

HEI

SONDERBERICHT 23

Juni 2022



Systematische Übersicht und Metaanalyse ausgewählter Gesundheitsfolgen langfristiger Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung

HEI-Gremium zu den Gesundheitsfolgen langfristiger Belastung mit
verkehrsbedingter Luftverschmutzung

ZUSAMMENFASSUNG

Health Effects Institute

ABOUT HEI

The Health Effects Institute is a nonprofit corporation chartered in 1980 as an independent research organization to provide high-quality, impartial, and relevant science on the effects of air pollution on health. To accomplish its mission, the Institute

- Identifies the highest-priority areas for health effects research
- Competitively funds and oversees research projects
- Provides intensive independent review of HEI-supported studies and related research
- Integrates HEI's research results with those of other institutions into broader evaluations
- Communicates the results of HEI's research and analyses to public and private decision makers.

HEI typically receives balanced funding from the U.S. Environmental Protection Agency and the worldwide motor vehicle industry. Frequently, other public and private organizations in the United States and around the world also support major projects or research programs. HEI has funded more than 340 research projects in North America, Europe, Asia, and Latin America, the results of which have informed decisions regarding carbon monoxide, air toxics, nitrogen oxides, diesel exhaust, ozone, particulate matter, and other pollutants. These results have appeared in more than 260 comprehensive reports published by HEI, as well as in more than 2,500 articles in the peer-reviewed literature.

HEI's independent Board of Directors consists of leaders in science and policy who are committed to fostering the public-private partnership that is central to the organization. The Research Committee solicits input from HEI sponsors and other stakeholders and works with scientific staff to develop a Five-Year Strategic Plan, select research projects for funding, and oversee their conduct. The Review Committee, which has no role in selecting or overseeing studies, works with staff to evaluate and interpret the results of funded studies and related research.

All project results and accompanying comments by the Review Committee (or in this case, the HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution) are widely disseminated through HEI's website (www.healtheffects.org), reports, newsletters and other publications, annual conferences, and presentations to legislative bodies and public agencies.

CONTRIBUTORS

In 2018, the Board of Directors of the Health Effects Institute (HEI) appointed an expert Panel to review the scientific literature on traffic-related air pollution and health. The Panel consisted of scientists from a variety of disciplines and was co-chaired by Francesco Forastiere, Imperial College London, and Frederick Lurmann, Sonoma Technology, Inc., Petaluma, California. During the course of the review, consultants to the Panel were added. In addition, HEI hired a contractor team at the Swiss Tropical and Public Health Institute, Switzerland, to execute certain parts of the review. HEI is indebted to the Panel, the consultants to the Panel, and contract team for their expertise, cooperation, and enthusiasm. A draft of the resulting report was submitted for outside peer review.

HEI PANEL ON THE HEALTH EFFECTS OF LONG-TERM EXPOSURE TO TRAFFIC-RELATED AIR POLLUTION

Francesco Forastiere (co-chair) *Visiting Professor, Environmental Research Group, School of Public Health, Faculty of Medicine, Imperial College London, United Kingdom*

Frederick Lurmann (co-chair) *Manager of Exposure Assessment Studies, Sonoma Technology, Inc., Petaluma, California*

Richard Atkinson *Professor of Epidemiology, Population Health Research Institute, St. George's University of London, United Kingdom*

Jeffrey Brook *Assistant Professor, Occupational and Environmental Health Division, Dalla Lana School of Public Health, University of Toronto, Canada; HEI Research Committee*

Howard Chang *Professor, Department of Biostatistics and Bioinformatics, Rollins School of Public Health, Emory University, Atlanta, Georgia*

Gerard Hoek *Associate Professor, Institute for Risk Assessment Sciences, Environmental Epidemiology, Utrecht University, the Netherlands*

Barbara Hoffmann *Professor of Environmental Epidemiology, Institute of Occupational, Social, and Environmental Medicine, Heinrich Heine University Düsseldorf, Germany; HEI Research Committee*

Sharon Sagiv *Associate Adjunct Professor of Epidemiology, Center for Environmental Research and Children's Health, Division of Epidemiology, University of California, Berkeley School of Public Health, Berkeley, California*

Evangelia Samoli *Associate Professor of Epidemiology and Medical Statistics, Department of Hygiene, Epidemiology and Medical Statistics, School of Medicine, National and Kapodistrian University of Athens, Greece; HEI Research Committee*

Audrey Smargiassi *Associate Professor, Department of Environmental and Occupational Health, School of Public Health, University of Montreal, Quebec, Canada*

Adam Szpiro *Associate Professor of Biostatistics, Department of Biostatistics, University of Washington, Seattle*

Danielle Vienneau *Assistant Professor (Habilitation), Department of Epidemiology and Public Health, Swiss Tropical and Public Health Institute, Switzerland; and University of Basel, Switzerland*

Jennifer Weuve *Associate Professor, Department of Epidemiology, Boston University School of Public Health, Massachusetts*

CONSULTANTS TO THE PANEL

Julia Fussell *Senior Research Fellow, School of Public Health, Imperial College London, United Kingdom*

Frank Kelly *Humphrey Battcock Chair of Environment and Health, School of Public Health, Imperial College London, United Kingdom; HEI Review Committee*

Tim Nawrot *Professor Environmental Epidemiology, Centre for Environmental Sciences, Hasselt University, Belgium*

Gregory Wellenius *Professor of Environmental Health, Boston University School of Public Health, Massachusetts; HEI Research Committee*

Continued

CONTRIBUTORS

HEI SCIENCE STAFF

Hanna Boogaard *Project Leader, Consulting Principal Scientist*

Allison Patton *Deputy Project Leader, Senior Scientist*

Dan Crouse *Wheeze Outcomes, Senior Scientist*

Eleanne van Vliet *Term Birth Weight, Staff Scientist*

Martha Ondras *Neurological Outcomes, Research Fellow*

Eva Tanner *Peer-Review Process, Staff Scientist*

Dan Greenbaum *President*

Rashid Shaikh *Director of Science Emeritus*

Ellen Mantus *Director of Science*

Annemoon van Erp *Deputy Director of Science*

HEI EDITORIAL STAFF

Kristin Eckles *Senior Editorial Manager*

Hope Green *Editorial Project Manager*

Carol Moyer *Lead Consulting Editor*

Mary Brennan *Consulting Editor*

William Fogle *Consulting Editor*

CONTRACTOR TEAM

Meltem Kutlar Joss, Ron Kappeler, and students Lara Stucki, Zoe Roth, and Elina Wüthrich under the supervision of Professor Nino Künzli, Swiss Literature Database and Services on Health Effects of Ambient Air Pollution (LUDOK), Department of Epidemiology and Public Health, Swiss Tropical and Public Health Institute, University of Basel, Switzerland, as well as students Leonie Hoffmann and Pascale Haddad under the supervision of Professor Barbara Hoffmann. We would also like to thank Alan da Silveira Fleck and Margaux Sadoine under the supervision of Dr. Audrey Smargiassi.

PEER REVIEWERS—FULL REPORT

Bert Brunekreef (chair) *Emeritus Professor of Environmental Epidemiology, Institute for Risk Assessment Sciences, Utrecht University, the Netherlands*

Haneen Khreis *Senior Research Associate, MRC Epidemiology Unit, University of Cambridge, United Kingdom*

Michael Jerrett *Professor and Chair, Department of Environmental Health Sciences, Fielding School of Public Health, University of California—Los Angeles, California; HEI Review Committee*

Susan Norris *Department of Family Medicine, Oregon Health & Science University, Portland, Oregon*

Annette Peters *Chair of Epidemiology, Director of the Institute of Epidemiology, Helmholtz Zentrum München, Germany*

Neil Pearce *Professor of Epidemiology and Biostatistics, London School of Hygiene and Tropical Medicine, United Kingdom; HEI Research Committee*

Marie Pedersen *Associate Professor, Department of Public Health, Section of Epidemiology, University of Copenhagen, Denmark*

David Savitz *Professor of Epidemiology, School of Public Health, and Professor of Obstetrics and Gynecology, Alpert Medical School, Brown University; Chair, HEI Research Committee*

Jay Turner *Vice Dean for Education and James McKelvey Professor of Engineering Education, Washington University in St. Louis, Missouri*

PEER REVIEWERS—SPECIFIC CHAPTERS

Chad R. Bailey *U.S. EPA Office of Transportation and Air Quality, Ann Arbor, Michigan*

David Carslaw *Wolfson Atmospheric Chemistry Laboratories, University of York, United Kingdom*

Flemming Cassee *Professor, Chief Science Officer, National Institute for Public Health and the Environment, the Netherlands*

David E. Foster *Phil and Jean Myers Professor Emeritus, University of Wisconsin—Madison, Wisconsin*

Mark Frampton *Professor Emeritus, Department of Medicine, Pulmonary Diseases and Critical Care, University of Rochester Medical Center, New York*

Mònica Guxens *Associate Research Professor, Barcelona Institute for Global Health, Spain*

Michael Kleeman *Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California—Davis, California*

Nick Molden *Founder and CEO Emissions Analytics, Stokenchurch, United Kingdom*

Marc Weisskopf *Cecil K. and Philip Drinker Professor of Environmental Epidemiology and Physiology, Environmental Health, Harvard T.H. Chan School of Public Health, Boston, Massachusetts*

KURZFASSUNG

EINLEITUNG

Kraftfahrzeuge stellen eine wichtige Quelle für die städtische Luftverschmutzung dar und sind wichtige anthropogene Emittenten von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen.

