

Andere Länder, andere Problemstellungen – oder doch nicht? Die Schweiz tut sich mit dem Tabakproduktegesetz und einem wirksamen Schutz der Kinder und Jugendlichen vor Tabakwerbung und -sponsoring schwer – in Deutschland hingegen schlägt die Diskussion um Luftschadstoffwerte hohe Wellen. Interessant dabei sind die Parallelen zum Buch *Die Machiavellis der Wissenschaft (Merchants of Doubt)* von Naomi Oreskes und Erik M. Conway; kein fiktiver Roman, sondern Realität: Die Geschichte über den Kampf gegen Fakten und über den Handel mit Zweifeln, über die Manipulation der Medien und die Diffamierung Einzelner, über die politische Infragestellung wissenschaftlicher Information. Ein Lehrstück über die Macht von Industrielobbys und ihre Handlanger aus Politik und Wissenschaft und ein Lehrstück darüber, wie erschreckend einfach es ist, intransparent selbst seriöse Medien zu beeinflussen und mit nachweislich falschen Informationen zu füttern. Bleiben die Fragen: Warum tut sich die Schweiz so schwer mit der Tabak-Thematik und warum Deutschland mit Luftschadstoffen? Oder in welchem Land finden sich welche Geschäftshauptsitze?

Carlos Beat Quinto

Dr. med., Mitglied des FMH-Zentralvorstandes, Departementsverantwortlicher Public Health und Gesundheitsberufe

## Eine Expertise im Namen der Internationalen Gesellschaft für Umweltepidemiologie (ISEE) und der European Respiratory Society (ERS)

# Die Rolle der Luftschadstoffe für die Gesundheit

Annette Peters<sup>a</sup>, Barbara Hoffmann<sup>b</sup>, Bert Brunekreef<sup>c</sup>, Nino Künzli<sup>d</sup>, Meltem Kutlar Joss<sup>e</sup>, Nicole Probst-Hensch<sup>f</sup>, Beate Ritz<sup>g</sup>, Kurt Straif<sup>h</sup>, H. Erich Wichmann<sup>i</sup>

<sup>a</sup> Prof. Dr., MSc; <sup>a</sup> Helmholtz Zentrum München und Ludwig-Maximilians-Universität München, ISEE-Präsidentin 2012–2013, Mitglied des ISEE Policy Committee; <sup>b</sup> Prof. Dr. med., MPH, Universität Düsseldorf, Vorsitzende des Environment and Health Committee der European Respiratory Society, Vorsitzende ISEE Europe 2015–2017; <sup>c</sup> Prof. Dr., Universität Utrecht, ISEE-Präsident 2000–2001; <sup>d</sup> Prof. Dr. med. PhD, Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH), Basel, und Universität Basel; <sup>e</sup> MSc ETH, MPH, Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH), Basel und Universität Basel; <sup>f</sup> Prof. Dr. phil., PhD, Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH), Basel, und Universität Basel; <sup>g</sup> Prof. Dr. med. PhD, University of California, Los Angeles, ISEE-Präsidentin; <sup>h</sup> Priv.-Doz., Dr. med., MPH, PhD, Lyon; <sup>i</sup> Prof. Dr. med., Dr., ehemals Helmholtz Zentrum München und Ludwig-Maximilians-Universität München

## Zusammenfassung

Die Luftschadstoffe Feinstaub, Ozon und Stickstoffdioxid gefährden die Gesundheit in Deutschland. Die Wirkungen beginnen in der Lunge, aber haben Auswirkungen auf den gesamten Körper. Die Weltgesundheitsorganisation hat zum Schutz der Gesundheit im Jahr 2005 die globalen Empfehlungen für Feinstaub, Ozon und Stickstoffdioxid überarbeitet [1] und empfiehlt Werte, die in Deutschland an vielen Stellen überschritten werden [2]. Gesichert ist, dass sich dadurch die Lebenszeit verkürzt und Lungenerkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen ausgelöst werden [3]. Seit 2005 hat sich die Datenlage für alle drei Schadstoffe noch einmal deutlich verbessert. Die krebserzeugende Wirkung von Feinstaub gilt inzwischen als gesichert [4]. Auch wird inzwischen vermutet [5], dass es Auswirkungen auf die Entwicklung des Kindes im Mutterleib [6, 7], die Lungen- und Gehirnentwicklung bei Kindern [8, 9], Diabetes [10, 11] und Demenz [12] gibt. Zudem dokumentieren die neueren Studien Auswirkungen unterhalb der gegenwärtig geltenden Grenzwerte [13–15]. Insbesondere der Grenzwert für Feinstaub kleiner als 2,5 µm der Europäischen Union sollte zum Schutz der Gesundheit deutlich abgesenkt und mit den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation in Einklang gebracht werden.

