



Auswirkungen von Umweltstressoren auf die kardiovaskuläre Gesundheit

Prof. Dr. Thomas Münzel

Dr. Marin Kuntic

Priv.-Doz. Dr. Paul Stamm

Prof. Dr. Andreas Daiber

Zentrum für Kardiologie

Universitätsmedizin Mainz, Johannes Gutenberg-Universität

tmuenzel@uni-mainz.de

Prof. Dr. Jos Lelieveld

Abteilung für Atmosphärenchemie, Max-Planck-Institut für Chemie

Inhalt

Lärm und kardiovaskuläres Risiko

Luftverschmutzung

Auswirkungen des Klimawandels

Maßnahmen zur Minderung der Gesundheitsschäden durch Transportlärm,

Luftverschmutzung und Klimaänderungen

Klinische Perspektive

Fazit für die Praxis

Lecture board

Prim. Univ.-Prof. Dr. Johann Auer

Innere Medizin I mit Kardiologie, interner Intensivmedizin und Akutgeriatrie/Remobilisation

Krankenhaus St. Josef Braunau

Prim. Priv.-Doz. Dr. Georg Delle Karth

Abteilung für Kardiologie

Klinik Floridsdorf Wien

Ärztlicher Fortbildungsanbieter

Ärztinnen- und Ärztekammer für Niederösterreich, Wipplingerstraße 2, 1010 Wien

Redaktionelle Bearbeitung

Dr. Claudio Polzer



Eine Literaturliste ist auf Anfrage bei der Redaktion erhältlich.

Der Originalartikel ist erschienen in Die Innere Medizin 4/2025.

© Springer Verlag GmbH 2026

Punkte sammeln SpringerMedizin.at

Das E-Learning ist Teil des Diplom-Fortbildungsprogramms (DFP) der Österreichischen Ärztekammer und ermöglicht qualitätsgesicherte Fortbildung durch das Studium von Fachartikeln nach den Richtlinien des DFPs.

DFP-Punkte online, per Post oder E-Mail

Multiple-Choice-Fragebogen bis 16. Jänner 2027 beim Springer Verlag eingereicht

Online

Für eingeloggte User steht der Beitrag und der Fragebogen unter www.springermedizin.at zur Verfügung.

Post

Prinz-Eugen-Straße 8-10
1040 Wien

E-Mail (eingescannter Test)

springer@springer.at

Approbation

Diese Fortbildung wird mit einem medizinischen DFP-Punkt approbiert.

Die Fortbildungspunkte werden rasch und unkompliziert mit Ihrer ÖÄK-Nummer elektronisch verbucht.

Fortbildungs-ID

1061961

Kontakt

Springer-Verlag GmbH

Springer Medizin

springer@springer.at

SpringerMedizin.at



Auswirkungen von Umweltstressoren auf die kardiovaskuläre Gesundheit

PROF. DR. THOMAS MÜNDEL
DR. MARIN KUNTIC
PRIV.-DOZ. DR. PAUL STAMM
PROF. DR. JOS LELIEVELD
PROF. DR. ANDREAS DAIBER

Kardiovaskuläre Erkrankungen („cardiovascular diseases“ [CVD]) machen neben chronischen Atemwegs- und Stoffwechselerkrankungen einen großen Teil der nichtübertragbaren Erkrankungen („non-communicable diseases“ [NCD]) aus. Dazu gehören

- akute und chronische koronare Herzkrankheit,
- Herzinsuffizienz,
- Arrhythmien,
- Schlaganfall und
- Bluthochdruck.

Laut der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind 70 % der jährlichen globalen Todesfälle (etwa 40 Mio. Menschen) auf NCD zurückzuführen, und dieser Anteil wird bis 2030 um 10 % steigen. Die Global-Burden-of-Disease(GBD)-Studie von 2019 zeigt, dass die Sterblichkeit durch CVD von 12,1 Mio. im Jahr 1990 auf 18,6 Mio. im Jahr 2019 gestiegen ist. Besonders betroffen sind Länder mit niedrigem und mittlerem Einkommen; hier sind 86 % der vorzeitigen Todesfälle durch NCD bedingt.