Verkehrsbedingte Luftverschmutzung (traffic-related air pollution, TRAP*) ist ein komplexes Gemisch aus Gasen und Partikeln, das durch den Betrieb von Kraftfahrzeugen, einschließlich schweren und leichten Nutzfahrzeugen, Bussen, Personenkraftwagen und Motorrädern entsteht. Die von Kraftfahrzeugen emittierten Schadstoffe beinhalten Stickstoffoxide (NO_x), elementaren Kohlenstoff (EC, Russ), Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) und $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}), ultrafeine Partikel (UFP), Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und flüchtige organische Verbindungen. Schadstoffe werden, wenn sie aus dem Fahrzeugauspuff stammen, Abgasemissionen genannt. Diese sind klar abzugrenzen von Nicht-Abgasemissionen, die emittiert werden durch z. B. Verdunstung von Treibstoff, Wiederaufwirbelung von Staub, und Abrieb von Bremsen, Reifen und Straßenoberflächen.

Während der letzten Jahrzehnte konnte man in Ländern mit hohem Einkommen eine kontinuierliche Abnahme der Abgasemissionen und Immissionskonzentrationen der meisten verkehrsbedingten Luftschadstoffe beobachten. Der Grund dieses Trends liegt bei verschärften Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität (wie die Verlagerung des Verkehrs) und der Verbesserung von Technologien für die Begrenzung der Abgasemissionen. Es ist wahrscheinlich, dass sich dieser Trend fortsetzen wird (Frey 2018). Allerdings kann der Rückgang der Emissionen von einzelnen Kraftfahrzeugen den schnellen Anstieg der

Kraftfahrzeugflotte durch Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, wirtschaftliche Aktivität und die weiter betriebenen alten und defekten Kraftfahrzeuge nicht kompensieren. Die Einführung neuer Technologien wie elektrischer Fahrzeuge und damit auch die Abnahme verkehrsbedingter Luftverschmutzung ist zwar vielversprechend, geht aber relativ träge voran. Gründe hierfür sind die langwierige Entwicklung und hohen Kosten der Batterietechnologie und Ladeinfrastruktur, die notwendige Dekarbonisierung der Stromerzeugung, die Minderung von Nicht-Abgasemissionen und der notwendige Flottenaustausch (Khreis et al. 2020). Der Absatz von elektrischen Fahrzeugen nimmt jedoch bei Überwindung technischer und infrastruktureller Hürden sowie bei politischer Förderung und dem Beitrag der Hersteller zu.

Da die Menge der zurückgelegten Fahrzeugkilometer darüber hinaus weiter ansteigt und die gesetzlichen Regulierungen bisher fast ausschließlich auf Abgasemissionen ausgerichtet sind, wächst in vielen Ländern auch das Interesse an dem Beitrag von Nicht-Abgasemissionen zur Luftqualität und Gesundheit. In absehbarer Zukunft wird daher eine erhebliche Anzahl von Menschen weltweit weiterhin Abgas- und Nicht-Abgasemissionen ausgesetzt sein, vor allem in städtischen Gebieten und in Wohngebieten in der Nähe von stark befahrenen Straßen.

Die Ausbreitung verkehrsbedingter Emissionen in der Luft hängt von verschiedenen Faktoren wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, atmosphärische Stabilität sowie Gelände und Landnutzung ab. Zusätzlich tragen Emissionen aus anderen Quellen wie Industrie, Öl-, Kohle- und Holzverbrennung, Landwirtschaft und atmosphärischer Transport von Schadstoffen aus entfernten Quellen zur Luftverschmutzung bei. Diese Emissionen resultieren in erhöhten Schadstoffkonzentrationen durch primäre Emissionen und durch Bildung von sekundären Luftschadstoffen, wie sekundärer Feinstaub und Ozon. Menschen sind diesen Luftschadstoffen sowohl im Freien als auch in Innenräumen durch die Infiltration von

* Ein Abkürzungsverzeichnis befindet sich am Ende dieser Zusammenfassung.

* Autoren dieser Übersetzung — Vincent Pas, Ron Kappeler, Meltem Kutlar Joss (LUDOK/Swiss TPH); Qualitätskontrolle: Barbara H. Hoffmann (Universität Düsseldorf).

Luftschadstoffen ausgesetzt. Die Exposition von Menschen wird außerdem von verschiedenen dynamischen Faktoren wie Mobilitätsverhalten und Distanz zur Emissionsquelle beeinflusst.

Das Health Effects Institut (HEI) veröffentlichte im Jahr 2010 den Sonderbericht 17, *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*. Diese Übersichtsarbeit befasst sich mit den Gesundheitseffekten verkehrsbedingter Luftverschmutzung und stellt eine Zusammenfassung und Synthese von wissenschaftlichen Erkenntnissen über Emissionen, Exposition und Gesundheitseffekte verkehrsbedingter Luftverschmutzung dar. Ein Expertengremium hat dafür toxikologische wie auch epidemiologische Studien berücksichtigt. Es kam zu dem Schluss, dass die Evidenz ausreiche, um einen kausalen Zusammenhang zwischen der Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und der Verschlechterung von Asthma, z.B. mehr Asthmaanfälle, zu stützen. Des Weiteren fand das Expertengremium Hinweise für einen kausalen Zusammenhang mit der Entwicklung von Asthma bei Kindern, nicht-asthmatischen Atemwegssymptomen bei Erwachsenen, eingeschränkter Lungenfunktion bei Kindern und Erwachsenen, erhöhter Gesamtsterblichkeit sowie kardiovaskulärer Sterblichkeit und verstärkter Entwicklung von Herz-/Kreislaufkrankheiten. Die Evidenz für andere Gesundheitseffekte war begrenzt.

Seit der Veröffentlichung der HEI Übersichtsarbeit im Jahr 2010 wurden viele zusätzliche Studien zu Gesundheitseffekten durch Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung veröffentlicht, weitere gesetzliche Regulierungen erlassen und Fahrzeugtechnologien bedeutend weiterentwickelt. Des Weiteren ist das Verständnis für nicht-luftverschmutzungsbedingte Gesundheitseffekte des Verkehrs, wie z. B. durch Verkehrslärm, gestiegen. Diese Belastungen verzerren oder modifizieren die gesundheitlichen Wirkungen, die von verkehrsbedingter Luftverschmutzung ausgehen. Die gesundheitlichen Wirkungen verkehrsbedingter Luftverschmutzung sind nach wie vor von Interesse für die öffentliche Gesundheit und beschäftigen sowohl die politischen Entscheidungsträger als auch die Automobilindustrie. Das HEI beschloss daher, einen neuen Übersichtsbericht zu verfassen, und hat hierfür ein neues Expertengremium bestehend aus 13 Experten aus den Fachbereichen Epidemiologie, Expositionsabschätzung und Statistik aus wissenschaftlichen Institutionen in Nordamerika und Europa berufen. Der daraus entstandene Sonderbericht wurde anschließend einem detaillierten Peer Review unterzogen. Dieser Sonderbericht ist die bisher umfangreichste systematische Untersuchung zur Bewertung der epidemiologischen Evidenz für den Zusammenhang zwischen langfristiger Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und ausgewählten gesundheitlichen Endpunkten.