## Was sind die Luftschadstoffe Feinstaub, Ozon und Stickstoffoxide?

**Feinstaub** sind Partikel kleiner als 10 Mikrometer, die vielfältige Quellen haben [16]. Feinstaub wird durch Kraftfahrzeuge, Kraft- und Fernheizwerke, Öfen und Heizungen in Wohnhäusern sowie Industrieanlagen erzeugt, die unmittelbar Partikel freisetzen. Zusätzlich stossen diese Quellen auch die gasförmigen Vorläuferschadstoffe Schwefeldioxid und Stickoxide aus, und Ammoniakemissionen der Landwirtschaft tragen ebenfalls zur Bildung von Feinstaub in der Atmosphäre und damit zur Belastung bei [17]. Feinstaub hat auch einen natürlichen Ursprung, beispielsweise als Folge von Bodenerosion oder Freisetzung von Partikeln durch Pflanzen und Mikroorganismen.

**Ozon** entsteht in Bodennähe bei intensiver Sonneneinstrahlung durch fotochemische Prozesse aus Vorläuferschadstoffen – überwiegend Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen [18].

**Stickstoffoxide** (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid) entstehen bei Verbrennungsprozessen. Die Hauptquellen von Stickstoffoxiden sind Verbrennungs-

motoren und Feuerungsanlagen für Kohle, Öl, Gas, Holz und Abfälle. In Ballungsgebieten ist der Strassenverkehr die bedeutendste Quelle [19]. Stickoxide sind wichtige Vorläufer von Ozon und tragen zur Bildung von Feinstaub bei.

### Wie wirken die Luftschadstoffe Feinstaub, Ozon und Stickstoffdioxid auf die Lunge?

**Feinstaub** wird mit der Atmung über die Atemwege in die Lunge transportiert. Insbesondere Feinstaub kleiner als 2,5 µm gelangt bis in die kleinsten Atemwege und Lungenbläschen. Ultrafeine Partikel, die kleiner als 100 Nanometer sind, können ausserdem in den Blutkreislauf eintreten und so zu anderen Organen gelangen. Für die Wirkung der Partikel ist eine Vielzahl chemischer und physikalischer Eigenschaften verantwortlich, die meistens oxidativen Stress und entzündliche Reaktionen im ganzen Körper erzeugen [20]. Die Partikel, die wir einatmen, sind immer ein Gemisch aus vielen Quellen. Experimentelle Studien haben die Partikel aus Verbrennungsprozessen als besonders gesundheitsschädlich identifiziert [21].

