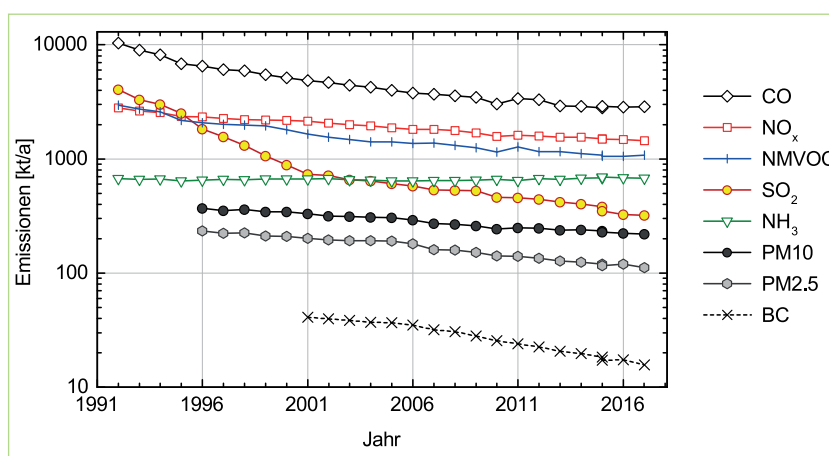


Abbildung 1: Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe in Deutschland (nach Daten des Umweltbundesamtes), logarithmische Darstellung, inkl. internationalem Schiffs- und Flugverkehr, ohne natürliche Quellen. NMVOC = flüchtige Kohlenwasserstoffe außer Methan, u. a. unverbrannte Kraftstoffe; CO = Kohlenmonoxid; SO<sub>2</sub> = Schwefeldioxid; BC = Black Carbon bzw. Ruß.

Grafik: Philippe Leick

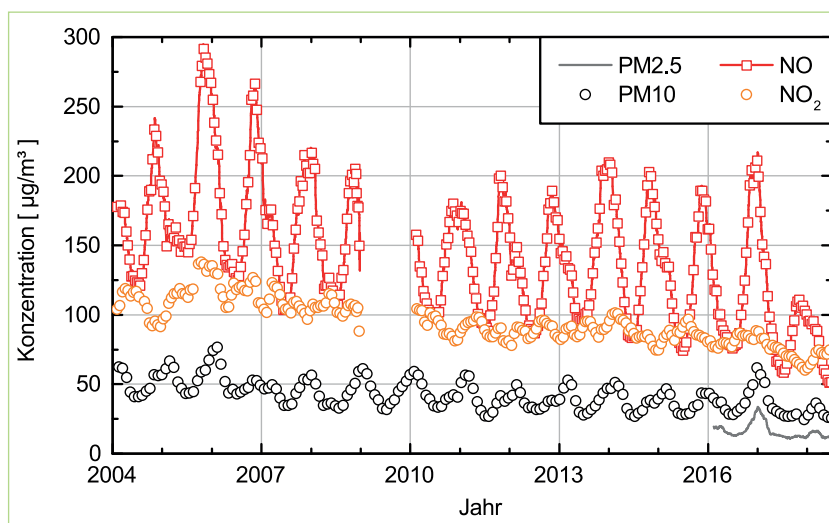


Abbildung 2: Messwerte der Station „Stuttgart Am Neckartor“, gleitender Mittelwert über 90 Tage. Neben den klar erkennbaren jahreszeitlichen Fluktuationen ist sowohl für PM10 wie für NO<sub>2</sub> und NO ein Abwärtstrend deutlich. Die betroffene Messstation steht direkt an einer wichtigen Verkehrskreuzung und die dort gemessenen Schadstoffkonzentrationen gehören zu den höchsten in Deutschland.

Grafik: Philippe Leick nach Daten der Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg

muss an dieser Stelle massiv widersprochen werden: Sowohl die Schadstoffemissionen wie auch die gemessenen Belastungen sind in Deutschland in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich zurückgegangen (Abbildungen 1, 2). Es gibt keine Anzeichen dafür, dass dieser Trend nachlässt oder sich gar umkehrt oder für verkehrsnahen Messstationen in Großstädten nicht gelten würde. Der einzige Schadstoff, bei dem die Emissionen weitestgehend konstant geblieben sind, ist das fast ausschließlich aus der Landwirtschaft stammende Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ).

### Köhlers Stellungnahme

Dieter Köhler und seine Co-Autoren Martin Hetzel, Matthias Klingner und Thomas Koch zweifeln in ihrer Stellungnahme<sup>1</sup> und einem Artikel im *Deutschen Ärzteblatt* (Köhler 2018) an den gesundheitlichen Auswirkungen von Feinstaub und Stickoxiden, die sich aus epidemiologischen Studien ergeben und im vorigen Abschnitt auszugsweise wiedergegeben wurden. Köhler hat die Mitglieder der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP) darum gebeten, durch ihre Unterschrift Zustimmung zu signalisieren; diesem Aufruf sind von knapp 4000 Mitgliedern immerhin 140 gefolgt, woraus der DGP-Vorstand schließt, „dass die Gruppe der Forscher und Lungenärzte, die der aktuell vorherrschenden Position widersprechen, deutlich größer [...] als angenommen [ist]“ und die Veröffentlichung der Stellungnahme inklusive der Unterschriftenliste als „Anstoß für notwendige Forschungsaktivitäten und eine kritische Überprüfung der Auswirkungen von Stickoxiden und Feinstaub“ betrachtet<sup>3</sup>.

Köhler zufolge sind epidemiologische Studien alleine nicht imstande, zwischen Korrelation und Kausalität zu unterscheiden. Vergleiche etwa zwischen der Gesundheit von Stadt- und Landbewohnern seien wenig aussagekräftig, da diese sich in deutlich mehr Parametern als nur den eingeat-

meten Luftschadstoffen unterscheiden und eine saubere Berechnung der vergleichsweise geringen Risiken durch das Einatmen „verschmutzter“ Luft im Vergleich zu wesentlich stärkeren Einflussgrößen wie den Lebensgewohnheiten (z. B. Tabak- und Alkoholkonsum, Ernährung und Bewegung) gar nicht möglich sei. Toxikologische Untersuchungen – Tierversuche oder kurzzeitige Exposition von Freiwilligen – hätten auf dem Niveau der derzeitigen Grenzwerte keine Effekte gefunden.

Das spektakulärste Argument ist als Falsifikation gedacht und vergleicht Raucher mit Personen, die Luft gemäß derzeitiger Grenzwerte einatmen. Und tatsächlich zeigt sich: Der Rauch einer einzigen Zigarette enthält (neben zahlreichen anderen Giftstoffen) ca. 10 mg Kondensat (genaue Angaben dazu fanden sich früher auf der Packung und in der Werbung), von Wassertröpfchen umhüllte und sehr lungengängige Kleinstpartikel (größtenteils um  $0.2 \mu\text{m}$ ), welche von Messstationen für Luftschadstoffe als  $\text{PM}_{2.5}$  registriert würden (siehe Glossar S. 62–63). Da ein Erwachsener ca. 7.5 Liter Luft pro Minute einatmet, entspricht der  $\text{PM}_{10}$ -Grenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – unter der fragwürdigen Annahme, sowohl beim Rauchen wie beim Feinstaub würden alle Partikel vom Körper aufgenommen – einer Zigarette in 19 Tagen. Unter den zahlreichen Substanzen, die im Tabakrauch enthalten sind, gehören Stickoxide (im Zigarettenrauch vorwiegend das weniger giftige  $\text{NO}$ ) noch zu den am wenigsten gefährlichen. Ein quantitativer Vergleich ist allerdings schwierig, da in der wissenschaftlichen Literatur die Angaben zur  $\text{NO}$ - und  $\text{NO}_2$ -Konzentration im Zigarettenrauch weit auseinandergehen, für  $\text{NO}_2$  finden sich Werte von  $500 - 300000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , für  $\text{NO}$   $750 - 1000 \text{ mg}/\text{m}^3$ , wobei letzteres zu kleinen Teilen bereits während des Einatmens in  $\text{NO}_2$  umgewandelt wird (Cueto et al. 1994, Norman et al., 1965, Shorter et al. 2006).

Seitens der wissenschaftlichen Community wurde Köhlers Stellungnahme heftig kritisiert<sup>5</sup>; auf beiden Seiten der Debatte fehlt es nicht an persönlichen Angriffen, die hier außen vor bleiben sollen, vielleicht mit Ausnahme der Frage, warum Köhler und Mitstreiter ihre Argumente nicht für ein wissenschaftliches Journal aufbereitet und sich der kritischen Begutachtung durch Fachkollegen gestellt haben. Ihnen wird entgegengehalten, dass eine enorme Anzahl epidemiologischer Studien sehr konsistent die Risiken insbesondere von  $\text{PM}_{2.5}$  belegt und in diesen Studien Störgrößen wie das Rauchen erfasst werden (Dockery et al. 1993, Pope et al. 2002, Abbey et al. 1999, Laden et al., 2006, Lepeule et al. 2012). Und tatsächlich leiden den Studien zufolge sowohl lebenslange Nichtraucher wie auch Kettenraucher unter schlechter Luft. Die Studienlage umfasst darüber hinaus Untersuchungen ganz unterschiedlicher Machart, d. h. es werden nicht nur die Gesundheitsdaten von Menschen miteinander verglichen, die an unterschiedlich belasteten Orten leben, sondern auch Krankheitsfälle zeitlich ausgewertet und mit den Schwankungen der Luftschadstoffkonzentrationen verglichen sowie historische Daten, etwa zur großen Londoner Smog-Katastrophe 1952 herangezogen. Zwar können auch zeitbasierte Studien durch Störgrößen verfälscht werden, jahreszeitlichen Einflüssen etwa, die sich sowohl auf Mortalität wie auf Luftqualität auswirken, dafür sind sie gegenüber anderen Störgrößen wie dem Rauchen robuster.