ZIELE

Das übergeordnete Ziel des Sonderberichts war, die Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen langfristiger Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und ausgewählten Gesundheitsfolgen systematisch zu beurteilen. Die Resultate wurden nach Möglichkeit quantitativ (in Metaanalysen) ausgewertet, um den Zusammenhang zu bewerten. Das Expertengremium hatte die Aufgabe, einerseits die Qualität der Studien und der Gesamtevidenz zu beurteilen (*confidence in the quality of the evidence*), und andererseits Schlüsse zum Vorliegen eines Zusammenhangs zwischen verkehrsbedingter Luftverschmutzung und ausgewählten Gesundheitsendpunkten (*confidence in the presence of an association*) zu ziehen. Das Expertengremium hat nicht die Kausalität bewertet, da keine separate, unabhängige, systematische Bewertung der mechanistischen, toxikologischen und klinischen Studien durchgeführt wurde. Aus diesem Grund wird in der abschließenden Gesamtbeurteilung der Begriff des Zusammenhangs (Assoziation) anstelle von kausalem Zusammenhang, kausaler Beziehung oder Effekt benutzt.

Der Sonderbericht beschreibt die Methoden und Ergebnisse der systematischen Recherche und der Evaluation der epidemiologischen Evidenz, diskutiert die Stärken und Schwächen der Evidenz und gibt Empfehlungen zur zukünftigen Forschung. Zusätzlich zur systematischen Übersicht der epidemiologischen Evidenz enthält der Sonderbericht einen Abschnitt, der sich mit einigen wichtigen Fragen im Zusammenhang mit Technologien und Emissionen von Kraftfahrzeugen auseinandersetzt. Ebenfalls eingeschlossen sind ein knapper Überblick über die vermuteten oder bekannten Wirkungsmechanismen, welche für die beobachteten gesundheitlichen Effekte durch die Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung verantwortlich sind, und eine Zusammenfassung über die gesundheitlichen Effekte bei kurzfristig erhöhter Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung. Diese Informationen, die nicht in dieser Zusammenfassung enthalten sind, sollen ergänzende und unterstützende Informationen zu den Ergebnissen der systematischen Übersichtsarbeit liefern.

METHODEN

Das Expertengremium verwendete einen systematischen Ansatz für die Suche der Literatur, die Auswahl der Studien, die Bewertung der Studienqualität, die Synthese der Ergebnisse sowie die Bewertung des Vertrauens in die Evidenz. Die Methodik des Expertengremiums basierte auf Standards der *Cochrane Collaboration*, der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und dem *National Institute of Environmental Health Sciences*. Die genutzten Methoden wurden in einem Review Protokoll veröffentlicht (HEI 2019) und in Prospero, einem Register für systematische Übersichtsarbeiten, registriert

(https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/display_record.php?RecordID=150642).

Die gesundheitlichen Endpunkte wurden auf der Grundlage der Evidenz für einen Kausalzusammenhang von allgemeiner bzw. nicht quellspezifischer Luftverschmutzung (weiter gefasst als verkehrsbedingte Luftverschmutzung) mit gesundheitlichen Folgen ausgewählt. Dabei wurden nur solche gesundheitlichen Endpunkte ausgewählt, deren Zusammenhang als ursächlich («kausal») oder wahrscheinlich ursächlich bewertet wurde. Basis hierfür waren neueste integrierte wissenschaftliche Bewertungen maßgeblicher Institutionen wie der amerikanischen Umweltbehörde EPA, Health Canada oder der Internationalen Agentur für Krebsforschung. Weitere Aspekte waren die Relevanz der Gesundheitsfolgen für die öffentliche Gesundheit und für die Regulierung. Die ausgewählten Endpunkte umfassten daher in erster Linie manifeste Erkrankungen und die Sterblichkeit einschließlich Wirkungen auf geburtshilfliche Endpunkte (z. B. niedriges Geburtsgewicht), Wirkungen auf die Atemwegsgesundheit (z. B. Entwicklung von Asthma), Wirkungen auf das Herz-/Kreislaufsystem oder den Zuckerstoffwechsel (z. B. ischämische Herzerkrankung [IHD] und Diabetes) sowie die Gesamtsterblichkeit und krankheitsspezifische Sterblichkeit (z. B. an Atemwegserkrankungen oder Herz-/Kreislaufkrankheiten).

Die Formulierung der wissenschaftlichen Frage für die systematische Literaturrecherche erfolgte nach dem PECOS-Schema. Dabei steht PECOS für die Aspekte *Population, Exposure, Comparator, Outcome and Study*; also Kollektiv, Belastung, Vergleichsgröße, gesundheitlicher Endpunkt und Studie(n)design). Basierend auf diesen PECOS Aspekten wurden die Einschluss- und Ausschlusskriterien für die systematische Literaturrecherche festgelegt. Der Fokus des Reviews liegt demnach auf ausgewählten Gesundheitseffekten in der Allgemeinbevölkerung, die nach langfristiger Belastung gegenüber verkehrsbedingter Luftverschmutzung beobachtet werden. Eingeschlossen wurden Studiendesigns mit Individualdaten (im Gegensatz zu Daten auf Gruppenebene), also Kohortenstudien, Fall-Kontroll-Studien, Querschnittsstudien und Interventionsstudien.

Die systematische Recherche wurde in den Datenbanken MEDLINE und LUDOK (Datenbank der lufthygienischen Dokumentationsstelle am Swiss TPH) für den Zeitraum von Januar 1980 bis Juli 2019 durchgeführt. Die Eignung der Studien entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien wurde von zwei Gutachtern geprüft. Die Daten von allen inkludierten Studien wurden extrahiert und umfassend auf ihre Richtigkeit überprüft, speziell auch die Informationen für die Metaanalyse. Für die Metaanalyse wurden Effektschätzer aus Einschadstoffmodellen extrahiert. Effektschätzer aus Mehrschadstoffmodellen wurden in dieser Übersichtsarbeit nicht metaanalytisch ausgewertet, da das Ziel darin bestand, das Schadstoffgemisch der verkehrsbedingten Luftverschmutzung zu bewerten und nicht den Effekt einzelner Schadstoffe.

Eine Metaanalyse mit zufälligen Effekten (*random-effects*) wurde durchgeführt, wenn mindestens drei Studien für eine bestimmte Schadstoff-Endpunkt-Kombination vorlagen. Für die Präsentation der Effektschätzer wurden die in der ESCAPE-Studie angewendeten Inkremente (Belastungsunterschiede) übernommen, um einen realen Belastungsunterschied widerzuspiegeln (Beelen et al. 2014, 2015). Wo möglich, wurden sogenannte Forest-Plots erstellt. Der Forest-Plot stellt die Effektschätzer der Einzel-Studien als auch den daraus kombinierten Meta-Effektschätzer jeweils nebst Vertrauensbereich graphisch zusammen. Im Bericht werden die Forest-Plots zusammen mit Überblickstabellen mit wichtigen Informationen zu den Studien abgebildet. Für alle Schadstoff-Endpunkt-Kombinationen, die in Metaanalysen ausgewertet wurden, wurde das Risiko für Verzerrung (*risk of bias*) bewertet. Hierfür wurde eine modifizierte Version des *risk of bias*-Instruments, welches auch in den Übersichtsarbeiten für die WHO-Luftqualitätsleitlinien angewendet wurde (WHO 2020, 2021), genutzt. Wo möglich, wurden Sensitivitätsanalysen in Untergruppen von Studien durchgeführt, um die Konsistenz der Resultate zu bewerten, z. B. geschichtet nach geografischen Regionen, Publikationszeiträumen, dem Risiko für Verzerrung oder der Berücksichtigung von Störfaktoren auf individueller Ebene (z. B. Rauchen). Für die Bewertung des Vertrauens in die Qualität der Studienlage der in die Metaanalyse einbezogenen Studien wurde die GRADE-Methode (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation* – Benotung von Empfehlungen, Bewertung, Entwicklung und Evaluierung) des US-amerikanischen *Office of Health Assessment and Translation* (OHAT, 2019) modifiziert und genutzt. Da diese Methodik die Studienlage vor allem in Bezug auf die in die Metaanalyse eingeschlossenen Studien bewertet, hielt es das Expertengremium für ratsam, diese Bewertung mit einem breiteren Ansatz zu ergänzen und entwickelte eine zusätzliche narrative Bewertung. Mit dieser zusätzlichen narrativen Bewertung wurde der Grad des Vertrauens in das Vorhandensein eines Zusammenhangs unter der Berücksichtigung aller Studien – auch jener, die nicht in die Metaanalysen einbezogen werden konnten – evaluiert. Die zwei Ansätze wurden als gleichwertig bzw. komplementär betrachtet. Die Ergebnisse wurden anschließend in einer Gesamtbewertung kombiniert.