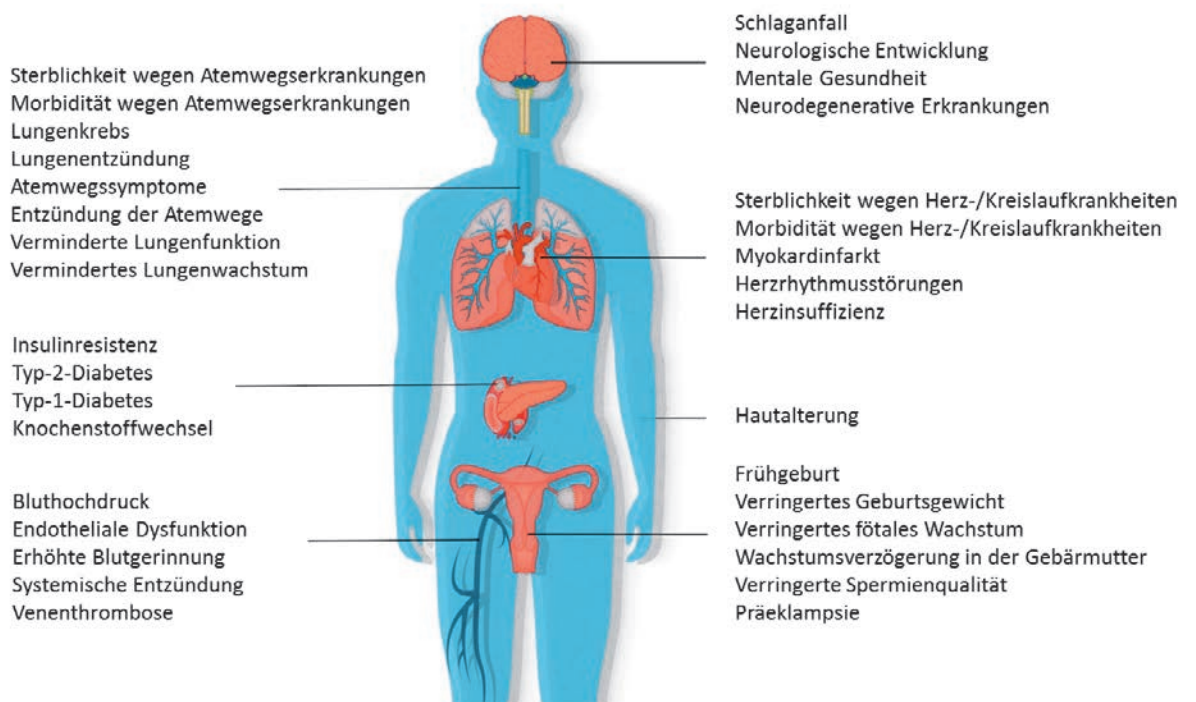
**Ozon und Stickstoffdioxid** sind oxidierende Reizgase. Sie dringen tief in die Lungen ein, erzeugen oxidativen Stress [22], lösen Entzündungsreaktionen aus und reagieren mit den Wandstrukturen der Lunge. Stickstoffmonoxid ist für den Körper unschädlich [23].

### Wie werden die Wirkungen der Luftschadstoffe in wissenschaftlichen Studien untersucht?

Experimente an Zellen, Tierversuche, kontrollierte Expositionen von Freiwilligen sowie epidemiologische Beobachtungsstudien tragen zum Gesamtbild der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Luftschadstoffen bei. Insgesamt sind aktuell mehr als 71 000 Arbeiten in der medizinischen Fachliteratur verfügbar. Experimentelle Studien dienen vor allem dazu, die negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Luftschadstoffe aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften zu untersuchen und die Wirkungsmechanismen zu verstehen. Expositionsstudien am Menschen untersuchen kurzfristige Effekte. Um insbesondere die langfristigen Auswirkungen auf die Gesundheit der gesamten Bevölkerung abzuschätzen, sind grosse epidemiologische Beobachtungsstudien die Methode der Wahl. Insbesondere sind hier grosse Kohortenstudien zu nennen, welche auch Kinder oder kranke Personen mit einschliessen.

### Welche Krankheiten werden durch die Luftschadstoffe verursacht?

**Feinstaub** kann Lungenerkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen auslösen und verkürzt damit die



Quelle: Modifiziert nach [5].