Die wirtschaftliche Last durch NCD ist enorm und könnte bis 2030 globale Kosten von 47 Billionen US-Dollar erreichen. Umweltfaktoren spielen eine zunehmend große Rolle bei NCD. So sind bis zu 25 % aller ischämischen Herzerkrankungen („ischemic heart diseases“ [IHD]) auf eine ungesunde Umwelt, insbesondere Luftverschmutzung, zurückzuführen. Dennoch wird der Einfluss von Umweltfaktoren oft vernachlässigt, wie das Fehlen von Umweltfaktoren im WHO NCD Global Action Plan von 2013 zeigt. Forschung, Prävention und Behandlung umweltbedingter NCD sind im Verhältnis zu deren Krankheitslast drastisch unterfinanziert.

Der deutlich zunehmende Einfluss der Umweltrisikofaktoren auf das Entstehen bzw. Akzelerieren eines bereits bestehenden atherosklerotischen Prozesses macht es notwendig, sich nicht

nur mit traditionellen Risikofaktoren wie Diabetes, Bluthochdruck, Rauchen und Hypercholesterinämie zu beschäftigen, sondern auch die lebenslangen Umwelteinflüsse auf biochemische Prozesse und Gesundheit, auch „Exposom“ genannt, zu berücksichtigen. Auch das „Envirome“-Konzept, das natürliche, soziale und persönliche Umwelteinflüsse integriert, rückt zunehmend in den Fokus. Die Bedeutung von Umweltfaktoren wird durch folgendes Zitat unterstrichen: „Die Genetik lädt die Waffe, aber die Umwelt drückt den Abzug.“ Ein klares Bekenntnis zur Wichtigkeit der Umwelt als kardiovaskulärer Risikofaktor!

Die vorliegende Übersicht fasst die Epidemiologie und Pathophysiologie von Umweltstressoren bei NCD zusammen und diskutiert Lösungsansätze, insbesondere im Hinblick auf CVD.

Lärm und kardiovaskuläres Risiko

Epidemiologische Belege für die negativen Auswirkungen von Lärm auf unsere Gesundheit

Lärmbelastung durch Verkehr stellt ein zunehmendes Gesundheitsproblem dar. Straßenverkehrslärm ist die Hauptquelle für gesundheitsschädlichen Lärm, und Daten der Europäischen Union (EU) zeigen, dass 113 Mio. Europäer (20 % der europäischen Gesamtbevölkerung) Lärmpegeln von über 55 dB(A) ausgesetzt sind, was die von der EU und WHO empfohlene Obergrenze für den ganztags gemittelten Lärmpegel (L_{den}) übersteigt. Diese Schätzung ist vermutlich zu niedrig, da die Umweltrichtlinie für Lärm nicht in allen städtischen Gebieten der EU angewendet wird.

Eine WHO-Expertengruppe stellte 2018 fest, dass es qualitativ hochwertige Beweise dafür gibt, dass Straßenlärm mit IHD in Verbindung steht. Eine Metaanalyse ergab, dass ein Anstieg des Straßenlärms um 10 dB das relative Risiko (RR) für IHD um 1,08 (95 %-Konfidenzintervall [95 %-KI] 1,01–1,15) erhöht, beginnend ab einem dauerhaften Lärmpegel von über 50 dB. Für Bahn- und Fluglärm wurden niedrigere Beweisqualitäten

festgestellt, jedoch deuten neuere Studien darauf hin, dass auch diese Lärmquellen das Risiko für Herzinfarkte erhöhen könnten, obwohl weitere Belege notwendig sind. Für andere kardiovaskuläre Auswirkungen außer IHD bewertete die WHO die Beweislage als gering bis moderat. Neuere Studien zeigen jedoch, dass Lärm auch auf Bluthochdruck, Herzinsuffizienz und Schlaganfälle einwirkt. Straßenlärm erhöht das Risiko für Bluthochdruck leicht mit einem RR von 1,05 (95 %-KI 1,02–1,08). Allerdings variieren die Ergebnisse der Studien erheblich, was weitere Untersuchungen erforderlich macht.