Zusätzlich zur beschriebenen systematischen Übersichtsarbeit zu den ausgewählten gesundheitlichen Endpunkten wurde ein Review zu den Auswirkungen auf neurologische Endpunkte bei Kindern (z. B. kognitive Entwicklung, Autismus) und Erwachsenen (z. B. Demenz) verfasst. Dieser systematische Überblick wurde erstellt um den Stand dieser wichtigen und sich rasch entwickelnden Forschungsgebiete zu repräsentieren. Wichtige Unterschiede zur eingangs beschriebenen Übersichtsarbeit waren: (1) es wurden keine Metaanalysen durchgeführt, (2) es gab keine Bewertung des Vertrauens in die Qualität der Studienlage und (3) es wurde keine Beurteilung des Risikos für Verzerrung (*risk of bias*)

für einzelne Studien vorgenommen. Aus diesem Grund sind diese Ergebnisse in dieser Kurzfassung nicht aufgeführt.

KRITERIENKATALOG FÜR BELASTUNGSABSCHÄTZUNGEN

Die Belastungsabschätzung von verkehrsbedingter Luftverschmutzung in epidemiologischen Studien ist anspruchsvoll. Verkehrsbedingte Luftverschmutzung stellt ein Gemisch aus Feinstaub und gasförmigen Schadstoffen dar und hat eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität. Der 2010 HEI Traffic Review stellte fest, dass die Belastungsabschätzung verkehrsbedingter Luftverschmutzung in der damals aktuellen Literatur unzureichend war und damit die Aussagekraft einschränkte. Für die jetzt vorliegende Übersichtsarbeit entwickelte das Expertengremium daher einen neuen Kriterienkatalog, um Transparenz darüber zu schaffen, welche Studien Unterschiede in verkehrsbedingter Luftverschmutzung in ausreichendem Maße abbilden und somit geeignet für den Einbezug in die aktuelle Übersichtsarbeit sind.

Der Kriterienkatalog für die Belastungsabschätzung enthält die drei Bereiche (1) Auswahl von verkehrsbedingten Schadstoffen, (2) Methode der Belastungsabschätzung und (3) ihre räumliche Auflösung. Der Grundgedanke für diesen Kriterienkatalog ist die Tatsache, dass kein Schadstoff allein gänzlich spezifisch für den Verkehr ist und somit zusätzliche Anforderungen benötigt werden.

Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs können die Luftqualität prinzipiell auf Straßen-, Quartiers-, städtischer und regionaler Ebene beeinflussen. Das Gremium kam zu dem Schluss, dass epidemiologische Studien, die sich mit Kontrasten der Belastung auf Straßen- und Quartierebene befassen, das größte Potenzial haben, Belastungsunterschiede von verkehrsbedingter Luftverschmutzung abzubilden. Es wurden daher Studien eingeschlossen, welche die Belastung mit Stickoxiden (NO_2 , NO_x), EC (elementarer Kohlenstoff oder Russ, inklusive verwandter Messgrößen wie black carbon BC oder Lichtabsorption des Feinstaubes PM), Kohlenmonoxid, ultrafeinen Partikeln (UFP) und weiteren spezifischen Schadstoffen oder Komponenten, indirekten Verkehrsindikatoren (Distanz zum und Dichte des Verkehrs) und $\text{PM}_{2.5}$ und PM_{10} (Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von ≤ 2.5 bzw. $10 \mu\text{m}$) erfassten. Für Studien, die die Belastung mit $\text{PM}_{2.5}$ oder PM_{10} untersuchten, waren strengere Anforderungen für den Einschluss hinsichtlich der Belastungsabschätzung und des Studienrahmens erforderlich, um zu zeigen, dass die Unterschiede in der Belastung überwiegend auf Unterschiede bei den Verkehrsemissionen zurückzuführen sind. Beispielsweise wurden PM-Studien ausgeschlossen, die ausschließlich auf Monitordaten beruhten. Des Weiteren schloss das Expertengremium landesweite Studien zu allen Schadstoffen aus, bei denen der Belastungsunterschied

primär auf Schwankungen zwischen Städten und nicht innerhalb der Städte zurückzuführen war.

Zusätzlich entwickelte das Expertengremium einen Indikator für Verkehrsspezifität (hoch oder moderat), der auf strikteren Kriterien für die drei Aspekte des Kriterienkatalogs basierte. Zum Beispiel wurden alle Studien zu $\text{PM}_{2.5}$ und PM_{10} als moderat verkehrsspezifisch (im Gegensatz zu hoch) beurteilt. Für alle anderen Schadstoffe wurde für eine hohe Verkehrsspezifität eine räumliche Auflösung der Belastungsabschätzung von mindestens 1 km verlangt, für eine moderate Verkehrsspezifität eine Auflösung von 1 km bis zu 5 km. Der Großteil der eingeschlossenen Studien erfüllte auch die strikteren Kriterien für hohe Verkehrsspezifität. Das Gremium entwickelte diese zwei Beurteilungsebenen, da davon ausgegangen wurde, dass eine Ebene, die auf sehr strikten Kriterien basiert, zu restriktiv wäre und somit weniger Studien für die Übersichtsarbeit aufgenommen werden könnten. Das Expertengremium sah es nach Sichtung der Studien als ermutigend an, dass die meisten Studien auch die strikteren Kriterien erfüllten. Dies wurde als Hinweis gewertet, dass der Kriterienkatalog für die Belastungsabschätzung erfolgreich diejenigen Studien identifiziert, die Informationen zu Auswirkungen verkehrsbedingter Luftverschmutzung auf gesundheitliche Endpunkte liefern.

DIE WICHTIGSTEN ERGEBNISSE DER ÜBERSICHTSARBEIT

Die Anzahl an Studien über langfristige Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und den gesundheitlichen Endpunkten, die in dieser Arbeit eingeschlossen wurden, hat sich im Vergleich zum 2010 HEI Traffic Review (HEI 2010) mehr als verdreifacht. Ein direkter Vergleich ist jedoch aufgrund von Unterschieden in der Zielsetzung, der Methoden und der Ein- und Ausschlusskriterien schwierig.

Insgesamt wurden in dieser systematischen Übersichtsarbeit 353 Studien eingeschlossen. Wirkungen auf die Atemwegsgesundheit bei Kindern ($N = 118$ Studien, 33%) und geburtshilfliche Endpunkte ($N = 86$ Studien, 24%) waren die häufigsten untersuchten Endpunkte. Eine geringere Anzahl an Studien untersuchte die Auswirkungen auf die Herz-/Kreislaufgesundheit und Diabetes ($N = 57$ Studien, 16%), Wirkungen auf die Atemwegsgesundheit bei Erwachsenen ($N = 50$ Studien, 14%) und Sterblichkeit ($N = 48$ Studien, 13%). Die Studien wurden in einer Vielzahl an Ländern durchgeführt, wobei der Großteil der Studien aus Europa ($N = 163$ Studien, 46%) und Nordamerika ($N = 130$ Studien, 37%) stammte. Studien aus Asien (überwiegend China) wurden erst in jüngerer Zeit publiziert ($N = 41$ Studien, 12%). Mehr Studien zu verkehrsbedingter Luftverschmutzung in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen sind daher notwendig.

In den Metaanalysen wurde NO_2 als der am häufigsten untersuchte Belastungsindikator verkehrsbedingter Luftverschmutzung eingeschlossen, gefolgt von EC und $\text{PM}_{2.5}$. Für einige Schadstoffe, insbesondere für nicht-abgasbedingte PM-Komponenten und UFP, konnten nur wenige Studien eingeschlossen werden. Studien zu diesen Schadstoffen wurden als zukünftiger Forschungsbedarf identifiziert.