Der Vergleich zwischen Zigarettenkonsum und Luftverschmutzung wird von den meisten Kritikern rundherum abgelehnt. Sie weisen darauf hin, dass die Beziehung zwischen Dosis und Wirkung beim Feinstaub nichtlinear ist, zumindest bei den kardiovaskulären Ereignissen (u. a. Herzinfarkt, Schlaganfall) (Pope et al. 2009, Schane et al. 2010), an denen auch Kettenraucher weitaus häufiger sterben als an Lungenkrebs. Die Form der Do-

sis-Wirkungskurve (Abbildung 3) zeigt demnach an, dass die erste Zigarette weit mehr schadet als die zwanzigste, d. h. die Risiken gerade bei kleinen Dosen rapide zunehmen und zu höheren Dosen zwar weiter steigen, aber nicht mehr im gleichen Tempo. Deswegen sei auch der Effekt der Luftverschmutzung nicht zu vernachlässigen gegenüber dem des Rauchens. Ironischerweise beruhen die Erkenntnisse zur Dosis-Wirkungsbeziehung von PM<sub>2.5</sub> gerade auf der Zusammenfassung von Daten von Nicht- und Passivrauchern für niedrige und von aktiven Rauchern für hohe Expositionen. Mittlerweile liegt im Fachblatt *Pneumologie* eine detaillierte Antwort von Dieter Köhler und weiteren Forschern vor (Köhler et al. 2019). Köhlers ursprüngliche Argumente werden darin bekräftigt und nun auch ausführlich referenziert. Die Autoren sehen den für Giftstoffe untypischen schwellenwertfreien Anstieg der Gesamtsterblichkeit mit der Feinstaubbelastung und die sehr vielfältigen Symptome als Hinweis darauf, dass bisher nicht erkannte oder nicht ausreichend genau betrachtete Störgrößen für den „scheinbaren“ Zusammenhang verantwortlich sind. Sie weisen auf aktuelle Studien mit sehr vielen Teilnehmern hin, u. a. aus dem ESCAPE-Projekt der Europäischen Union, deren Ergebnisse für NO<sub>2</sub> in aktuell erzielten Konzentrationen keine überzeugende Evidenz für gesundheitliche Risiken anzeigen (Beelen et al. 2014a). Mit zunehmender PM<sub>2.5</sub>-Konzentration stellen die ESCAPE-Forscher in Übereinstimmung mit früheren Studien einen leichten, aber statistisch signifikanten Anstieg des Sterberisikos fest (ebd.); einen Schwellwert, unterhalb dessen es kein erhöhtes Risiko gibt, finden sie nicht. Werden die ESCAPE-Daten hingegen nach unterschiedlichen Todesarten aufgeschlüsselt, findet sich ausgerechnet bei den kardiovaskulären Fällen – wo in früheren Studien die deutlichsten Effekte gesehen wurden – kein Zusammenhang mehr (Beelen et al. 2014b).

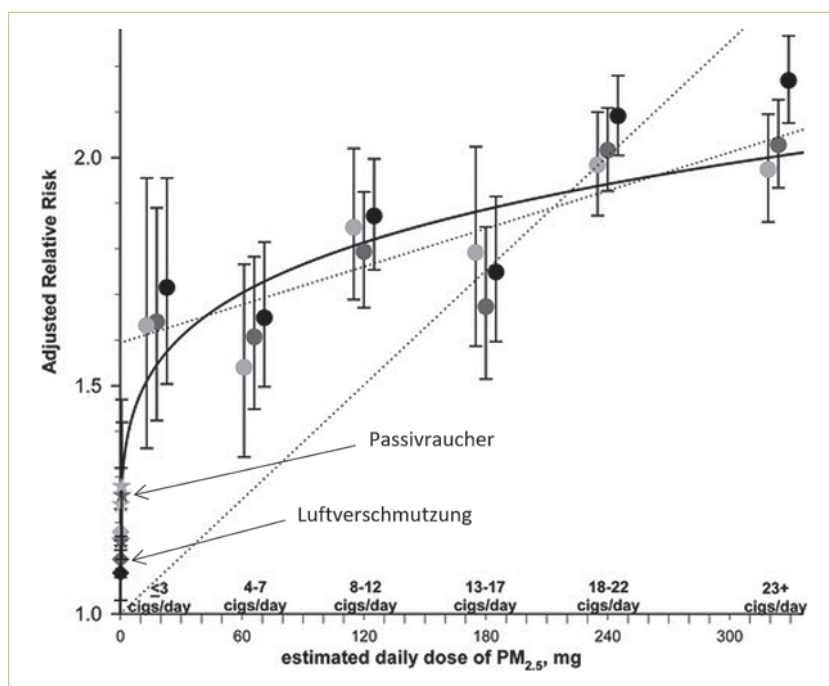


Abbildung 3: Erhöhtes relatives Risiko kardiovaskulärer Mortalität gegenüber Nichtrauchern als Funktion der geschätzten PM<sub>2.5</sub>-Tagesdosis. Die Werte bei sehr geringer Dosis stammen von Luftverschmutzung (Rauten) bzw. Passivrauchern (Sterne).

Quelle: Pope III et al. 2009

### Zwischenfazit

Eine fundierte Bewertung der Kontroverse zwischen dem Fachgebiet Epidemiologie und dem Kreis um Dieter Köhler geht weit über die Intention dieses Artikels und die Kenntnisse seines Autors (der sich an dieser Stelle weit außerhalb seines eigenen Fachgebiets hinausgewagt hat) hinaus. Die durchgeführte Recherche, die hier nur auszugsweise wiedergegeben werden kann, zeigt einerseits sehr klar: Zusammengefasst zeigen unterschiedlichste Arten von Studien ein schlüssiges Bild und bestätigen eindrucksvoll die Gefahren des atmosphärischen Feinstaubes, während für Stickstoffdioxid die Datenlage deutlich diffuser ist und die Effekte auf jeden Fall um Größenordnungen geringer sind. Köhlers Kritik arbeitet sich teilweise an Strohmännern ab – mögliche Störgrößen werden in aktuellen epidemiologischen Studien systematisch erfasst und modelliert und wesentliche Effekte scheinen unabhängig von den inkludierten Störgrößen oder den betrachteten Teilnehmergruppen ro-

bust zu sein. Der Versuch der Falsifikation mit der Gegenüberstellung von Luftschadstoffen und Tabakrauch erscheint (anders als von zahlreichen Kritikern Köhlers unterstellt) legitim und weckt Zweifel an der Gefährlichkeit von Feinstaub auf Höhe der aktuellen Grenzwerte, führt aber auch nicht zur gewünschten eindeutigen Wiederlegung dieser Gefahren.

Es ist aber das Verdienst von Köhler und seinen Mitstreitern, auf gewisse Ungereimtheiten aufmerksam gemacht zu haben, und es ist zu hoffen, dass weitere und interdisziplinäre Forschung unternommen wird, um an diesen Stellen für Klärung zu sorgen.

Köhlers Kritiker werden nicht müde, auf den überwältigenden Konsens in der Forschung hinzuweisen. So gibt es keine Fachgesellschaften, die die derzeitigen Grenzwerte für „zu streng“ halten, und so wird immer wieder auf die Vielzahl der Studien hingewiesen, die zu ähnlichen Ergebnissen kommen. Ist es aber im heutigen Wissenschaftsbetrieb überhaupt möglich, >

dass ein ganzes Fachgebiet sich in so einer wichtigen Frage massiv irrt? Vor einer allzu hastigen Verneinung der Frage sei an die Replikationskrise der Psychologie (Hell 2018) erinnert, an die vielzitierte Arbeit „Why Most Published Research Findings Are False“ von John Ioannidis (2005) oder auch an die bisher vergebliche Suche von Physikern nach einheitlichen Theorien aller vier Grundkräfte. Ioannidis zufolge sind Forschungsprojekte besonders dann gefährdet, wenn die Datenbasis klein, die Effektstärke gering, die Methoden unklar, finanzielle Interessen groß oder viele Gruppen „auf der Suche nach statistischer Signifikanz“ unterwegs sind. Zumindest für einige von Ioannidis' Kriterien lässt sich gut argumentieren, dass sie von den besprochenen epidemiologischen Studien erfüllt werden.

### Sind Dieselfahrverbote sinnvoll?

Bei Überschreitung der Grenzwerte für Luftschadstoffe sieht das Bundesimmissionschutzgesetz vor, dass die zuständigen Behörden einen Luftreinhalteplan aufstellen und darin Maßnahmen zur dauerhaften Minderung der Belastung festlegen. In zahlreichen betroffenen Städten ist die Deutsche Umwelthilfe (DUH) darauf basierend mit Forderungen nach Fahrverboten für Dieselfahrzeuge weitestgehend erfolgreich vor Gericht gezogen.

In Deutschland werden die geltenden Grenzwerte für Feinstaub und andere Luftschadstoffe größtenteils eingehalten. Einzige Ausnahme ist dabei der Grenzwert für Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ,  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel), welcher an zahlreichen verkehrsnahen Messstationen regelmäßig überschritten wird. Die Verursacher sind dabei eindeutig auszumachen: Anders etwa als beim Feinstaub, der aus zahlreichen unterschiedlichen Quellen stammt, ist der Straßenverkehr die mit Abstand wichtigste  $\text{NO}_2$ -Quelle (Abbildung 4). Im realen Betrieb überschreiten die Stickoxid-Emissionen von Dieselfahrzeugen

diejenigen von Fahrzeugen mit Ottomotor deutlich. Während beim Benzinmotor die im Rohabgas enthaltenen Stickoxide durch den Dreiwege-Katalysator wirksam reduziert werden, werden Pkw mit Dieselmotor erst seit Inkrafttreten der Euro 6-Norm in nennenswerter Zahl mit Speicher- (LNT, Lean  $\text{NO}_x$  trap) oder SCR-Katalysatoren (selective catalytic reduction) ausgestattet. Bis dahin beschränkte sich die Abgasmachbehandlung auf Oxidationskatalysatoren (für unverbrannte Kraftstoffanteile) und Partikelfilter, während die Stickoxid-Grenzwerte (in den Prüfzyklen) alleine mit innermotorischen Maßnahmen eingehalten werden konnten.