Tabelle 1

Luftschadstoff	Gesundheitsauswirkungen	Bewertung	Quelle
Feinstaub (PM <sub>2,5</sub> )	Sterblichkeit	kausal	[26]
	Herz-Kreislauf-Erkrankungen	kausal	[26]
	Lungenkrebserkrankungen	kausal	[4]
	Atemwegserkrankungen	wahrscheinlich kausal	[26]
Ozon	Kurzzeitwirkung auf Atemwegserkrankungen	kausal	[27]
	Kurzzeitwirkung auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen	wahrscheinlich kausal	[27]
	Atemwegserkrankungen	wahrscheinlich kausal	[27]
Stickstoffdioxid	Kurzzeitwirkung auf Atemwegserkrankungen	kausal	[29]
	Atemwegserkrankungen	wahrscheinlich kausal	[29]

Lebenserwartung [24, 25]. Die Auswirkungen reichen von kurzfristigen Gesundheitseinschränkungen über Krankenhauseinweisungen bis hin zu Todesfällen. Diese können akut bei hohen Staubbelastungen oder als Konsequenz von Langzeitbelastungen auftreten (vgl. [3]). Die Evidenz für Lungenkrebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist inzwischen als kausal, die von Lungenerkrankungen als «wahrscheinlich kausal» anerkannt [26]. Wahrscheinlich gibt es darüber hinaus Auswirkungen auf den ganzen Körper [5], insbesondere die Entwicklung des Kindes im Mutterleib [6, 7], die Lungen- und Gehirnentwicklung bei Kindern [8, 9], Diabetes [11] und Demenz [12].

**Ozon** führt kurzfristig zu einer erhöhten Sterblichkeit aufgrund von Atemwegserkrankungen, zu mehr atemwegsbedingten Notfallkonsultationen und Spital-eintritten, was als kausal bewertet wurde [27]. Als «wahrscheinlich kausal» wurde die Zunahme der Gesamtsterblichkeit und der Sterblichkeit an Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit der kurzfristigen Ozonbelastung beurteilt. Die langfristige Belastung mit Ozon zeigt Zusammenhänge mit einer Zunahme der atemwegsbedingten Sterblichkeit, eine Zunahme von Asthmafällen und vermehrte Symptomatik bei Asthmabetroffenen, welche ebenfalls als «wahrscheinlich kausal» beurteilt werden [27].

**Stickstoffdioxid** führt zur Verschlechterung der Gesundheit bei Asthmatikern und wird als kausal eingestuft [28, 29]. Als «wahrscheinlich kausal» wurde das Auftreten von Atemwegserkrankungen eingestuft [29]. Neuere Studien [30–34] und ein systematischer Review [35] weisen auf einen Zusammenhang für Herz-Kreislauf-Erkrankungen [30–35] und Diabetes [35] hin.

Die Tabelle fasst die gesicherten Zusammenhänge basierend auf veröffentlichten Bewertungen bis 2016

zusammen. Als kausal gesichert gelten solche Zusammenhänge, für die es ausreichend Studien gibt, in denen zufällige Zusammenhänge, Verzerrungen oder andere Störgrößen ausgeschlossen werden können und die bei umweltrelevanten Konzentrationen vorkommen. In der Regel werden die Zusammenhänge sowohl durch Beobachtungsstudien als auch durch experimentelle Untersuchungen belegt. Als «wahrscheinlich kausal» werden Zusammenhänge bezeichnet, bei denen es klare Hinweise auf eine Kausalität gibt, aber die Datenlage als nicht ausreichend für die Erfüllung aller Kausalitätskriterien gilt.

Allerdings ist davon auszugehen, dass die kausal etablierten Wirkungen nur einen Teil der gesundheitlichen Auswirkungen darstellen. Die Abbildung (modifiziert nach [5]) fasst zusammen, welche Auswirkungen durch bevölkerungsbasierte Studien im ganzen Körper beobachtet wurden.

Die Folgen der Luftverschmutzung unterscheiden sich klinisch in keiner Weise von den Folgen anderer Ursachen. Der Arzt in der Praxis kann die direkte Ursache eines Herzinfarkts oder eines Asthmaanfalls in den meisten Fällen nicht erkennen, weil es oft viele Faktoren sind, die für die Entstehung verantwortlich waren.