Die Tabelle unten fasst die Ergebnisse der Metaanalysen zu den am häufigsten untersuchten Belastungsindikatoren der verkehrsbedingten Luftverschmutzung (NO_2 , EC und $\text{PM}_{2.5}$) und ihrem Zusammenhang mit den untersuchten gesundheitlichen Endpunkten zusammen. Um die Effekte zu beschreiben, wird der Einfachheit halber durchgängig der Begriff Relatives Risiko genutzt, auch wenn bei manchen Studien die *Odds Ratio* (Chancenverhältnis aus Querschnitt- oder Fall-Kontrollstudien) oder die *Hazard Rate* (Risiko für das Eintreten eines Ereignisses in Längsstudien) berechnet wurden. Die folgenden Punkte sind wichtig bei der Interpretation der Ergebnisse: (1) obwohl die Ergebnisse nach Schadstoffen gelistet werden, sollten die einzelnen Schadstoffe als Indikatoren für das Gemisch der verkehrsbedingten Luftverschmutzung betrachtet werden; (2) die Effektschätzer können nicht direkt zwischen den verschiedenen verkehrsbedingten Schadstoffen verglichen werden, da die ausgewählten Inkremente (Belastungsunterschiede) nicht unbedingt dem gleichen Kontrast in der Belastung entsprechen; und (3) die Studien, die in den Metaanalysen eingeschlossen wurden, repräsentieren nur etwa die Hälfte aller Studien, die in die Übersichtsarbeit einbezogen wurden und aus verschiedenen Gründen nicht in die Metaanalysen eingeschlossen werden konnten, z. B. wenn mehrere Studien in derselben Population durchgeführt wurden oder weniger als drei Studien für eine bestimmte Schadstoff-Endpunkt-Kombination zur Verfügung standen. Indirekte Verkehrsindikatoren wurden wegen ihrer studienspezifischen Definitionen ebenfalls nicht meta-analytisch ausgewertet, ergänzen jedoch die Gesamtbewertung der Evidenz.

Die Abbildung und die Tabelle dieser Zusammenfassung zeigen für jeden gesundheitlichen Endpunkt die Gesamtbewertung des Vertrauens in das Vorhandensein eines Zusammenhangs von Gesundheitseffekten mit der langfristigen verkehrsbedingten Luftverschmutzung. Diese Gesamteinschätzung stellt eine Kombination aus der narrativen Bewertung und der modifizierten OHAT Bewertung dar. Eine detaillierte Beschreibung der Vertrauensgrade (sehr niedrig bis hoch) befindet sich in der Box am Ende dieser Zusammenfassung.

Das Expertengremium fand einen hohen oder moderat bis hohen Grad an Vertrauen in das Vorhandensein eines Zusammenhangs zwischen langfristiger Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und der Gesamtsterblichkeit und der Sterblichkeit an Herz-/Kreislaufkrankheiten, ischämischen Herzkrankheiten (IHD) und Lungenkrebs, sowie

der Entwicklung von Asthma bei Kindern und Erwachsenen und akuten Infektionen der unteren Atemwege (ALRI) bei Kindern. Das Vertrauen des Gremiums in die Evidenz eines Zusammenhangs mit anderen Endpunkten wurde als moderat, niedrig oder sehr niedrig eingestuft. Die wichtigsten Ergebnisse für jede Kategorie von gesundheitlichen Endpunkten werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

GEBURTSHILFLICHE ENDPUNKTE

Die in den Metaanalysen summierten Effektschätzer zeigen, dass die Kenngrößen für ein verlangsamtes fötales Wachstum (im Mutterleib) am engsten mit der mittleren $\text{PM}_{2.5}$ -Belastung während der gesamten Schwangerschaft assoziiert ist. Das Relative Risiko beträgt 1.11 (95%-Vertrauensbereich (CI): 1.03 bis 1.20) für niedriges Termingeburtsgewicht und 1.09 (1.04 bis 1.14) für SGA (*small for gestational age*, vorgeburtliche Mangelentwicklung, d.h. untergewichtige oder zu kleine Neugeborene, bei denen das Geburtsgewicht oder die Körperlänge bezogen auf das Reifealter im unteren Bereich der Verteilung liegt) und einem durchschnittlich 17.3 Gramm (–33.2 bis –1.5) niedrigeren Geburtsgewicht pro $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Ergebnisse für PM_{10} stützen einen solchen Zusammenhang. Das Risiko für Frühgeburten ist bei den meisten Schadstoffen nicht erhöht, obschon einige Studien zu verkehrsbedingtem Feinstaub und indirekten Verkehrsindikatoren (Distanz und Dichte) Zusammenhänge zeigen. Zusammenhänge mit anderen verkehrsbedingten Luftschadstoffen wie NO_2 , NO_x und EC sind in den Metaanalysen meistens null (kein Zusammenhang) mit Ausnahme eines Zusammenhangs zwischen NO_x und niedrigem Geburtsgewicht. Die nicht in die Metaanalysen eingeschlossenen Studien zeigen generell ähnliche Zusammenhänge wie in den Metaanalysen.

Der überwiegende Teil der Studien zu verkehrsbedingter Luftverschmutzung und geburtshilflichen Endpunkten wurde in Nordamerika und Europa durchgeführt. Die meisten Studien waren registerbasierte Kohortenstudien, weshalb potenziell wichtige Informationen über lebensstilbezogene Störfaktoren wie mütterliches Rauchen während der Schwangerschaft und Body-Mass-Index (BMI) fehlten. Daher wurden diese Studien mit einem hohen Risiko für Verzerrung bewertet. Dies verringerte das Vertrauen in die Qualität der Evidenz, insbesondere für die Endpunkte Geburtsgewicht und Frühgeburtlichkeit.

Das Expertengremium folgerte, dass das Vertrauen in die Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und niedrigem Geburtsgewicht (kategorisches Ergebnis) sowie SGA moderat und das Vertrauen für einen Zusammenhang mit verringertem Geburtsgewicht (kontinuierliche Messgröße) und Frühgeburten niedrig sei.

Tabelle. Gesamtbewertung des Vorhandenseins eines Zusammenhangs und Effektschätzer der Metaanalysen der am häufigsten untersuchten Verkehrsschadstoffe (NO₂, EC, PM_{2,5}) mit gesundheitlichen Endpunkten (Achtung: die einzelnen Schadstoffe stehen stellvertretend für verkehrsbedingte Luftverschmutzung).

Gesundheitlicher Endpunkt	Gesamtbewertung	NO ₂ pro 10 µg/m ³		EC pro 1 µg/m ³		PM _{2,5} pro 5 µg/m ³	
		N	Relatives Risiko	N	Relatives Risiko	N	Relatives Risiko
Geburtshilfliche Endpunkte							
Zu niedriges Geburtsgewicht bei Termingeburt	moderat	12	1.01 (0.99; 1.03)	5	1.01 (0.99; 1.04)	7	1.11 (1.03; 1.20)
Geburtsgewicht bei Termingeburt	niedrig	8	-3.2 (-1.0; 4.6)	4	-2.6 (-6.1; 0.9) ¹	6	-17.3 (-33.2; -1.5)
Small for gestational age (SGA)	moderat	11	1.00	3	1.02 (0.92; 1.14) ¹	4	1.09 (1.04; 1.14)
Frühgeburtlichkeit	niedrig	14	1.00	5	1.02 (0.97; 1.07) ¹	4	0.99 (0.90; 1.09)
Atemwegserkrankungen — Kinder							
Entwicklung von Asthma ²	moderat bis hoch	12	1.05 (0.99; 1.12)	5	1.11 (0.94; 1.31)	5	1.33 (0.90; 1.98)
Jemals Asthma ³	moderat	21	1.09 (1.01; 1.18)	3	1.30 (0.56; 3.04)	3	1.29 (0.58; 2.87)
Aktives Asthma ³	moderat	12	1.12 (1.02; 1.23)	3	1.25 (0.98; 1.59)	<3	NA
Akute Entzündungen der unteren Atemwege (ALRI) ²	moderat bis hoch	11	1.09 (1.03; 1.16)	4	1.30 (0.78; 2.18)	<3	NA
Atemwegserkrankungen — Erwachsene							
Entwicklung von Asthma ²	moderat bis hoch	7	1.10 (1.01; 1.21)	<3	NA	<3	NA
Akute Entzündungen der unteren Atemwege ²	sehr niedrig bis niedrig	3	1.07 (0.71; 1.61)	<3	NA	<3	NA
COPD ²	niedrig	7	1.03 (0.94; 1.13)	<3	NA	4	0.91 (0.62; 1.36)
Herz-/Kreislaufkrankheiten und Diabetes							
Ischämische Herzkrankheiten ²	moderat	5	0.99 (0.94; 1.05)	5	1.01 (0.99; 1.03)	4	1.09 (0.86; 1.39)
Herzinfarkt ²	niedrig	7	1.03 (0.95; 1.11)	<3	NA	<3	NA
Schlaganfall ²	niedrig bis moderat	7	0.98 (0.92; 1.05)	6	1.03 (0.98; 1.09)	4	1.08 (0.89; 1.32)
Diabetes ²	moderat	7	1.04 (0.96; 1.13)	3	1.16 (0.57; 2.36)	4	1.05 (0.96; 1.15)
Diabetes ³	moderat	7	1.09 (1.02; 1.17)	<3	NA	3	1.08 (0.70; 1.67)
Sterblichkeit an							
Alle Ursachen	hoch	11	1.04 (1.01; 1.06)	11	1.02 (1.00; 1.04)	12	1.03 (1.01; 1.05)
Herz/Kreislaufkrankheiten	hoch	10	1.04 (1.00; 1.09)	9	1.02 (1.00; 1.04)	11	1.04 (1.01; 1.08)
Atemwegserkrankungen	moderat	8	1.05 (1.00; 1.09)	8	1.01 (0.98; 1.05)		1.03 (0.97; 1.10)
Lungenkrebs	moderat bis hoch	5	1.04 (1.01; 1.07)	3	1.02 (0.88; 1.19)	6	1.06 (0.99; 1.13)
Ischämische Herzkrankheiten	hoch	6	1.05 (1.03; 1.08)	6	1.05 (0.99; 1.11)	7	1.07 (1.04; 1.10)
Schlaganfall	niedrig bis moderat	6	1.01 (0.98; 1.04)	<3	NA	3	1.04 (1.01; 1.07)
COPD	niedrig	3	1.03 (1.00; 1.05)	<3	NA	<3	NA

NA = nicht anwendbar.