Lärmexposition wurde in einer Metaanalyse von 2021 mit einer leicht erhöhten kardiovaskulären Sterblichkeit in Verbindung gebracht. Eine weitere Studie zeigte, dass hoher Fluglärm nächtliche Herz-Kreislauf-Todesfälle auslösen kann. In einem kürzlich durchgeführten Umbrella-Review, einer Übersichtsarbeit über systematische Übersichten/Metaanalysen, kamen die Autoren zu dem Schluss, dass es Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm und IHD, Schlaganfall und Herzinsuffizienz gibt. Für alle kardiovaskulären Diagnosen zusammen genommen stieg das Risiko um 3,2 % (95 %-KI 1,1–5,2 %) pro 10 dB(A) mehr Straßenverkehrslärm (L_{den} ; Abb. 1).

Mechanistische Einblicke in die durch Lärm ausgelösten pathophysiologischen Prozesse

Lärm verursacht Stress, der zu einer Aktivierung des sympathischen Nervensystems führt, was die Freisetzung von Stresshormonen (beispielsweise Kortisol, Abb. 2a, b) und die Aktivierung des Renin-Angiotensin-Aldosteron-Systems nach sich zieht. Chronische Lärmbelastung kann daher zu kardiovaskulären Risikofaktoren wie Bluthochdruck, Blutzuckeranstieg und Blutgerinnungsstörungen führen. Langfristig kann dies Herzinfarkte, Herzinsuffizienz und Schlaganfälle verursachen. Studien zeigen, dass Straßen- und Fluglärm die Aktivität der Amygdala erhöht, was Entzündungen der Koronararterien und das Risiko schwerer kardiovaskulärer Ereignisse verstärken kann (Abb. 2c) und damit zu einer schlechteren kardiovaskulären Prognose führt. Interes-

santerweise werden durch eine stark ausgebildete Stressresilienz die kardiovaskulären Auswirkungen von Lärm- und anderen sozialen Stressoren deutlich reduziert und damit die Prognose verbessert.

Feldstudien haben gezeigt, dass Lärm die Gefäßfunktion, Schlafqualität und Entzündungsmarker negativ beeinflusst. In Studien an gesunden Probanden und Patienten mit koronaren Herzkrankheiten wurde festgestellt, dass die Durchblutungsfähigkeit durch eine Nacht Flugzeug- und Schienenlärm beeinträchtigt wird. Die Einnahme von Vitamin C verbesserte die Gefäßfunktion in beiden lärmexponierten Gruppen, was auf eine Rolle reaktiver Sauerstoffspezies bei diesem Phänomen hindeutet. Ein weiterer wichtiger Befund war, dass die Verschlechterung der Endothelfunktion durch den Lärm bei Patienten mit etablierter koronarer Herzkrankheit noch deutlich ausgeprägter war.

Kardiovaskuläre Auswirkungen von Verkehrslärm: mechanistische Einblicke aus Tierstudien

Tierexperimentelle Untersuchungen zeigten schon früh, dass chronische Lärmbelastung zu einem anhaltenden Blutdruckanstieg und zu einer Beeinträchtigung der Gefäßfunktion (Endothelfunktion) führt. In allen frühen Experimenten wurde jeweils „white noise“ als Lärmquelle eingesetzt. Neuere tierexperimentelle Studien unserer Arbeitsgruppe zeigen, dass Fluglärm die Endothelfunktion durch oxidativen Stress und Entzündungen schädigt und damit das Risiko für zukünftige CVD erhöht.

Weitere Befunde sind, dass Fluglärm zu einer Störung der zirkadianen Rhythmik führt, dass Nachtlärm und nicht Lärm am Tag zu negativen Effekten auf das kardiovaskuläre System führt und dass eine Konditionierung mit Fluglärm zu größeren Herzinfarkten führt. Zudem konnten wir zeigen, dass auch bei Langzeitlärmexposition die negativen Effekte unverändert nachweisbar waren und sich über einen Zeitraum von 4 Wochen nicht abschwächten.