Einen besonders schweren Stand hat der Dieselmotor aufgrund des im Jahr 2015 aufgedeckten Abgasskandals, als herauskam, dass Maßnahmen zur Begrenzung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen außerhalb von Fahrzyklen ausgesetzt werden. Ob es sich dabei um eine legale Optimierung auf den geltenden Prüfzyklus (bis Euro 6c der NEFZ) oder um den illegalen Einsatz einer Abschaltvorrichtung handelt, führt im Ergebnis zu keinem großen Unterschied: Im realen Fahrbetrieb übersteigen die  $\text{NO}_x$ -Emissionen den Grenzwert (Degraeuwe et al. 2017, Kadijk et al. 2016). Bei Fahrzeugen mit Ottomotor wurden keine derartigen Abweichungen festgestellt: Sie halten auch auf der Straße den für den Zyklus festgelegten Grenzwert von  $60 \text{ mg}/\text{km}$  weitestgehend ein und ihre  $\text{NO}_x$ -Emissionen sind etwa 10-mal geringer als die vergleichbarer Dieselfahrzeuge (Degraeuwe et al. 2017).

Vor diesem Hintergrund erscheinen Fahrverbote für Dieselfahrzeuge – zumindest für ältere Modelle – als wirkungsvolle Maßnahme zur Reduzierung des  $\text{NO}_2$ -Gehaltes der Luft. Inwieweit sie angemessen oder legitim sind – immerhin entsprechen die Fahrzeuge, sofern keine Abschaltvorrichtung nachgewiesen wurde, den zum Zeitpunkt der Erstzulassung geltenden gesetzlichen Anforderungen – ist eine

politische Frage und kann daher nicht Gegenstand dieses Artikels sein.

Kritisch zu sehen sind natürlich räumlich begrenzte Verbote wie etwa die Sperrung einzelner Straßen in Hamburg. Man kann darin gar den Versuch sehen, die Messwerte einzelner Stationen an den betroffenen Straßen gezielt zu „optimieren“ – ähnlich sinnvolle Verbesserungen ließen sich auch durch Anpassungen (innerhalb des gesetzlich zulässigen Ermessensspielraums) der Position der Messstellen erreichen. Die Stickoxidbelastung variiert räumlich sehr stark und ist wenige Meter weiter entfernt von der Straße in der Regel bereits deutlich geringer.

Ohnehin sollte die Frage gestellt werden, inwieweit eine Fokussierung auf Stickoxide sinnvoll ist. Während die gesundheitlichen Auswirkungen des Feinstaubes (insbesondere der kleineren und damit lungengängigeren Partikel, deren Konzentration in der Kennzahl  $\text{PM}_{2.5}$  zusammengefasst wird) in der epidemiologischen Literatur kaum umstritten sind, ist das Bild für Stickoxide deutlich weniger klar (Tabelle 1). Eine Fokussierung auf Partikel würde die Aufmerksamkeit weg vom Diesel- und hin zum Ottomotor lenken. Zwar waren Dieselmotoren früher als Rußschleudern verschrien, doch sind deren Ruß-Emissionen in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich (und nicht nur auf dem Prüfstand) gesunken. Seit Inkrafttreten der Abgasnorm Euro 5 im Jahre 2009 sind alle neu zugelassenen Diesel-Pkw mit Partikelfilter (DPF, Diesel Particulate Filter) ausgestattet und so dürfte mittlerweile der Anteil der filterlosen Dieselfahrzeuge auf Deutschlands Straßen recht gering sein. Benzinmotor werden traditionell nicht mit Ruß in Verbindung gebracht, doch sowohl Motoren mit Saugrohr- wie auch mit Direkteinspritzung emittieren in bestimmten Fahrsituationen kleinste Rußpartikel. Erst seit Euro 6c gelten jedoch für Fahrzeuge mit Diesel- oder Benzindirekteinspritzung die gleichen Grenzwerte für Rußemissionen ( $\text{PM}$ , particulate mat-

ter bzw. particulate mass, und PN für particulate number). Auf dem Markt gibt es aber derzeit kaum Fahrzeuge mit Ottomotor, die bereits mit einem Partikelfilter ausgestattet sind. Erst für die nahe Zukunft ist davon auszugehen, dass auch beim Ottomotor der Partikelfilter (GPF, Gasoline Particulate Filter) sich durchsetzt. Die Rückhaltegrade vieler GPF (>60%), die derzeit in den Laboren getestet werden, reichen allerdings noch nicht durchgehend an die vom Dieselpartikelfilter gewohnten hohen Werte (>95%) heran (Weber et al. 2019).

Beim Vergleich der Partikelemissionen zwischen Otto- und Dieselfahrzeugen ist zu beachten, dass die Emissionen je nach Betriebspunkt enorm stark variieren können. Bei der Partikelanzahl – wo die gesundheitlich relevanten Kleinstpartikel stark eingehen – finden sich in der Literatur 2- bis 200-mal höhere Emissionen für Fahrzeuge mit Ottomotor, wobei der Faktor meist um 50 – 100 liegt (Weber et al. 2019, Gallus et al. 2016).

Ob nun die Abgase eines Diesel- oder Ottomotors für die Gesundheit gefährlicher sind? In der wissenschaftlichen Literatur wurde diese Frage nur unzureichend untersucht (Benbrahim-Tallaa et al. 2012), wobei die meisten Studien sich auf Diesel-Abgase konzentrierten und unklar ist, wie relevant ältere Arbeiten angesichts aktueller technischer Entwicklungen noch sind.

Die Durchsetzung von Fahrverboten auf juristischem Weg dürfte beim Ottomotor jedoch um einiges schwieriger sein. Erstens gelten die Grenzwerte für Partikel in der EU als weniger ambitioniert als die für Stickoxide – so sind die PM10- und PM2.5-Grenzwerte mit 50 bzw. 25 µg/m<sup>3</sup> doppelt so hoch wie die von der WHO empfohlenen Schwellen, während der NO<sub>2</sub>-Grenzwert exakt der WHO-Empfehlung entspricht – weshalb in Deutschland die PM-Grenzwerte nur in sehr seltenen Ausnahmefällen überschritten werden. Zweitens werden unter den Sammelbegriffen PM10 und PM2.5 unterschiedlichste

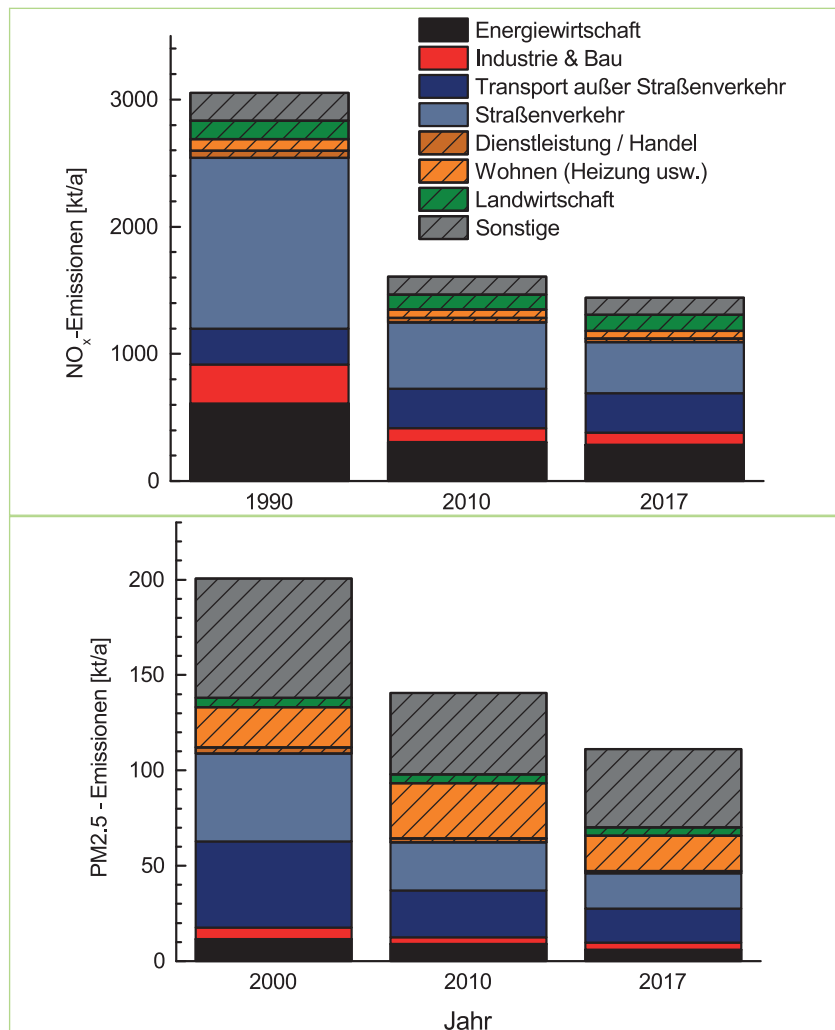


Abbildung 4: Stickoxid- und Feinstaubemissionen in Deutschland nach Quelle aufgeschlüsselt, inkl. internationalem Schiffs- und Flugverkehr, ohne natürliche Quellen.

Grafik: Philippe Leick nach Daten des Umweltbundesamtes

Arten von Partikeln mit unterschiedlichem Gefahrenprofil gruppiert. Drittens ist der Beitrag des Straßenverkehrs zur PM-Belastung vergleichsweise gering und beschränkt sich auch nicht auf Abgase (auch in Städten ist ihr Anteil an der PM-Belastung in der Regel <5%), sondern besteht vorwiegend aus Straßen-, Reifen- und Bremsenabrieb und aufgewirbeltem Staub (ca. 2/3 der verkehrsbezogenen PM2.5-Emissionen) (Leopoldina 2019).

Im Falle einer Verletzung der PM10- oder PM2.5-Grenzwerte dürfte es also schwerfallen, einen „Hauptschuldigen“ auszumachen oder plausibel darzulegen, dass sich die Situation durch selektive oder beschränkte Fahrverbote deutlich verbessern ließe.

**Fazit**

Luftverschmutzung ist eines der drängendsten Umweltprobleme unserer Zeit, da sie insbesondere in den schwer belasteten Metropolen der dritten Welt erhebliche negative Auswirkungen auf die Gesundheit hat. In Westeuropa und Nordamerika dagegen zeigen alle Indikatoren, dass die Luftqualität in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich besser geworden ist, und gibt es auch keine Anzeichen dafür, dass dieser Trend sich zuletzt verlangsamt oder gar umgekehrt hätte, obwohl zulässige Grenzwerte an einigen Messstationen immer noch regelmäßig überschritten werden.