¹ Mittlere Differenz in [g].

² Inzidenz.

³ Prävalenz.

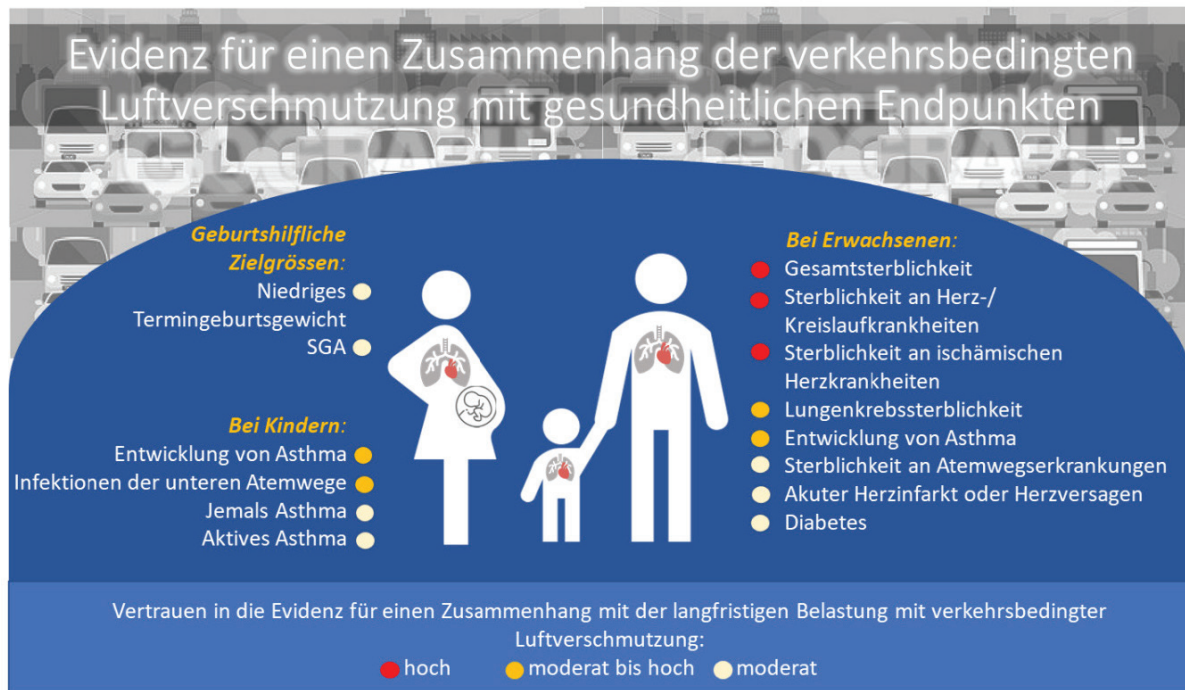


Abbildung der Zusammenfassung. Gesamtvertrauen in die Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der langfristigen Belastung gegenüber TRAP und ausgewählten Gesundheitsfolgen. Gesundheitsfolgen, für die das Gesamtvertrauen in die Evidenz niedrig bis moderat, niedrig oder sehr niedrig war, sind nicht in der Abbildung enthalten.

AUSWIRKUNGEN AUF DIE ATEMWEGSGESUNDHEIT

Die summierten Effektschätzer für NO_2 zeigen ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von Asthma bei Kindern und Erwachsenen mit einem relativen Risiko von 1.05 (95% CI: 0.99–1.12) und 1.10 (1.01–1.21) sowie 1.09 (1.03–1.16) für Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Für diese Gesundheitsfolgen werden auch erhöhte Risiken mit anderen verkehrsbedingten Luftschadstoffen gefunden, entweder in Metaanalysen oder in einzelnen grossen Studien. Die meisten Studien sind Kohortenstudien, wurden in verschiedenen Bevölkerungen durchgeführt und haben ein geringes oder moderates Risiko für Verzerrung.

Das Expertengremium kam zu dem Schluss, dass das Vertrauen in die Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und der Entwicklung von Asthma bei Kindern und Erwachsenen sowie akuten Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern moderat bis hoch sei. Studien, welche die Belastung mit NO_2 untersuchten, trugen am stärksten zu dieser Bewertung bei. Die Evidenz für einen Zusammenhang zwischen verkehrsbedingter Luftverschmutzung und jemals Asthma sowie aktivem Asthma wurde als moderat eingestuft. Jemals Asthma bezieht sich auf die Lebenszeitprävalenz von Asthma und

aktives Asthma bezieht sich auf die Prävalenz von Asthma in den letzten 12 Monaten.

Für die meisten der anderen untersuchten gesundheitlichen Endpunkte wie die Inzidenz von chronischer obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) und akuten Infektionen bei Erwachsenen, pfeifende Atmung, und die Verschlechterung von Asthma und COPD war das Vertrauen in einen Zusammenhang sehr niedrig oder niedrig, was teilweise an der geringen Anzahl aussagekräftiger Studien lag.

WIRKUNGEN AUF HERZ-/KREISLAUFKRAKHEITEN UND DIABETES

Die summierten Effektschätzer zeigen grösstenteils erhöhte Risiken und konsistente Zusammenhänge zwischen PM_{10} und ischämischen Herzkrankheiten: Das relative Risiko beträgt 1.14 (95% CI: 0.99–1.31) pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit Hinweisen auf eine Belastungs-Wirkungsfunktion mit monotoner Risikozunahme bei steigender Belastung. Die Studien weisen auch auf einen Zusammenhang mit EC und $\text{PM}_{2.5}$ hin; die Ergebnisse sind aber allgemein weniger konsistent. Für Diabetesprävalenz wird ein Zusammenhang mit NO_2 beobachtet mit einem Effektschätzer von 1.09 (1.02–1.17) pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gestützt wird dieser Zusammenhang von konsistent positiven aber weniger präzisen Effektschätzern für andere Schadstoffe. Die summierten Effektschätzer für EC, PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$

und der Inzidenz von Schlaganfällen sind weniger präzise, aber die Evidenz wird durch verschiedene qualitativ hochwertige Studien mit einer monotonen Belastungs-Wirkungsfunktion gestärkt. Studien, die nicht in die Metaanalysen einfließen, stützen einen Zusammenhang zwischen verkehrsbedingter Luftverschmutzung und ischämischen Herzkrankheiten, Diabetes und Schlaganfällen. Im Gegensatz dazu war die Zahl der Studien zu koronaren Ereignissen (Herzinfarkt, Herzstillstand) geringer und ermöglichten keine Metaanalyse mit einer Ausnahme für NO_2 . Hierfür zeigt sich ein erhöhtes Risiko mit weiten Vertrauensbereich. Da Erkrankungen des Herz-/Kreislaufsystems und Metabolismus

wahrscheinlich vom Verkehrslärm beeinflusst werden, untersuchten einige Studien mögliche Verzerrung oder Effektmodifikation durch Lärm. Die Studien zeigen nach Einbezug von Lärm überwiegend ähnliche und damit von Lärm unabhängige Resultate.

In der Gesamtbewertung kommt das Expertengremium zu dem Schluss, dass ein moderates Vertrauen in die Evidenz für einen Zusammenhang mit ischämischen Herzkrankheiten und Diabetes besteht; ein niedriges bis moderates Vertrauen in die Evidenz für einen Zusammenhang mit Schlaganfällen; und ein niedriges Vertrauen in einen Zusammenhang mit koronaren Ereignissen.