### Sind die Wirkungen der Luftschadstoffe unabhängig voneinander?

Die regulierten Luftschadstoffe Feinstaub, Ozon und Stickstoffdioxid haben gemeinsame Quellen, treten deshalb oft zeitlich und räumlich gemeinsam auf und wirken dann gemeinsam auf den menschlichen Körper [36]. Hinzu kommt, dass es noch weitere Schadstoffe in der Luft gibt, wie den Russ, die ultrafeinen Partikel, winzige Partikel im Nanometerbereich, oder organische Kohlenwasserstoffe, die mit dem Feinstaub und dem Stickstoffdioxid gemeinsam auftreten können [3]. Insbesondere für das Stickstoffdioxid wird diskutiert, ob es sich bei den Langzeitwirkungen um Wirkungen von Stickstoffdioxid allein handelt oder um Wirkungen eines Schadstoffgemischs, für welches Stickstoffdioxid als Indikator anzusehen ist [3]. Hier besteht dringender Forschungsbedarf, um insbesondere auch für Russ und ultrafeine Partikel zusätzliche Empfehlungen aussprechen zu können [3].

#### Bildnachweis

Reproduced with permission of the © ERS 2019.

#### Literatur

Die Referenzen finden Sie im ausführlichen Onlineartikel.

## Aktuelle Diskussionspunkte zu Gesundheitsauswirkungen der Luftschadstoffe

### «Rauchen ist viel giftiger und die Dosis viel höher. Deshalb kann bei der vergleichsweise niedrigen Dosis der Luftverschmutzung kein Schaden entstehen»

Es gibt viele biologische Zusammenhänge, bei denen die Dosis und die Wirkung nicht geradlinig zusammenhängen, sondern die zusätzliche Wirkung mit zunehmender Dosis nachlässt. Das lässt sich gut am Beispiel Rauchen illustrieren: Das Risiko für einen Herzinfarkt unterscheidet sich kaum, ob jemand 5 oder 20 Zigaretten täglich raucht. Trotz grossem Unterschied in der Dosis haben beide Raucher im Vergleich zu einem Nichtraucher ein um ca. 100% erhöhtes Risiko für einen Herzinfarkt [37]. Trotz der viel geringeren Dosis erhöht regelmässiges Passivrauchen das Herzinfarktrisiko um ca. 50% im Vergleich zu unbelasteten Personen [38–41]. Eine Langzeitbelastung von zusätzlichen 5 µg/m<sup>3</sup> Feinstaub erhöht die Wahrscheinlichkeit für einen Herzinfarkt um ca. 10% [42]. Die Dosis-Wirkungs-Beziehung ist also nicht linear, sondern flacht bei hoher Dosierung ab [37, 43]. Wird dieser nicht-lineare Zusammenhang korrekt berücksichtigt, zeigt sich eine sehr hohe Übereinstimmung in den Auswirkungen dieser verschiedenen Luftschadstoffbelastungen. Passivrauchen und niedrige Luftverschmutzung führen zu vergleichbaren Gesundheitsschäden. Rauchen und Luftverschmutzung unterscheiden sich auch aus anderen Gründen:

- Das Belastungsmuster ist anders: Rauchen führt zu hohen Belastungen mit Pausen zwischen den Zigaretten. Luftverschmutzung wirkt kontinuierlich den ganzen Tag und das ganze Jahr über ohne Unterbrechung.
- Rauchen belastet in erster Linie erwachsene Menschen, Luftverschmutzung wirkt auch auf Ungeborene, Säuglinge, Kinder mit Asthma und alte Menschen.
- Rauchen kann im Prinzip selbst kontrolliert und beendet werden. Luftverschmutzung kann man nicht oder nur schwer aus dem Weg gehen.

### «Es fehlt ein typisches Vergiftungsmuster»

**Feinstaub, Ozon und Stickstoffoxide** haben ein typisches Wirkungsmuster, nämlich oxidativen Stress und entzündliche Reaktionen [z.B. 20, 44], und wirken damit sehr ähnlich wie Tabakrauch. Am meisten wissen wir über Feinstaub. Aus unzähligen Experimenten und Beobachtungsstudien wissen wir, dass Feinstaub entzündliche Reaktionen in der Lunge und im gesamten Körper verursacht, die Bildung von Blutgerinnseln fördert, den Herzrhythmus stört, die Arterienverkalkung verstärkt und den Fettstoffwechsel verändert. Zusätzlich gelangt Feinstaub bis in das Gehirn oder zum Fötus. Die gleichen biologischen Veränderungen sehen wir beim aktiven Rauchen und beim Passivrauchen. Auch kommt es zu den gleichen Erkrankungen, nämlich Herzinfarkten, Schlaganfällen, Lungenerkrankungen und Lungenkrebs.