In der Wissenschaft besteht weitgehend Einigkeit, dass Feinstaub (PM2.5) derjenige unter den Luftschadstoffen ist,

der die Gesundheit am stärksten beeinträchtigt. Die aktuelle Fokussierung auf Stickoxide befriedigt vielleicht unser Bedürfnis nach einfachen Narrativen mit klar verteilten Helden- und Schurkenrollen, die starke Emotionalisierung aufgrund drohender Dieselfahrverbote gefährdet aber die wünschenswerten konstruktiven Diskussionen. Es gibt viele gute Gründe, den Automobilverkehr in Großstädten einzuschränken und andere Formen von Mobilität zu fördern, überzeugende wissenschaftliche Begründungen für selektive Aussperren von Dieselfahrzeugen lassen sich jedoch kaum konstruieren – auch dann nicht, wenn die Rolle des Stickstoffdioxids als Indikator und Vorläufer von Feinstaub berücksichtigt wird (siehe Info-Kasten S. 64–65). ◀

- 1 [https://www.lungenaerzte-im-etz.de/fileadmin/pdf/Stellungnahme\\_NOx\\_und\\_Feinstaub.pdf](https://www.lungenaerzte-im-etz.de/fileadmin/pdf/Stellungnahme_NOx_und_Feinstaub.pdf)
- 2 Air quality in Europe – 2018 report, European Environmental Agency, doi: 10.2800/777411
- 3 [https://www.lungenaerzte-im-netz.de/fileadmin/pdf/Pressemeldung\\_VPK\\_DGP\\_LungenstiftungNOx\\_und\\_Feinstaub.pdf](https://www.lungenaerzte-im-netz.de/fileadmin/pdf/Pressemeldung_VPK_DGP_LungenstiftungNOx_und_Feinstaub.pdf)
- 4 <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/rapid-reaction/details/news/internationale-experten-zu-stellungnahme-von-lungenaerzten/>

#### Literatur

- Abbey, D. E.; Nishino, N.; McDonnell, W. F.; Burchette, R. J.; Knutsen, S. F.; Beeson, W. L.; Yang, J. X. (1999): Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 159, 373-382.
- Beelen, R. et al. (2014a): Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project, *The Lancet* 383, S. 785-795.
- Beelen et al. (2014b): Long-term Exposure to Air Pollution and Cardiovascular Mortality: An Analysis of 22 European Cohorts, *Epidemiology* 25(3), 368-378.
- Benbrahim-Tallaa, L. et al. (2012): Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes, *The lancet oncology* 13(7), 663-664.
- Cueto, R.; Pryor, W. A. (1994): Cigarette smoke chemistry: conversion of nitric oxide to nitrogen dioxide and reactions of nitrogen oxides with other smoke components as studied by Fourier transform infrared spectroscopy, *Vibrational Spectroscopy* 7(1), 97-111.
- Degrauwe, B.; Weiss, M. (2017): Does the New European Driving Cycle (NEDC) really fail to capture the NOx emissions of diesel cars in Europe? *Environmental Pollution* 222, 234-241.
- Demuyne, J.; Favre, C.; Bosteels, D.; Hamje, J.; et al (2017): Real-World Emissions Measurements of a Gasoline Direct Injection Vehicle without and with a Gasoline Particulate Filter, SAE Technical Paper 2017-01-0985.
- Dockery, D. W.; Pope III, C. A.; Xu, X.; Spengler, J. D.; Ware, J. H.; Fay, M. E.; Ferris, B. G. Jr.; Speizer, F. E. (1993): An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities, *New England Journal of Medicine* 329, 1753-1759.
- Durant, J.L. et al. (2014): Comparison of ambient airborne PM2.5, PM2.5 absorbance and nitrogen dioxide ratios measured in 1999 and 2009 in three areas in Europe, *Science of the Total Environment* 487:290–298.
- European Commission, EU Science Hub: Air Quality Atlas for Europe: mapping the sources of fine particulate matter. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/air-quality-atlaseurope-mapping-sources-fine-particulate-matter>.
- Gallus, J.; Kirchner, U.; Vogt, R.; Borensen, C.; Benter, T. (2016): On-road particle number measurements using a portable emission measurement system (PEMS), *Atmospheric Environment* 124, 37-45.
- Hell, W. (2018): Signifikant! Die Replikationskrise in der Psychologie, *Skeptiker* 2/2018, 58-67.
- Ioannidis, J.P.A. (2005): Why most published research findings are false. *PLoS medicine* 30, 696-701.
- Kadijk, G.; Ligterink, N.; van Mensch, P.; Smokers, R. (2016): NO<sub>x</sub> emissions of Euro 5 and Euro 6 diesel passenger cars – test results in the lab and on the road. TNO report R10083.
- Köhler, D. (2018): Feinstaub und Stickstoffdioxid (NO<sub>x</sub>): Eine kritische Bewertung der aktuellen Risikodiskussion, *Deutsches Ärzteblatt* 115(38),1645-1650.
- Köhler, D.; Hetzel, M.; Klingner, M.; Koch, T.; Ewig, S.; Becher, G.; Lindemann, H.; Voshaar, T.; Costabel, U. (2019): Die Rolle der Luftschadstoffe für die Gesundheit, Eine Replik auf die Expertise der Internationalen Gesellschaft für Umweltepidemiologie (ISEE) und der European Respiratory Society (ERS), *Pneumologie* 2019; 73(05): 274-287.
- Laden F.; Schwartz, J.; Speizer, F.E.; Dockery, D. W. (2006): Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *American journal of respiratory and critical care medicine* 173(6), 667-672.
- Landrigan, P. et al. (2017): The Lancet Commission on pollution and health, *The Lancet*, 391(10119), 462-512.
- Lepeule, J.; Laden, F.; Dockery, D. W.; Schwartz, J. (2012): Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environmental health perspectives* 120(7), 965-970.
- Morfeld, P.; Erren, T.C. (2019): Warum ist die „Anzahl vorzeitiger Todesfälle durch Umweltextpositionen“ nicht angemessen quantifizierbar? *Gesundheitswesen* 81(02), 144-149.
- Nationale Akademie der Wissenschaften (Leopoldina), Saubere Luft - Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen, Ad hoc Stellungnahme, April 2019.
- Norman, V.; Keith, C. H. (1965): Nitrogen Oxides in Tobacco Smoke, *Nature* 4974, 915-916.
- Pope III, C. A.; Burnett, R. T.; Thun, M. J.; Calle, E. E.; Krewski, D.; Ito, K.; Thurston, G. D. (2002): Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama* 287(9),1132-1141.
- Pope III, C. A. et al. (2009): Cardiovascular Mortality and Exposure to Airborne Fine Particulate Matter and Cigarette Smoke – Shape of the Exposure-Response Relationship, *Circulation* 120, 941-948.
- Schane, R. E.; Ling, P. M.; Glantz, S. E. (2010): Health Effects of Light and Intermittent Smoking – a Review, *Circulation* 121, 1518–1522.
- Schneider, A.; Cyrus, J.; Bretnier, J. S.; Kraus, U.; Peters, A.; Diegmann, V.; Neunhäuserer, L. (2018): Quantifizierung von umweltbedingten Krankheitslasten aufgrund der Stickstoffdioxid-Exposition in Deutschland, *Umweltbundesamt* 02/2018.
- Shorter, J. H.; Nelson, D.D.; Zahniser, M. S.; Parrish, M.E.; Crawford, D. R.; Gee, D. L.(2006): Measurement of nitrogen dioxide in cigarette smoke using quantum cascade tunable infrared laser differential absorption spectroscopy (TILDAS). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 63(5),994-1001.
- Weber, C.; Sundvor, I.; Figenbaum, E. (2019): Comparison of regulated emission factors of Euro 6 LDV in Nordic temperatures and cold start conditions: Diesel- and gasoline direct-injection, *Atmospheric Environment* 206, 208-217.

#### Glossar

Als **Emissionen** werden Stoffe bezeichnet, die aus verschiedensten Gründen (Abgase, industrielle Prozesse, Landwirtschaft, natürliche Ursachen) in die Atmosphäre gelangen.

Als **Immissionen** werden die Konzentrationen dieser Stoffe in der Umgebungsluft bezeichnet.

**Stickoxide (NO<sub>x</sub>)** sind eine Gruppe von Verbindungen zwischen Sauer- (O) und Stickstoff (N). Die wichtigsten sind Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) sowie Lachgas (N<sub>2</sub>O, Distickstoffmonoxid). Letzteres wird auch heute noch als Narkosemittel verwendet, erfreut sich in der Drogenszene einer gewissen Beliebtheit und kommt in der Lebensmittelindustrie als Treibmittel zum Einsatz (E942), u. a. für Sprühsahne.

**NO (Stickstoffmonoxid)** ist ein farb- und geruchloses Gas. Das Molekül verfügt über ein ungepaartes Elektron und gehört deswegen zu den freien Radikalen. Es ist ein Signalmolekül, das im Pflanzen- und Tierreich bei einer Vielzahl biologischer Prozesse eine Schlüsselrolle spielt und durch körpereigene Prozesse sowohl erzeugt wie auch abgebaut wird.

In der Atmosphäre wird es u. a. durch Blitze erzeugt, der weitaus größte Anteil geht allerdings auf menschliche Aktivitäten zurück. Bei sehr hohen Temperaturen, wie sie etwa bei technischen Verbrennungen auftreten können, dissoziieren die Hauptbestandteile der Luft, molekularer Stickstoff und Sauerstoff,



und deren „Bruchstücke“ können zu NO rekombinieren:



sowie  $\text{N} + \text{OH} \rightarrow \text{NO} + \text{H}$

Effiziente Verbrennungsprozesse gehen deswegen häufig mit besonders hohen NO-Emissionen einher. Bei der Verbrennung pflanzlicher Stoffe (Holz, Tabak) kommt es selten zu ähnlich hohen Temperaturen, allerdings enthalten die Brennstoffe Stickstoffverbindungen, sodass ebenfalls Stickoxide (wieder vorwiegend NO) emittiert werden.

**NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid)** ist ein rotbräunliches, stechend chlorähnlich riechendes Gas. Es entsteht bei abnehmender Temperatur durch Reaktion von Stickstoffmonoxid mit atmosphärischem Sauerstoff oder auch mit Ozon. Ähnlich NO hat es ein ungepaartes Elektron und ist deshalb ein freies Radikal, es ist im Vergleich zu NO aber weitaus giftiger. Akute Effekte wurden bei Asthmatikern vereinzelt bereits ab Konzentrationen von etwa 500 µg/m<sup>3</sup> beobachtet, in den meisten Expositionsstudien waren aber deutlich höhere Belastungen erforderlich, um eine Reaktion hervorzurufen. Beim **Feinstaub** handelt es sich um mikroskopische Partikel oder Tröpfchen, die sich in der Luft befinden und aufgrund ihrer geringen Größe nicht schnell zu Boden sinken oder sich dort absetzen. Es handelt sich um einen nicht eindeutig definierten Sammelbegriff, der nicht nach Herkunft oder Art der Partikel unterscheidet, in der Regel aber den Anteil der Schwebstaubpartikel mit einem **aerodynamischen Durchmesser** unterhalb von 10 µm bezeichnet. Zum Feinstaub zählen u. a. Pollen, Sporen, Ausscheidungen von Milben, Meersalz, Sand, Asche, Abrieb etwa von Reifen, Bremsen und Straßenbelag, Ruß sowie Nitrate und Sulfate als sekundäre Aerosole.

Um die Belastung der Luft mit Feinstaub zu messen, kann eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zum Einsatz kommen. In den Messstationen wird typischerweise ein gravimetrisches Verfahren verwendet, wobei die Luft angesaugt, über einen Filter geleitet und anschließend ausgewogen wird. Je nach Form, Größe und Gewicht folgen die Teilchen der Luftströmung unterschiedlich gut, sodass eine grobe Klassifikation nach **aerodynamischem Durchmesser** möglich ist.

**PM10 (Particulate Matter ≤ 10 µm)** bezeichnet den Anteil des Schwebstaubs mit einem aerodynamischen Durchmesser unterhalb von 10 µm, **PM2.5** ist die Teilmenge vom PM10 mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 2.5 µm und als „**Ultrafeinstaub**“ wird **PM0.1** bezeichnet, d. h. die Gesamtmasse der Partikel mit thermodynamischem Durchmesser ≤ 0.1 µm. Die im Tabak-

rauch enthaltenen Teerpartikel sowie der nicht mehr sichtbare Ruß im Abgas eines modernen Diesel- oder Ottomotors fallen teilweise in die Kategorie PM0.1; für Teer/Ruß sind die Abkürzungen EC (Elemental Carbon) oder BC (Black Carbon) geläufig.

Die **Lungengängigkeit** der Teilchen hängt stark vom aerodynamischen Durchmesser ab. Größere Partikel (um 10 µm) werden mehrheitlich bereits im Nasenraum zurückgehalten, während kleinere Partikel (einige µm) die Bronchien oder gar die Alveolen (< 1µm) erreichen und so in die Blutbahn gelangen können. Ein Teil der eingeatmeten Partikel wird natürlich auch wieder ausgeatmet. Die Partikel gelten als umso gefährlicher, je kleiner sie sind.

**PN (Particle Number)** bezeichnet nicht die Masse, sondern die Anzahl der Partikel in einem bestimmten Luftvolumen. Anders als bei PM-Angaben gehen besonders die aller kleinsten Teilchen in den PN-Werte ein, sie gelten daher als bessere Indikatoren für Luftqualität als die gängigen PM-Angaben. Sehr saubere Luft (hohe Berge, Polarregionen) enthält um 100 Partikel/cm<sup>3</sup>, in ländlichen Gebieten sind 10<sup>3</sup> – 10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup> typisch, in europäischen Städten können verkehrsnah 10<sup>4</sup> – 10<sup>5</sup> cm<sup>-3</sup> erreicht werden. Im Hauptstrom des Zigarettenrauchs kann von einer Größenordnung um 3 – 6 × 10<sup>9</sup> cm<sup>-3</sup> ausgegangen werden.

Mit Einführung der Euro 5b-Abgasnorm wurden für Pkw mit Dieselmotor die PN-Emissionen auf 6 · 10<sup>11</sup> Partikel/km im Zyklus begrenzt; für Pkw mit Benzindirekt-einspritzungen folgte mit Euro 6b ein Grenzwert von 6 · 10<sup>12</sup> /km, der mit Euro 6c an den niedrigeren Grenzwert für Dieselfahrzeuge angepasst wurde.

**Grenzwerte in EU und USA** orientieren sich in unterschiedlicher Weise an den WHO-Empfehlungen. Neben den eigentlichen Grenzwerten ist noch geregelt, wie häufig Überschreitungen zulässig sind, welche Normen die Messstationen erfüllen muss und wo sie aufgestellt sein darf.

Für NO<sub>2</sub> in der Außenluft gilt in der EU ein Jahresmittelwert von 40 µg/m<sup>3</sup> gemäß der WHO-Empfehlungen. Die zulässige Konzentration in Büroräumen beträgt 60 µg/m<sup>3</sup>, für belastete Arbeitsplätze gilt ein Grenzwert von 950 µg/m<sup>3</sup>. In den USA liegen die Grenzwerte für die Außenluft höher, nämlich bei 100 µg/m<sup>3</sup> bzw. 57 µg/m<sup>3</sup> (Kalifornien).

Die Richtwerte der WHO liegen bei 20 µg/m<sup>3</sup> für PM10 bzw. 10 µg/m<sup>3</sup> für PM2.5. Die Grenzwerte in der europäischen Union sind mit 40 bzw. 25 µg/m<sup>3</sup> höher. In den USA wurde der Grenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> für PM10 im Jahr 2006 aufgehoben; für PM2.5 gilt allerdings ein strengerer Wert von 12 µg/m<sup>3</sup>.

## Stickstoffdioxid als Indikator bzw. Vorläufer der Partikelbelastung

Begründet werden die geltenden Grenzwerte für  $\text{NO}_2$  sowie die Forderung, ihre Einhaltung auch mit Hilfe unpopulärer Maßnahmen wie Fahrverboten durchzusetzen, nicht nur mit den (vergleichsweise geringen und auch umstrittenen) direkten gesundheitlichen Folgen hoher  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen, sondern vor allem mit zwei weiteren Eigenschaften dieses Gases.  $\text{NO}_2$  gilt als Indikator für andere Schadstoffe, für die unter Umständen keine Messwerte vorliegen (insbesondere für  $\text{PM}_{2.5}$ ) und Stickoxide gehören in der Atmosphäre darüber hinaus zu den Vorläufern von sekundärem Feinstaub, da sie durch chemische Reaktionen in der Atmosphäre u.a. zu Ammoniumnitrat-Tröpfchen umgewandelt werden können.

Da Stickoxide, Ruß und weitere Luftschadstoffe häufig gemeinsame Ursprünge haben – vorwiegend Straßenverkehr, industrielle Prozesse und kleine Feuerungsanlagen – ist naheliegend, dass hohe Belastungen mit einem dieser Schadstoffe mit hohen Belastungen auch der anderen Schadstoffe einhergehen (Sarnat et al. 2009). So sind etwa Dieselfahrzeuge älterer Bauart für deutlich höhere Ruß- und Stickoxidemissionen bekannt als vergleichbare Benzin-er.  $\text{NO}_2$ -Messwerte sind häufig bessere Indikatoren für Verkehrs- oder Industrieabgase als die an der gleichen Stelle gemessenen  $\text{PM}_{10}$ -Werte.

Die Interpretation von Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der einzelnen Schadstoffe wird durch solche Zusammenhänge erschwert, denn wenn die Belastung mit verschiedenen Schadstoffen gemeinsam zu- oder abnimmt, ist es unmöglich, aus den Gesundheitsdaten der Teilnehmer zu folgern, welcher der Schadstoffe für die beobachteten Effekte verantwortlich war. Es besteht insbesondere die Gefahr, dass Ungenauigkeiten in der Erfassung der persönlichen Belastung mit dem „schlimmsten“ Schadstoff ( $\text{PM}_{2.5}$ ) fälschlicherweise anderen Stoffen wie z. B.  $\text{NO}_2$  zugeordnet werden, deren Konzentration mit der Feinstaubkonzentration korreliert (Sarnat et al. 2009). Insbesondere in großen epidemiologischen Studien wäre es viel zu aufwendig, die tatsächliche persönliche Dosis der Studienteilnehmer zu ermitteln, und so müssen stattdessen Ersatzgrößen wie die Belastung der Außenluft und die inner- und außerhalb von Gebäuden verbrachten Stunden verwendet werden. Für die persönliche Dosis ist aber auch die Konzentration des zugehörigen Schadstoffs in der Außenluft nicht immer ein guter Indikator (ebd.).

Stickstoffdioxid wird häufig als Indikator für  $\text{PM}_{2.5}$  und schwarzen Ruß angesehen, da Partikel an vielen Messstationen früher, wenn überhaupt, nur mit dem Gesamtwert  $\text{PM}_{10}$  erfasst wurden, die kleineren Partikel jedoch als weitaus schädlicher gelten (Durant et al. 2014). Aufgrund von Fortschritten in der Motoren- und Abgasnachbe-

handlungstechnik haben sich die Korrelationen zwischen  $\text{PM}_{2.5}$  und  $\text{NO}_2$  in jüngerer Zeit aber signifikant verändert (ebd.), bei Dieselfahrzeugen etwa sind die Rußemissionen in den letzten 20 Jahren massiv zurückgegangen, während die realen  $\text{NO}_x$ -Emissionen auf hohem Niveau verharren sind oder gar zugenommen haben (Degraeuwe et al. 2017, Kadijk et al. 2016).

Da die Messstationen für Luftqualität in Westeuropa und Nordamerika mittlerweile  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  getrennt erfassen, dürfte es nur noch wenig Gründe geben, die  $\text{NO}_2$ -Konzentration als Indikator für  $\text{PM}_{2.5}$  anzusehen. Fahrverbote für Dieselfahrzeuge, insbesondere der Generationen Euro 4 und 5 (die in der Regel mit Partikelfilter ausgestattet sind, aber keine Nachbehandlung der Stickoxide durchführen) lassen sich mit Hinweis auf die Rolle des  $\text{NO}_2$  als Indikator für  $\text{PM}_{2.5}$  nur schwer rechtfertigen. Ab Inkrafttreten der Euro 6d-temp-Norm (für neu zugelassene Fahrzeuge ab September 2019) müssen die Emissionsgrenzwerte nicht mehr nur auf dem Prüfstand, sondern auch im realen Fahrbetrieb (RDE, real driving emissions) eingehalten werden. Mit heutiger Technik (insbesondere einem SCR-Katalysator) ist es möglich, die derzeit gültigen Grenzwerte auch in sehr anspruchsvollen Fahrsituationen drastisch zu unterschreiten (Kufferath et al. 2018).