ZUSAMMENFASSUNG SEITENLEISTE

BEWERTUNG DES VERTRAUENS IN DAS VORHANDENSEIN EINES ZUSAMMENHANGS: BESCHREIBUNG DES GRADES DER EVIDENZ^a

Hoch	<p>Die Evidenz ist ausreichend für die Folgerung, dass die Aussagekraft der Studienlage für das Vorhandensein eines Zusammenhangs hoch ist, d. h. die Belastung stand in Zusammenhang mit dem untersuchten gesundheitlichen Endpunkt in Studien, in denen Zufall, Störfaktoren und andere Faktoren, welche zu einer Verzerrung der Resultate führen könnten, mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden konnten. Die Beurteilung basiert auf mehreren qualitativ hochwertigen Studien, die in verschiedenen Populationen und geografischen Gebieten konsistente Ergebnisse mit verschiedenen Belastungsindikatoren zeigten.</p> <p>Hohes Vertrauen, dass die Belastung mit dem gesundheitlichen Endpunkt zusammenhängt.</p>
Moderat	<p>Die Evidenz ist ausreichend für die Folgerung, dass ein Zusammenhang wahrscheinlich besteht. Das heisst die Belastung stand in Zusammenhang mit dem untersuchten gesundheitlichen Endpunkt in Studien, in denen Zufall, Störfaktoren und andere Faktoren, welche zu einer Verzerrung der Resultate führen könnten, ausgeschlossen werden konnten, aber dennoch insgesamt Unsicherheiten bestehen. Die Beurteilung basiert auf mehreren qualitativ hochwertigen Studien, die in verschiedenen Populationen und geografischen Gebieten überwiegend konsistente Ergebnisse mit verschiedenen Belastungsindikatoren zeigten.</p> <p>Moderates Vertrauen, dass die Belastung mit dem gesundheitlichen Endpunkt zusammenhängt.</p>
Niedrig	<p>Die Evidenz weist auf einen Zusammenhang hin ist aber dahingehend begrenzt, dass Zufall, Störfaktoren und andere Faktoren nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. Generell ist die Gesamtstudienlage entweder eher begrenzt mit nur wenigen qualitativ hochstehenden Studien, von denen mindestens eine einen Zusammenhang mit dem gesundheitlichen Endpunkt zeigt, oder die Studienlage ist umfangreich mit Studien unterschiedlicher Qualität und Hinweisen auf einen Zusammenhang aber nicht ganz konsistenten Ergebnissen.</p> <p>Niedriges Vertrauen, dass die Belastung mit dem gesundheitlichen Endpunkt zusammenhängt.</p>
Sehr niedrig	<p>Die Evidenz ist unzureichend, um zu beurteilen, ob ein Zusammenhang zwischen der Belastung und dem Endpunkt besteht. Die zur Verfügung stehenden Studien sind in ihrer Anzahl zu wenig oder von unzureichender Qualität. Die Ergebnisse sind nicht konsistent oder die statistische Aussagekraft (<i>statistical power</i>) reicht nicht, um das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein eines Zusammenhangs beurteilen zu können.</p> <p>Sehr niedriges Vertrauen, dass die Belastung mit der gesundheitlichen Zielgrösse zusammenhängt.</p>

^aDie Gesamteinschätzung des Vertrauens in einen Zusammenhang eines Endpunkts mit der langfristigen Verkehrsbelastung ist eine Kombination aus der narrativen Bewertung und der modifizierten OHAT Bewertung. Die Vertrauensgrade wurden nach U.S. EPA 2015 und OHAT 2019 formuliert.

STERBLICHKEIT

Die summierten Effektschätzer zeigen, dass NO₂, EC und PM_{2.5} mit der Gesamtsterblichkeit sowie der Sterblichkeit an Herz-/Kreislaufkrankheiten, ischämischen Herzkrankheiten, Atemwegserkrankungen und Lungenkrebs zusammenhängen. Die Effektschätzer reichen von 1.01 bis 1.07. Das Vertrauen in Zusammenhänge zwischen diesen Schadstoffen und der Sterblichkeit an Schlaganfall oder COPD war weniger stark, da weniger Studien für eine Bewertung zur Verfügung standen. Studien über Schadstoffe, die nicht in die Metaanalysen eingeschlossen wurden, und Studien zu indirekten Verkehrsindikatoren stützen die Zusammenhänge. Alle Studien zur Sterblichkeit waren Kohortenstudien, bei denen die Sterblichkeit durch die Verknüpfung mit Sterberegistern bestimmt wurde. Die meisten Studien stammten aus Nordamerika und Europa und einige aus Asien. Der überwiegende Teil der Studien schloss eine hohe Anzahl an Störfaktoren auf individueller und Quartiersebene wie Rauchen, Body-Mass-Index und sozioökonomischem Status ein. Das Risiko für Verzerrung der Ergebnisse wurde bei diesen Studien als gering oder moderat bewertet.

Das Vertrauen in die Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der langfristigen Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und der Sterblichkeit war hoch für die Gesamtsterblichkeit, und für die Sterblichkeit an Herz-/Kreislaufkrankheiten und ischämischen Herzkrankheiten. Das Vertrauen der Expertengruppe war moderat bis hoch für die lungenkrebsbedingte Sterblichkeit, moderat für die Sterblichkeit an Atemwegserkrankungen, niedrig bis moderat für die Sterblichkeit an einem Schlaganfall und niedrig für die COPD-bedingte Sterblichkeit.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse aus der systematischen Literaturrecherche, den Metaanalysen und der Beurteilung der Qualität der Studien und des Risikos für Verzerrung ergaben in der Gesamtsicht einen hohen oder moderaten bis hohen Grad an Vertrauen für einen Zusammenhang zwischen der langfristigen Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung und der Gesamtsterblichkeit, der Sterblichkeit an Herz-/Kreislaufkrankheiten, ischämischen Herzkrankheiten und Lungenkrebs, für die Entwicklung von Asthma bei Kindern und Erwachsenen, sowie für akute Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern. Für die anderen ausgewählten Endpunkte wurde das Vertrauen des Expertengremiums in die Evidenz als moderat, niedrig oder sehr niedrig bewertet.

Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen und die Belastung mit verkehrsbedingten Schadstoffen sind in den meisten Ländern mit hohem Einkommen über die letzten Jahrzehnte kontinuierlich gesunken. Die Erkenntnisse des Expertengremiums basieren überwiegend auf Studien in Ländern mit hohem

Einkommen, in denen die in den Studien bestehenden Belastungen generell höher waren als die aktuellen Belastungen. Diese in den Studien erfassten Belastungen sind jedoch vergleichbar oder sogar niedriger als aktuelle Belastungen in Ländern mit niedrigem Einkommen.

In Anbetracht der großen Anzahl an Menschen, die verkehrsbedingter Luftverschmutzung ausgesetzt sind, und der vorliegenden Evidenz kam das Expertengremium zu dem Schluss, dass die Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung ein wichtiges Anliegen der öffentlichen Gesundheit bleibt und erhöhte Aufmerksamkeit von der Öffentlichkeit sowie den politischen Entscheidungsträgern verdient.

DANK

Diese Übersetzung wurde durch das Schweizerische Bundesamt für Umwelt (BAFU) ermöglicht. Bei der Erarbeitung des dieser Zusammenfassung zugrundeliegenden Berichts durfte die lufthygienische Dokumentationsstelle LUDOK am Schweizerischen Tropen- und Public Health-Institut ihre Expertise zur aktuellen Studienliteratur ideal einbringen. Die Dienste von LUDOK wurden in einem separaten Mandat für das HEI für die Entwicklung der Suchstrategie, Studienauswahl und Datenextraktion in Anspruch genommen. Nach einer intensiven Prüfung verschiedener Datenquellen für die Literatursuche wurde ausserdem entschieden, dass die LUDOK-Datenbank parallel zur Pubmed-Datenbank durchsucht werden sollte, um eine optimale Nutzung der Ressourcen zu gewährleisten.

REFERENZEN

Beelen R, Hoek G, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, et al. 2015. Natural-cause mortality and long-term exposure to particle components: An analysis of 19 European cohorts within the multicenter ESCAPE project. *Environ Health Perspect*; doi:10.1289/ehp.1408095.

Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, et al. 2014. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet*; doi:10.1016/S0140-6736(13)62158-3.

Frey HC. 2018. Trends in onroad transportation energy and emissions. *J Air Waste Manag Assoc*; doi:10.1080/10962247.2018.1454357.

HEI (Health Effects Institute). 2010. *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*. Special Report 17. Boston, MA:Health Effects Institute.