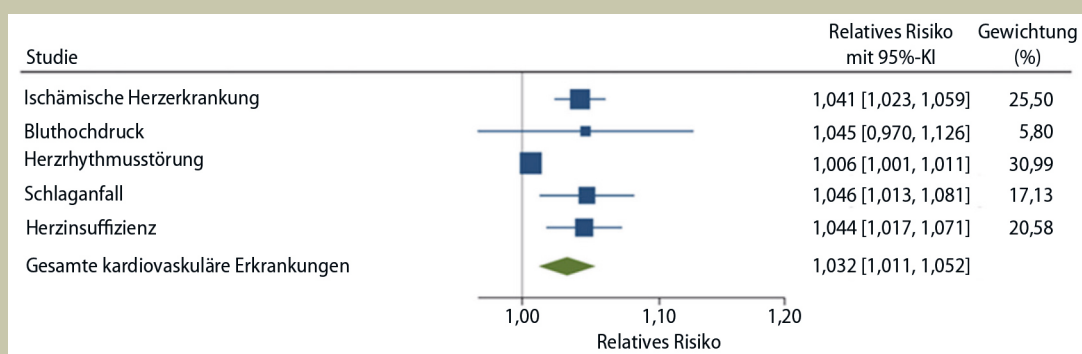
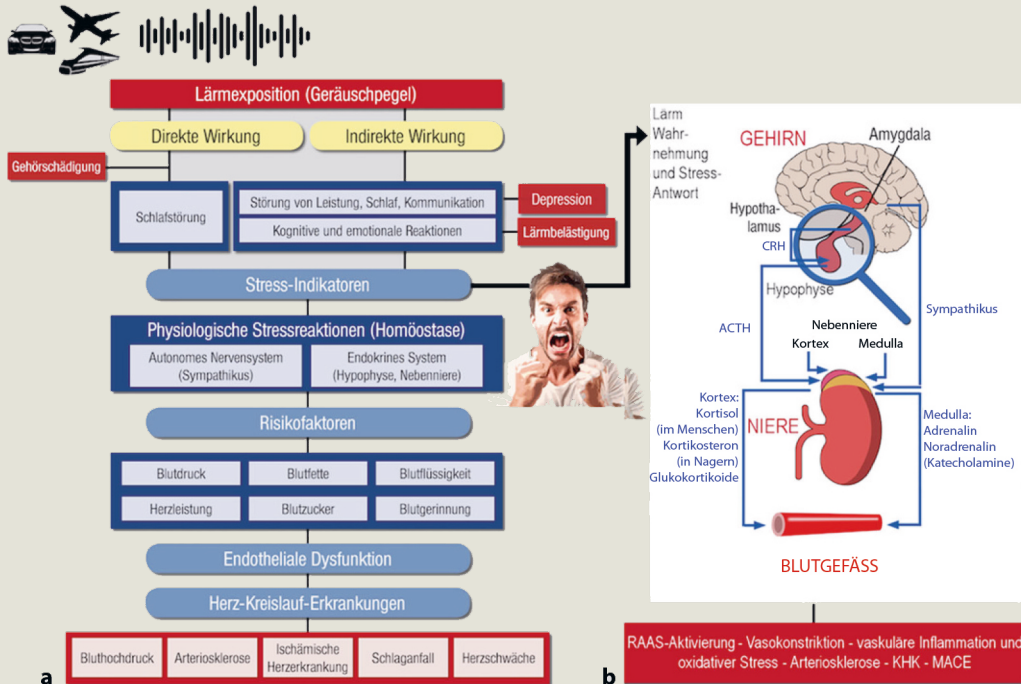