### Sekundäre Aerosole

Zu den direkten Auswirkungen der Stickoxide kommt hinzu, dass sie (neben anderen Luftschadstoffen) in der Atmosphäre die Bildung sogenannter sekundärer Aerosole fördern, die von den Messstationen ebenfalls als Feinstaub registriert werden. In den allermeisten Fällen gibt es keine Unterscheidung je nach chemischer Beschaffenheit der Partikel, und so werden Nitrate – die aus atmosphärischem  $\text{NO}_2$  gebildet werden – mit anderen sekundären Aerosolen, schwarzem Ruß und vielen weiteren Partikelarten gemeinsam als  $\text{PM}_{2.5}$  registriert. Der Anteil solcher Sekundäraerosole an der Gesamtkonzentration  $\text{PM}_{2.5}$  ist erheblich (bis zu einer Größenordnung von 50%) und die Stickoxide aus Abgasen können wiederum zu einem erheblichen Anteil ursächlich für den Nitrate-Anteil der Partikel sein (Mysliwiec, Kleeman 2002).

In der Diskussion um gesundheitliche Folgen des Feinstaubes wird nur selten nach chemischer Zusammensetzung der Partikel differenziert. Es scheint sich jedoch herauszukristallisieren, dass die deutlichsten gesundheitlichen Folgen auf Ruß (EC, elemental carbon oder BC, black carbon) zurückzuführen sind (Janssen et al. 2011, Rohr, Wyzga 2012), obwohl keiner einzelnen Partikelart ein Freispruch erteilt werden kann. Rußpartikel aus Abgasen sind darüber hinaus deutlich kleiner (Größenord-

nung:  $<0.1 \mu\text{m}$ , Ultrafeinstaub) als die meisten anderen Partikelarten und können daher sogar von den Lungen in die Blutbahn übergehen. Nitrate und Ammoniumnitrate, die sich in der Atmosphäre aus Stickoxiden bilden – letztere vorwiegend durch Wechselwirkung mit Ammoniak, das vorwiegend aus der Landwirtschaft stammt – mögen zwar wesentliche Bestandteile der gemessenen Feinstaubbelastung sein. In den atmosphärisch „üblichen“ Konzentrationen gibt es toxikologischen Studien zufolge jedoch kaum Evidenz für gesundheitsschädliche Folgen, auch nicht bei chronischer Belastung (Schlesinger, Cassee 2003).

*Philippe Leick*

#### Literatur

Degrauwe, B.; Weiss, M. (2017): Does the New European Driving Cycle (NEDC) really fail to capture the NOx emissions of diesel cars in Europe? *Environmental Pollution* 222 (2017) 234-241.

Janssen, N.A.H. et al. (2011): Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5, *Environmental Health Perspectives* 119(12).

Kadijk, G.; Ligterink, N.; van Mensch, P.; Smokers, R. (2016): NOx emissions of Euro 5 and Euro 6 diesel passenger cars – test results in the lab and on the road. TNO report R10083.

Kufferath, A.; Krüger, M.; Naber, D.; Mailänder, E.; Maier, R. (2018): Der Diesel Powertrain auf dem Weg zu einem vernachlässigbaren Beitrag bei den NO2-Immissionen in den Städten. 39. Internationales Wiener Motorensymposium.

Mysliwiec, M. J.; Kleeman, M. J. (2002): Source Apportionment of Secondary Airborne Particulate Matter in a Polluted Atmosphere, *Environmental Science & Technology* 36(24).

Rohr, A. C.; Wyzga, R. E. (2012): Attributing health effects to individual particulate matter constituents, *Atmospheric Environment* 62.

Sarnat, J. A.; Schwartz, J.; Catalano, P. J.; Suh, S. H. (2009): Gaseous Pollutants in Particulate Matter Epidemiology: Confounders or Surrogates? *Environmental Health Perspectives* 109(10), 1053-1061.

Schlesinger, R. B.; Cassee, F. (2003): Atmospheric secondary inorganic particulate matter: the toxicological perspective as a basis for health effects risk assessment, *Inhalation Toxicology*, 15:197–235.

„EPIDEMIOLOGISCHE RISIKOERHÖHUNGEN ZEIGEN NUR VERMUTUNGEN“

# „Epidemiologische Risikoerhöhungen zeigen nur Vermutungen“

## Interview mit Prof. Dr. Dieter Köhler

**Philippe Leick:** *Gemeinsam mit den weiteren Unterzeichnern ihrer Stellungnahme zur Gesundheitsgefährdung durch umweltbedingte Luftverschmutzung haben Sie in den Medien für sehr viel Wirbel gesorgt. Sie haben auch sehr viel Gegenwind erfahren, zahlreiche Ärzte und auch andere Wissenschaftler haben sich sehr kritisch geäußert. Zu dieser Kritik würde ich gerne einige Punkte klären.*

*Lassen Sie mich aber zuerst fragen, mit welcher Motivation Sie die Stellungnahme geschrieben und die Mitglieder der DGP darum gebeten haben, sie zu prü-*

*fen und mit ihrer Unterschrift Zustimmung zu signalisieren?*

**Dieter Köhler:** Ursprünglich dachte ich, dass mit dem Artikel im *Ärztblatt*<sup>1</sup> und der daraus extrahierten Pressemitteilung eine wissenschaftliche Diskussion beginnen würde. Diese war jedoch sofort ideologisiert. Es wurde dann häufiger in Interviews, insbesondere von den Epidemiologen und Umweltbehörden, gesagt, dass es ja nur eine Person bzw. eine kleine Gruppe sei, die das behaupten würde. Deswegen erfolgte dann der Aufruf an die Mitglieder

der Fachgesellschaft. Ich war überrascht, dass überhaupt so viele zugestimmt haben (jetzt aktuell 140), denn die meisten kennen sich mit dem komplizierten Thema nicht aus oder wollen grundsätzlich keine Stellung beziehen. Im Übrigen haben die 140 Ärzte nicht abgestimmt, sondern ihre Bereitschaft bekundet, die vorgetragene Argumente öffentlich zu vertreten.

Der Bundesverband der Pneumologen, der insbesondere die Interessen der niedergelassenen Ärzte vertritt, hat eine Umfrage mit recht suggestiven



Prof. Dieter Köhler

Foto: Privat

Fragen für eine Bestätigung des aktuellen Grenzwertes durchgeführt. Überraschenderweise haben sich trotzdem mehr als die Hälfte der Mitglieder für unsere Position ausgesprochen.

*Als Absicht Ihrer Stellungnahme geben Sie an, die Diskussion wieder versachlichen zu wollen. Gleichzeitig erheben Sie schwere Vorwürfe, werfen einem Teil der wissenschaftlichen Community methodische Fehler und Ideologisierung vor. Darüber hinaus verknüpfen Sie ihre Stellungnahme mit einer politischen Forderung, nämlich die Aussetzung der aktuellen Grenzwerte für PM und NO<sub>2</sub>. Wie passt das zusammen?*

Natürlich machen Grenzwerte zur Schadensprävention grundsätzlich Sinn. Es gibt aber aktuell insbesondere für NO<sub>2</sub> keine wissenschaftlichen Grundlagen, schädliche Wirkungen im Grenzbereich anzunehmen. Jedenfalls fehlt jeder Nachweis wie durch NO<sub>2</sub> in aktuellen Umweltkonzentrationen eine Asthmaerkrankung verursacht werden soll. Ich habe gesagt, dass man für NO<sub>2</sub>

### Prof. Dr. med. Heinz Dieter Köhler

1948 geboren in Marburg. Lehre als Rundfunk- und Fernsehtechniker. 1967–70 Fachhochschule Gießen (Dipl.-Ing. (FH) für Nachrichtentechnik). 1972 Medizinstudium in Freiburg, 1978 Promotion. 1978–85 Ausbildung zum Internisten/Pneumologen/Allergologen. 1985 Habilitation, 1986 Venia legendi. 1992 APL-Professor an der Universität Freiburg, 1994 Umhabilitation an die Universität Marburg. 2003–07 Vize- und danach Präsident Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin. 1990–2013 Vorstand des Arbeitskreises Pneumologischer Kliniken. 2009 Thomas-Mercer-Award der internationalen und der amerikanischen Aerosolgesellschaft für die Lebensleistung im Bereich der Aerosolmedizin. Zahlreiche Buchbeiträge, über 190 Veröffentlichungen in Medline. Sachverständiger u. a. für BfArM, EMEA, DFG, IQWiG. Mitglied der GWUP seit 1993.

aus Praktikabilitätsgründen den Grenzwert auf 50–60 im Prinzip auch bis 100 µg/

m<sup>3</sup> anheben könne – wie in den USA. Die Studienlage gibt das her, insbesondere auch deswegen, weil NO und NO<sub>2</sub> lebensnotwendige Naturstoffe sind, die in jeder Zelle und auch in der Bronchialschleimhaut vorkommen. Näheres in einem kürzlich erschienen Artikel<sup>2</sup>. Beim Feinstaub ist es komplexer, da seine Gefährlichkeit von der Zusammensetzung abhängt. Man kann hier nur an die Emissionsquellen herangehen, also an die Verursacher, was ja auch über die letzten Jahrzehnte in großen Umfang und auch sehr erfolgreich passiert ist. Der größte Teil des Feinstaubes, den wir einatmen, ist natürlichen Ursprungs. Der verkehrsbedingte Anteil liegt unter 4 µg/m<sup>3</sup>. Man kann das sehr schön nachweisen nach einem Regenguss, da dann der natürliche Anteil ausgewaschen ist und nur noch der verkehrsbedingte übrigbleibt. Würde man die aktuellen Grenzwerte konsequent auch in den Bereichen umsetzen, in denen wir uns viel häufiger aufhalten als auf der Straße, dann müssten zum Beispiel alle U-Bahnsta-

tionen, Friseursalons, Restaurants, viele Schulen usw. geschlossen werden, da die aktuellen PM-Grenzwerte hier oft regelhaft um ein Vielfaches überschritten werden. Zum Glück spricht vieles dafür, dass das dies nicht gefährlich ist, denn dazu benötigt man noch höhere Konzentrationen und auch andere Zusammensetzungen<sup>2</sup>.