HEI (Health Effects Institute). 2015. HEI Strategic Plan 2015–2020. Available: <https://www.healtheffects.org/about/strategic-plan> [accessed 14 June 2021].

HEI (Health Effects Institute). 2019. Protocol for a Systematic Review and Meta-Analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. Boston, MA:Health Effects Institute. Available: <https://www.healtheffects.org/system/files/TrafficReviewProtocol.pdf>.

Khreis H, Nieuwenhuijsen M, Zietsman J, Ramani T, eds. 2020. Traffic-Related Air Pollution. 1st ed. Waltham, MA:Elsevier.

OHAT (Office of Health Assessment and Translation). 2019. Handbook for Conducting a Literature-Based Health Assessment Using OHAT Approach for Systematic Review and Evidence Integration. Durham, NC:National Toxicology Program, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Health and Human Services.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2015. Preamble to the Integrated Science Assessments. EPA/600/R-15/067. Washington, DC:U.S. EPA.

WHO (World Health Organization). 2020. Risk of Bias Assessment Instrument for Systematic Reviews Informing WHO Global Air Quality Guidelines. WHO Regional Office for Europe. Geneva:World Health Organization.

WHO (World Health Organization). 2021. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva:World Health Organization.

PM ₁₀	Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von ≤10 µm
SGA	small for gestational age: Untergewichtige oder zu kleine Neugeborene, bei denen das Geburtsgewicht oder die Körperlänge bezogen auf das Reifealter im unteren Bereich der statistischen Normalverteilung liegt
UFPs	ultrafeine Partikel, Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von ≤100 nm
WHO	World Health Organization: Weltgesundheitsorganisation

ABKÜRZUNGEN

ALRI	acute lower respiratory infection: akute Entzündungen der unteren Atemwege
CI	confidence interval: Vertrauensbereich (der statistischen Effektschätzer)
COPD	chronic obstructive pulmonary disease: chronisch obstruktive Lungenerkrankung
EC	elemental carbon: elementarer Kohlenstoff, Russ
ESCAPE	European Study of Cohorts for Air Pollution Effects; wichtige europaweite Kohortenstudie
IHD	ischemic heart disease: ischämische Herzkrankheiten
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
OHAT	Office of Health Assessment and Translation
PM	particulate matter: Feinstaub
PM _{2.5}	Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von ≤2.5 µm

HEI BOARD, COMMITTEES, and STAFF

Board of Directors

Richard A. Meserve, Chair *Senior of Counsel, Covington & Burling LLP; President Emeritus, Carnegie Institution for Science; former Chair, U.S. Nuclear Regulatory Commission*

Enriqueta Bond *President Emerita, Burroughs Wellcome Fund*

Jo Ivey Boufford *President, International Society for Urban Health*

Homer Boushey *Emeritus Professor of Medicine, University of California–San Francisco*

Michael T. Clegg *Professor of Biological Sciences, University of California–Irvine*

Jared L. Cohon *President Emeritus and Professor, Civil and Environmental Engineering and Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University*

Stephen Corman *President, Corman Enterprises*

Martha J. Crawford *Operating Partner, Macquarie Asset Management*

Michael J. Klag *Dean Emeritus and Second Century Distinguished Professor, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health*

Alan I. Leshner *CEO Emeritus, American Association for the Advancement of Science*

Catherine L. Ross *Regents' Professor and Harry West Professor of City and Regional Planning and Civil and Environmental Engineering, and Director of the Center for Quality Growth and Regional Development, Georgia Institute of Technology*

Karen C. Seto *Frederick Hixon Professor of Geography and Urbanization Science, Yale School of the Environment*

Research Committee

David A. Savitz, Chair *Professor of Epidemiology, School of Public Health, and Professor of Obstetrics and Gynecology, Alpert Medical School, Brown University*

Jeffrey R. Brook *Assistant Professor, University of Toronto, Canada*

Amy H. Herring *Sara & Charles Ayres Professor of Statistical Science and Global Health, Duke University*

Barbara Hoffmann *Professor of Environmental Epidemiology, Institute of Occupational, Social, and Environmental Medicine, University of Düsseldorf, Germany*

Heather A. Holmes *Associate Professor, Department of Chemical Engineering, University of Utah*

Neil Pearce *Professor of Epidemiology and Biostatistics, London School of Hygiene and Tropical Medicine, United Kingdom*

Ana Rule *Assistant Professor and Director, Environmental Exposure Assessment Laboratories, Department of Environmental Health and Engineering, Johns Hopkins School of Public Health*

Ivan Rusyn *Professor, Department of Veterinary Integrative Biosciences, Texas A&M University*

Evangelia (Evi) Samoli *Associate Professor of Epidemiology and Medical Statistics, Department of Hygiene, Epidemiology and Medical Statistics, School of Medicine, National and Kapodistrian University of Athens, Greece*

Gregory Wellenius *Professor, Department of Environmental Health, Boston University School of Public Health*

Continued

HEI BOARD, COMMITTEES, and STAFF

Review Committee

Melissa Perry, Chair Professor and Chair, Department of Environmental and Occupational Health, George Washington University
Milken Institute School of Public Health

Sara D. Adar Associate Professor and Associate Chair, Department of Epidemiology, University of Michigan School of Public Health

Kiros Berhane Professor and Chair, Department of Biostatistics, Mailman School of Public Health, Columbia University

Michael Jerrett Professor and Chair, Department of Environmental Health Sciences, Fielding School of Public Health, University of California–Los Angeles

Frank Kelly Henry Battcock Chair of Environment and Health and Director of the Environmental Research Group, Imperial College
London School of Public Health, United Kingdom

Jana B. Milford Professor, Department of Mechanical Engineering and Environmental Engineering Program, University of Colorado–
Boulder

Jennifer L. Peel Professor of Epidemiology, Colorado School of Public Health and Department of Environmental and Radiological
Health Sciences, Colorado State University

Eric J. Tchetgen Tchetgen Luddy Family President's Distinguished Professor, Professor of Statistics and Data Science, The
Wharton School, University of Pennsylvania

Officers and Staff

Daniel S. Greenbaum President

Robert M. O'Keefe Vice President

Ellen K. Mantus Director of Science

Donna J. Vorhees Director of Energy Research

Annemoon M. van Erp Deputy Director of Science

Thomas J. Champoux Director of Science Communications

Jacqueline C. Rutledge Director of Finance and Administration

Jason Desmond Deputy Director of Finance and Administration

Emily Alden Corporate Secretary

Amy Andreini Communications Assistant

Palak Balyan Consulting Staff Scientist

Hanna Boogaard Consulting Principal Scientist

Sofia Chang-DePuy Digital Communications Manager

Aaron J. Cohen Consulting Principal Scientist

Dan Crouse Senior Scientist

Robert M. Davidson Staff Accountant

Philip J. DeMarco Compliance Manager

Kristin C. Eckles Senior Editorial Manager

Elise G. Elliott Staff Scientist

Hope Green Editorial Project Manager

Continued

HEI BOARD, COMMITTEES, and STAFF

Yi Lu *Staff Scientist*

Lissa McBurney *Senior Science Administrator*

Janet I. McGovern *Executive Assistant*

Martha Ondras *Research Fellow*

Pallavi Pant *Senior Scientist*

Allison P. Patton *Senior Scientist*

Quoc Pham *Science Administrative Assistant*

Anna S. Rosofsky *Senior Scientist*

Robert A. Shavers *Operations Manager*

Eva Tanner *Staff Scientist*



HEALTH EFFECTS INSTITUTE

75 Federal Street, Suite 1400

Boston, MA 02110, USA

+1-617-488-2300

www.healtheffects.org

SONDERBERICHT

Nr. 23

Juni 2022

Veröffentlichungsgeschichte: Die Zusammenfassung und der Sonderbericht 23 wurden im Juni 2022 auf www.healtheffects.org veröffentlicht.

Citation for Executive Summary:

HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. 2022. Executive Summary. Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. Special Report 23. Boston, MA:Health Effects Institute.

HEI-Gremium zu den Gesundheitsfolgen langfristiger Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung. 2022. Zusammenfassung: Systematische Übersicht und Metaanalyse ausgewählter Gesundheitsfolgen langfristiger Belastung mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung. Sonderbericht 23. Boston, MA:Health Effects Institute.

© 2022 Health Effects Institute, Boston, MA, USA. Progressive Publishing Services, York, PA, Compositor. Printed by Keys Innovative Solutions, an RR Donnelley Company, Greenville, SC. Library of Congress Catalog Number for the HEI Report Series: WA 754 R432.