### «Tote durch Feinstaub oder Stickoxide gibt es nicht»

Das ist richtig, nach dieser Logik gibt es aber auch keine Toten durch das Rauchen. Dennoch wissen wir, dass Rauchen genau

wie Luftverschmutzung auf lange Sicht schädlich ist und beispielsweise zu Atemwegs- oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen kann, woran Menschen sterben können. Zu erkennen sind diese Zusammenhänge aber nur in Langzeitstudien und nicht an einem einzelnen Patienten oder Todesfall. Bei einem einzelnen Patienten oder einem einzelnen Todesfall lässt sich in den allermeisten Fällen nicht sagen, wie die Risikofaktoren zusammengespielt haben, die die Erkrankung oder den Tod ausgelöst haben. Auf Bevölkerungsebene kann man diese Zusammenhänge als eine Verkürzung der Lebenserwartung beziehungsweise verlorene Lebenszeit durch Luftschadstoffe abbilden.

### «Die Studien berücksichtigen andere Risikofaktoren nicht und führen deshalb zu viel zu hohen Krankheitslasten»

Das ist falsch. Qualitativ hochwertige epidemiologische Studien berücksichtigen andere Risikofaktoren für Erkrankungen sehr genau (also z.B. Rauchen, mangelnde körperliche Bewegung, Ernährung, Bildung, Einkommen etc.). Die anerkannten Methoden einer hochwertigen Beobachtungsstudie (epidemiologische Studie) verlangen ausdrücklich, dass möglichst alle weiteren Risikofaktoren für die Erkrankung berücksichtigt werden.

Es ist ebenfalls falsch, zu sagen, dass in den Studien lediglich die Landbevölkerung mit der Stadtbevölkerung verglichen würde. Im Gegenteil: Die meisten Studien vergleichen heutzutage unterschiedlich belastete Stadtbevölkerungen. Dafür werden für jede Wohnadresse die Langzeitkonzentrationen von Luftschadstoffen berechnet.

### «Die Grenzwerte in den USA für Stickstoffdioxid sind mehr als doppelt so hoch. Deshalb kann Stickstoffdioxid gar nicht so schlimm sein»

Das ist nicht die ganze Wahrheit. Tatsächlich liegt der Grenzwert für Stickstoffdioxid in den USA mit 100 µg/m<sup>3</sup> höher als in der EU mit 40 µg/m<sup>3</sup>. Die Amerikaner haben allerdings deutlich strengere Regeln bei der Emission, also der Menge von Stickoxiden, die vom Fahrzeug ausgestossen werden. Das heisst, sie regulieren direkt an der Quelle, beim Auto, deutlich schärfer, weshalb für deutsche Autos in Amerika eine spezielle Nachrüstung erforderlich ist. So sind in der EU zurzeit 270 mg/km Stickstoffoxide erlaubt, während die höchste Schadstoffklasse in den USA bei 100 mg/km (Stickstoffoxide und organische Methangase) liegt, bei einem Flottenmittelwert von unter 20 mg/km. Die EU ist hingegen den Empfehlungen der WHO gefolgt und hat den von der WHO empfohlenen Richtwert für Stickstoffdioxid in der Umgebungsluft übernommen. Die EU berücksichtigt also eher die Schadstoffkonzentration, die wir tatsächlich einatmen.

Bei der Regulierung der Luftqualität müssen ausserdem die unterschiedlichen Schadstoffe wie Feinstaub und Stickstoffdioxid gemeinsam betrachtet werden. Die USA regulieren den Feinstaub mit einem sehr strengen Grenzwert von 12 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2.5</sub>. Im Gegensatz dazu ist in der EU der Grenzwert für Feinstaub mehr als doppelt so hoch, nämlich 25 µg/m<sup>3</sup>.