*Wie bewerten Sie die gesundheitlichen Gefahren durch die deutlich höhere Luftverschmutzung, wie sie etwa in den Metropolen von Entwicklungsländern auftreten?*

Die meisten Lungenkrankheiten entstehen durch inhalierte Aerosole. An erster Stelle steht hier das Zigarettenrauchen, dann die vielen verschiedenen Allergene, die Asthma verursachen. Berufsbedingt kennt man zahlreiche Krankheitsbilder durch bekannte Schadstoffe: von der Quarzstaublunge über die Asbestose bis zum Lungenkrebs, z. B. durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. PM, SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> in höheren Konzentrationen verursachen an erster Stelle eine chronische Bronchitis; die beiden letzteren durch die Säurebelastung der Schleimhaut. Kommt im Verlauf eine Obstruktion hinzu, entsteht eine



keinen aktuellen Artikel gab. Die Pressemitteilung hatte schon ausgereicht, um diese weltweite Aktivität auszulösen. Unsere Stellungnahme<sup>2</sup> ist deswegen auch eine Replik. So etwas habe ich in meiner gut 40-jährigen Forschertätigkeit noch nie erlebt; auch nicht in anderen Disziplinen.

Der Vorstand der DGP hat seine Stellungnahme beispielsweise ohne das übliche Procedere mit der Hinzuziehung der eigenen wissenschaftlichen Sektionen veröffentlicht. Man hat das Positionspapier der Epidemiologen durchgewinkt, ohne dass andere Meinungen die Chance hatten, es zu kommentieren.

Im Übrigen wurde einigen der Autoren unserer Veröffentlichung damit gedroht, ihnen die Ehrenmitgliedschaft der Fachgesellschaft abzuerkennen, wenn sie die begründeten Positionen weiter unterstützen. Ein solches Vorgehen ist ganz unüblich, zeigt aber, dass auch innerhalb der seriösen Wissenschaft quasi eine autochthone Zensur vorkommt, wenn zu sehr vom Mainstream abgewichen wird.

*Ihre Mitstreiter sind fast ausschließlich praktizierende oder ehemalige Lungenärzte, ihre Kritiker vorwiegend Epidemiologen. Wie kann es sein, dass die beiden Disziplinen die Frage nach den Gefahren von Luftschadstoffen so unterschiedlich bewerten?*

Epidemiologen beschäftigen sich häufig mit der Frage, ob bestimmte Erkrankungen mit bestimmten Risikofaktoren zusammenhängen. Lungenärzte, die auch alle Internisten sind, betrachten die Folgen am einzelnen Menschen. Zum Nachweis der durch die Epidemiologie aufgestellten Vermutungen benötigt man zur Kausalitätsprüfung eine Reihe von Daten aus anderen Disziplinen, wie eine plausible pathophysiologische Hypothese, Tierversuche, pathologisch anatomische Korrelate usw. Nur wenige überblicken alle Bereiche, insbesondere wenn hier noch die für Epidemiologen und Ärzte schwierige Aerosolphysik hinzukommt. Ich selbst habe mich mit diesen Fragen

im Jahre 1985 habilitiert; Thema war die Deposition, die Elimination und das Schicksal von Aerosolen im Körper. Seitdem verfolge ich die Szene, inklusive der epidemiologischen Daten. Meine frühere Ausbildung als Diplom-Ingenieur half hier natürlich, die Kausalkette besser beurteilen zu können. Es sind in der Gruppe aber auch Aerosolforscher und viele Habilitierte, die sich speziell mit schadstoffbezogenen Lungenerkrankungen wie Asthma, COPD, Lungenfibrose, Berufserkrankungen usw. beschäftigt haben.

*Ihre Kritiker verweisen auf die große Zahl an wissenschaftlichen Arbeiten, die konsistent Gefahren von PM und NO<sub>x</sub> belegen. Insbesondere weisen Sie darauf hin, dass nicht nur räumliche Verteilungen der Schadstoffe, sondern auch zeitliche Studien und Expositions-Experimente mit geringen Konzentrationen der jeweiligen Schadstoffe klare Effekte gezeigt haben.*

Wie oben erwähnt, zeigen epidemiologisch gefundene Risikoerhöhungen immer nur Vermutungen. Sie zeigen meist (aber nicht immer) eine höhere Erkrankungsrate in mehr staubbelasteten Gebieten. Die Hypothese, dass ein konstanter mitgeschleppter Fehler (Bias) dafür verantwortlich ist, ist ungleich wahrscheinlicher. Sie ist in dem Artikel näher begründet<sup>2</sup>. Dafür spricht auch eine lineare Dosis-Wirkungskurve zwischen Risiko und Schadstoff in den epidemiologischen Studien. So eine Kurve gibt es bei keinem Gift, denn es gibt immer eine Schwellendosis. Zu den Effekten in den Zeitreihenanalysen habe ich oben bei den austauscharmen Wetterlagen schon Stellung genommen.

Hinzu kommen auch hier Störfaktoren (Confounder), die sehr häufig mehrere Größenordnungen über der Messgröße liegen. Beim NO<sub>2</sub>, das nach der vom UBA beauftragten Studie, auch einen Diabetes mellitus verursachen soll, ist der Widerspruch exemplarisch sichtbar. NO und NO<sub>2</sub> sind körpereigene Substanzen, die in allen Zellen (auch im Bronchialsystem), teilweise in hohen Konzentrationen bzw. als

Salze vorkommen. Es kann durch die Reizwirkung der bei Kontakt mit Wasser entstehenden Säure ein Asthmaanfall ausgelöst werden. Gefährlich wird es in Tierversuchen, aber erst bei Dauerinhalation von Konzentrationen über 5000–10000 mg/m<sup>3</sup>. Die Konzentrationen im aktuellen Grenzwertbereich von 40 µg/m<sup>3</sup> liegen im Bereich der physiologischen Konzentrationen. Das ist schon ein starkes, widerlegendes Argument, dass die angeschuldigte Mortalitätserhöhung von 3%/Jahr/10 µg NO<sub>2</sub>, wie in der UBA-Studie angegeben, auf einen konstanten Bias zurückzuführen ist.

*Zahlreiche Studien verfahren nach der Methodik, Zeitpunkte hoher und niedriger Schadstoffbelastung miteinander zu vergleichen – mit dem Ergebnis, dass es in „schmutzigen“ Zeiten mehr Herzinfarkte gibt und die Sterblichkeit insgesamt erhöht ist. Nun werden die Leute bei schlechter Luft nicht mehr rauchen... Die Confounder, die in solchen Studien eine Rolle spielen, dürften ganz andere sein als der Tabakkonsum.*

Vergleicht man rauchende und nicht-rauchende Gruppen, so sind die Unterschiede enorm. So ist z. B. das Risiko für ein Bronchialkarzinom manchmal 100-fach höher bei den Rauchern. In den epidemiologischen Studien zu Luftschadstoffen findet man z. B. Risikoerhöhungen von 1,09 zwischen den Bevölkerungsgruppen – also gut den Faktor 1000 weniger. Meist ist in den beiden Gruppen aber die Zahl der Raucher etwa gleich. Zwei aktuellere Studien haben z. B. untersucht und gesehen, dass die Adjustierung auf den Raucherkonsum im Ergebnis gar keine Änderung erbrachte.

Der wahrscheinlichste Grund für die Unterschiede in den Studien zum PM und NO<sub>2</sub> ist die unterschiedliche Lebensweise mit dem damit verbundenen Gesundheitsbewusstsein. Soweit hierzu Studien existieren, finden sich enorme Unterschiede. So beeinflusst z. B. die Zuverlässigkeit einer Medikamenteneinnahme (egal ob Placebo oder Ver-

um) die Lebenserwartung enorm, und zwar um 1 bis 2 Jahre (Näheres in <sup>2</sup>), weil sie den Lebensstil widerspiegelt. Das ist mit Fragebögen nicht zu erfassen. Wie erwähnt, zeigen solche Unterschiede immer etwa eine lineare Dosis-Wirkungskurve, da die Gruppen in mehr oder weniger belasteten Gegenden alle Schattierungen haben.

*In sämtlichen großen Studien ist angegeben, dass zahlreiche Confounder erfasst und berücksichtigt wurden – u. a. Rauchen, Alkoholgenuss, Gewicht, sozioökonomischer Status u. v. m. – und freilich stellt man immer wieder fest, dass Rauchen das größte Risiko ist. Doch die Effekte insbesondere des Feinstaubes (PM2.5) scheinen konsistent bestehen zu bleiben, auch bei Patienten, die nie geraucht haben.*

Wie bei der letzten Frage schon gesagt: Wenn die Raucher oder die Nichtraucher in beiden Gruppen etwa gleich häufig sind, finden sich oft kaum Unterschiede; die der Lebensart bleiben.

*Die Gefahren, Korrelation mit Kausalität zu verwechseln oder aufgrund ungenauer Messwerte bzw. Confounder falsche Kausalitäten anzunehmen, wird in der epidemiologischen Literatur ausführlich diskutiert. Wie ist es möglich, dass eine ganze Community dennoch aus sehr umfangreichen, teilweise von unabhängigen Stellen wiederholt analysierten Datensätzen fehlerhafte oder zumindest übertriebene Schlüsse zieht?*

Die Frage zwischen Korrelation und Kausalität bei epidemiologischen Studien gilt in der normalen wissenschaftlichen Literatur als gesichert dahingehend, dass nie daraus Kausales geschlossen werden kann. Oft werden zahlreiche Beispiele für hohe Scheinkorrelationen angegeben<sup>3</sup>. Z. B. ist der beste Prädiktor für die Zunahme unserer Lebenserwartung seit 1950 die Zunahme der zugelassenen KFZ in Deutschland; die Signifikanz ist hier extrem hoch ( $p < 10^{-40}$ ). Besonders in der epidemiologischen Literatur hat sich jedoch, verstärkt in den letzten 20 Jahren, die Praxis eingebürgert,



Feinstaub gilt als der gesundheitsschädlichste Luftschadstoff.