Abb. 1

Relative Risiken aus Metaanalysen einer Umbrella-Studie von 2023 zur Abschätzung des Zusammenhangs zwischen Straßenverkehrslärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. 95 %-KI 95 %-Konfidenzintervall. (Modifiziert nach Engelman N et al (2024); mit freundl. Genehmigung © European Topic Centre on Human Health and the Environment)

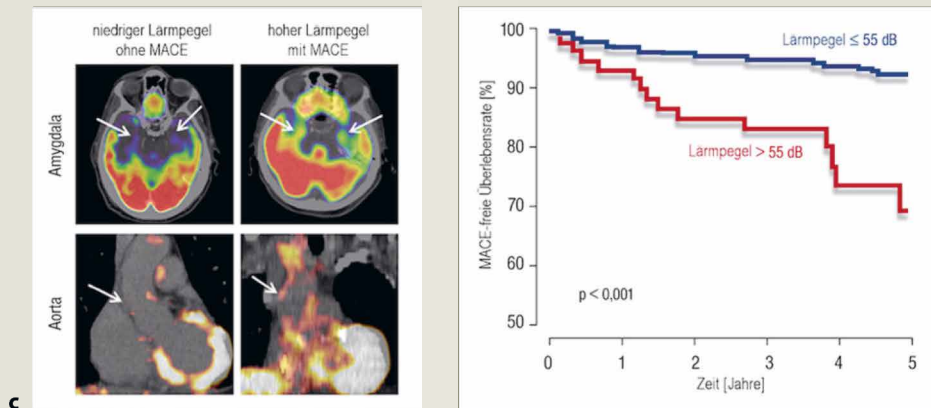
Das Lärm-Stress-Konzept



Nachweis im Menschen

Amygdalaaktivierung und Entzündung der Arterie (^{18}F -Fluorodeoxyglukose-Aufnahme, siehe Pfeile) in Probanden mit niedrigen oder hohen Lärmpegeln

Überlebensrate ohne schwerwiegende kardiovaskuläre Ereignisse in Abhängigkeit von den Lärmpegeln



Gefäßdurchmesser mittels FMD

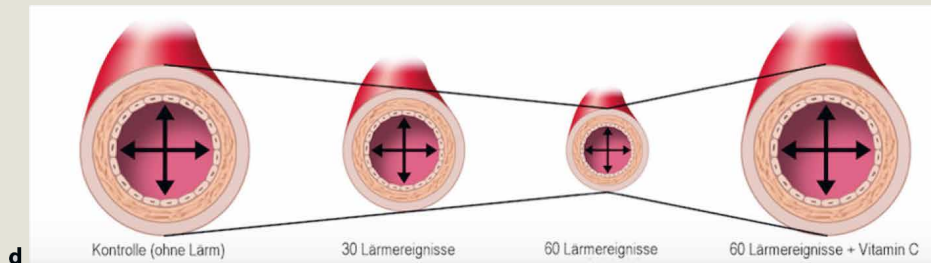


Abb. 2

a Lärmwirkungsmodell nach Babisch, angepasst nach Münzel et al. Dauerhafter sowie akuter Lärm führt zu einer verstärkten Ausbildung von Herz-Kreislauf-Risikofaktoren (Erhöhung des Blutdrucks, Anstieg der Blutfette und des Blutzuckers, Steigerung der Herzleistung, Erhöhung der Blutviskosität und Aktivierung der Blutgerinnung), ausgelöst durch psychische und physiologische Stressreaktionen. Langfristig führt dies wiederum zur klinischen Manifestation von Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Bluthochdruck, koronarer Herzkrankheit, Herzinsuffizienz, Herzrhythmusstörungen und Schlaganfall. (Modifiziert nach Münzel T et al 2014, mit freundl. Genehmigung © Oxford University Press).

b Die neuroendokrine Aktivierung des Gehirns durch Lärm über die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (CRH, ACTH, Kortisol) und den Sympathikus (Katecholamine wie Adrenalin und Noradrenalin) führt zur Aktivierung des RAAS. Durch Angiotensin II und Katecholamine kommt es zur Vasokonstriktion und zu oxidativem Stress im Gefäßsystem sowie im Zusammenspiel mit chronischer Kortisolfreisetzung zur Aktivierung von Immunzellen und Atherosklerose. (Modifiziert nach Münzel T et al 2021, mit freundl. Genehmigung © Springer Nature).