Foto: Adobe Stock – Jürgen Fälschle

dass aus schwachen, oft nicht einmal signifikanten Risikorerhöhungen um wenige Prozent Kausalitäten gemacht werden. In den Conclusions steht oft „suggestive evidence“, „confirmed“ o. ä. (Lit. dazu in Köhler et al. 2019), obwohl das schlichtweg Unsinn ist. Die Wahrscheinlichkeit einer Kausalität kann erst durch andere, meist deduktive Studien bzw. Experimente erhöht werden (Popper spricht hier von der Erhöhung der Wahrheitsähnlichkeit). Auch das gehäufte Auftreten von ähnlichen Effekten in ähnlich angelegten Studien bringt praktisch keinen Erkenntnisgewinn; es festigt bestenfalls die Hypothese. Ein konstanter Bias kann eben auch immer etwa das gleiche Ergebnis hervorrufen. Es gibt hier einen starken politischen Druck, denn die verschiedenen Umweltbehörden der Länder (Umweltbundesamt in Deutschland, Environment Protection Agency in den USA, verschiedene EU Arbeitsgruppen) behaupten regelmäßig, dass aus der Häufigkeit der Ergebnisse der epidemiologischen Studien eine Kausalität, ja sogar konkrete Todesfälle abgeleitet werden können. Damit wird dann die Infrastruktur der jeweiligen Institutionen verstärkt. Der Philosoph Hans Albert, der sich intensiv mit Erkenntnistheorie beschäftigte, hat dieses Phänomen sehr treffend als „Immunsierungsstrategie“ bezeichnet. So etwas ist typisch auch für viele

Außenseitermethoden, die oft im *Skeptiker* behandelt werden. Es gibt diese Immunsierung aber auch, nach meiner Erfahrung sogar zunehmend, in der Naturwissenschaft, wozu auch die Medizin gehört. Nirgendwo ist aber die Immunsierung so stark wie hier im PM- und NO<sub>2</sub>-Bereich.

Das hängt oft auch damit zusammen, dass – wie hier – Gruppen vergleichsweise klein sind und man sich immer gegenseitig begutachtet sowie die Forschungsvorhaben genehmigt. Auch in den jeweiligen politischen Ämtern sind viele Mitarbeiter aus den gleichen Gruppen. Ich kenne noch viele, auch internationale Mitglieder aus meiner Forschungstätigkeit. Das Erstaunliche dabei ist, dass viele der Mitglieder stark Kritikwürdiges als wahr annehmen. Dieses ist allerdings ein häufigeres gruppenspezifisches Phänomen.

Dazu passt auch, dass es sicher eine deutliche Bevorzugung der Daten gibt, die auf eine Gefährlichkeit von PM und NO<sub>2</sub> hindeuten (publication bias). Dazu fällt auf, dass die von mir hier aufgestellten Kritikpunkte und alternative Erklärungsmöglichkeiten in den Publikationen fast nie angesprochen werden.

*NO<sub>2</sub>-Belastungen werden häufig als Ersatz für nicht verfügbare Partikelkonzentrationen herangezogen, doch auch wenn PM10 bzw. PM2.5 gemessen werden, handelt es sich um sehr grobe In-*

*diktoren, die ganz unterschiedliche Partikelarten- und Größen zusammenfassen. Sind diese Messwerte grundsätzlich die Richtigen? Oder unterscheidet sich die Gefährlichkeit von Partikeln je nach Herkunft und/oder Größe so stark, dass PM10 und PM2.5 bestenfalls unvollständige Indikatoren sind?*

Da der Feinstaub heute hauptsächlich natürlichen Ursprungs ist, kann NO<sub>2</sub> nicht mehr als Indikator herangezogen werden.<sup>2</sup> Das ist in einem eigenen Kapitel behandelt.

*Konsens in der epidemiologischen Literatur scheint zu sein, dass PM2.5 gegenüber NO<sub>2</sub> das weit größere Problem ist. Wie sicher sind Sie, dass ihre Kritik auf PM2.5 gleichermaßen zutrifft wie auf NO<sub>2</sub>? In ihrer Stellungnahme haben Sie (ohne Unterscheidung zwischen PM10, 2.5 und NO<sub>2</sub>) gefordert, die Rechtsvorschrift der aktuellen Grenzwerte auszusetzen. Wäre es im Nachhinein geschickter gewesen, sich auf NO<sub>2</sub> zu konzentrieren, da nur dieser Grenzwert in Deutschland häufig verletzt wird?*

Ja, vermutlich wäre es politisch klüger gewesen, obwohl die Argumente auf NO<sub>2</sub> und PM gleichermaßen zutreffen. Ich habe mich natürlich nie gegen Grenzwerte ausgesprochen (was auch völlig unsinnig wäre), sondern gesagt, dass die aktuellen gesetzlichen Grenzwerte wissenschaftlich nicht belegt sind.

Im Übrigen habe ich nicht mit einem solchen Medienhype gerechnet, denn ich äußere die Kritik schon mehr als 10 Jahre, wobei es nie eine Erwiderung von epidemiologischer Seite gegeben hat. Auf Tagungen, wo ich dieses vortragen habe, wurde das erstaunlicherweise von den auch anwesenden Epidemiologen nie diskutiert; man schwieg immer. Erst seitdem die Medien das hochgespült haben, sicher wegen der Fahrverbote, gibt es jetzt erfreulicherweise endlich eine offenere Diskussion.

*In zahlreichen epidemiologischen Studien wurden PM2.5, PM10 und NO<sub>2</sub> getrennt erfasst – dabei tritt konsistent*

*PM2.5 als Krankheitsursache hervor, während die Effekte von PM10 und NO<sub>2</sub> viel unklarer sind. Ist dies kein Hinweis darauf, dass in den Studien der richtige Verursacher gefunden wurde?*

Das ist schwer zu beantworten. Es gibt auch zahlreiche, meist ältere, Veröffentlichungen mit experimentellen Daten, wo PM10 ähnlich – teilweise sogar mehr – Schäden verursacht hat. Das hängt mit der höheren Masse und der Zusammensetzung der Aerosole zusammen. PM2,5 hat ein anderes Depositionsmuster im Bronchialbaum. Allerdings gibt es auch regionale Unterschiede der mittleren Partikelgrößen, was damit wieder andere Lebensräume widerspiegelt. Hier fehlen gute Daten. Überhaupt wurden viele wichtige Fragestellungen bisher gar nicht angegangen. Die erhebliche Forschungsförderung beschränkte sich fast nur auf das etablierte epidemiologische Studiendesign, das nur variiert und permanent wiederholt wurde. Damit steht den hohen Kosten – über 100 Mio. Euro Forschungsgelder alleine von der EU – kein möglicher Erkenntnisgewinn gegenüber.

*Ihr Vergleich zwischen einem Raucher und jemandem, der an der Straße steht und Abgase einatmet, wurde rundherum abgelehnt. Wenn wir vergleichen wollen: Welche Bestandteile des Tabakrauchs sind denn die gefährlichsten, und finden diese sich auch in den Luftschadstoffen?*

Das ist eine interessante Frage, die mich auch beschäftigt hat. Zigarettenrauch enthält über 7000 verschiedene Substanzen von denen > 200 toxisch sind (allein >70 Kanzerogene), was auch in Tierexperimenten nachgewiesen wurde<sup>2</sup>. Vergleicht man die verkehrsbedingte Feinstaubdosis am Neckartor, die ein Mensch 70 Jahre lang über 24 Stunden inhalieren würde, mit der des Rauchers, so erreicht dieser bereits nach 10 Packungen die gleiche Menge<sup>2</sup>. (Anm. d. Red.: Der Vergleich beruht auf PM2.5, siehe Abbildung 2. Unter der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung kann abgeschätzt werden, dass jede

Zigarette das Leben um ca. 11 Minuten verkürzt. 10 Packungen verkürzen das Leben demnach um ca. anderthalb Tage, also mehrere Größenordnungen weniger als den epidemiologischen Schätzungen zufolge, vgl. Tabelle 1).

Dem Feinstaub werden über 30 verschiedenen Erkrankungen zugerechnet, siehe auch dazu den Beitrag in *Pneumologie*. Nimmt man noch die größere Toxizität des Zigarettenrauchs hinzu (angenommener Faktor 10, soweit Daten vorliegen, ist die Toxizität des Feinstaubes deutlich niedriger), so müssten die Raucher bereits nach 1 Packung die Erkrankungen gehäuft zeigen. Nach z. B. 100 Packungen (gut 3 Monate Rauchen) wäre dann das Risiko 100-fach, sodass man es an der Krankheitsstatistik sehen sollte.

Da das nicht der Fall ist, falsifizieren die Raucher sozusagen als freiwilliger wissenschaftlicher Großversuch mit toxischen Stoffen die epidemiologischen Daten eindrucksvoll. Natürlich sind solche Experimente nicht genehmigungsfähig. Das Beispiel mit dem Raucher wurde m.E. auch abgelehnt, weil es eine ganze Forschergruppe widerlegen würde. Es ist etwa wie mit der Hexenverbrennung, die nur funktionierte, weil man an Hexen glaubte (und auch mit wissenschaftlichen Methoden versucht hat, sie zu erkennen, niedergeschrieben im Hexenhammer). Die Falsifikation gilt als die stärkste Waffe in der Erkenntnistheorie, um eine Theorie zu widerlegen oder eben wahrheitsähnlicher zu machen. Bei einer Akzeptanz dieser Falsifikation müssten viele Gruppen sich neue Forschungsfelder suchen. Unterlassen sie das, nähern sie sich immer mehr den Parawissenschaften an. ◀

*Mit Dieter Köhler sprach Philippe Leick.*

1 [https://www.aerzteblatt.de/archiv/200863/Feinstaub-und-Stickstoffdioxid-\(NO-sub-2-sub-\)-Eine-kritische-Bewertung-der-aktuellen-Risikodiskussion](https://www.aerzteblatt.de/archiv/200863/Feinstaub-und-Stickstoffdioxid-(NO-sub-2-sub-)-Eine-kritische-Bewertung-der-aktuellen-Risikodiskussion)

2 <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/html/10.1055/a-0873-3574>

3 <https://scheinkorrelation.jimdo.com/>