c Eine translationale Proof-of-concept-Studie am Menschen zeigt die schädlichen Schlüsselprozesse, die durch Lärm induziert werden, wie die Aktivierung des Gehirns (Amygdala; ^{18}F -Fluorodesoxyglukose-Positronenemissionstomographie) und die arterielle Entzündung (Computertomographie), die das Risiko von MACE erhöhen. (Modifiziert nach Münzel T et al 2020 und Osborne MT et al 2020, mit freundl. Genehmigung © Oxford University Press).

d Fluglärm für eine Nacht verengt die Gefäße durch endotheliale Dysfunktion (gemessen mittels FMD), was durch die Gabe des Antioxidans Vitamin C korrigiert werden konnte. Dies ist ein Anzeichen dafür, dass oxidativer Stress eine Rolle bei lärmbedingten Gefäßschäden spielt.

(Modifiziert nach Münzel T et al 2021, mit freundl. Genehmigung © Springer Nature). CRH adrenokortikotropes Hormon, FMD „flow-mediated dilation“ (flussabhängige Dilatation),

KHK koronare Herzkrankheit, MACE „major adverse cardiovascular event“ (schwerwiegendes kardiovaskuläres Ereignis), RAAS Renin-Angiotensin-Aldosteron-System

Eine Aktivierung der endothelialen Adenosinmonophosphat(AMP)-Kinase durch körperliches Training, Fasten oder Medikamente verhindert nahezu komplett die lärminduzierten kardiovaskulären Nebenwirkungen. Zudem verschärfte Fluglärm die metabolische Situation in drei verschiedenen Modellen von Diabetes mellitus.

Insgesamt legen diese Untersuchungsergebnisse nahe, dass Lärmbelastung zu einem erhöhten Risiko für eine zukünftige Entwicklung von CVD beiträgt. Insbesondere bei Patienten, die schon mit traditionellen Risikofaktoren wie Bluthochdruck, Diabetes und Hypercholesterinämie belastet sind, muss man mit einer Beschleunigung des atherosklerotischen Prozesses rechnen. Zudem sind Patienten, die bereits eine CVD haben, besonders empfindlich gegenüber Lärm.

Luftverschmutzung

Komponenten der Luftverschmutzung

Luftschadstoffe sind seit der Antike bekannt, aber ihre Quellen und Zusammensetzung haben sich mit der Industrialisierung und Urbanisierung verändert. Heute sind anthropogene, unter anderem durch Verbrennung entstandene, Luftschadstoffe ein großes Gesundheitsproblem. Luftverschmutzung ist das Ergebnis komplexer chemischer Reaktionen verschiedener Emissionen. Feinstaubpartikel werden nicht nur nach Größe oder Masse, sondern auch nach ihrer Reaktivität und Beladung mit toxischen Substanzen wie Schwermetallen oder bakteriellen Pyrogenen klassifiziert.

Städtische Schadstoffe bestehen zu einem großen Teil aus Gasen wie

- Ozon (O_3),
- Stickstoffdioxid (NO_2),
- flüchtigen organischen Verbindungen („volatile organic compounds“ [VOC], beispielsweise Benzol),
- Kohlenmonoxid (CO) und
- Schwefeldioxid (SO_2).

Chemische Reaktionen dieser Gase sowie direkte Emissionen führen zur Entstehung von Feinstaub, $PM_{2,5}$ (Durchmesser kleiner als $2,5 \mu m$). Ultrafeine Partikel (UFP, $< 0,1 \mu m$) sind besonders belastend für das Herz-Kreislauf-System, da sie in sehr hohen Konzentrationen vorkommen und eine relativ große Oberfläche haben, sodass schädliche Bestandteile effektiv mit biologischem Gewebe interagieren. Die UFP dringen tief in die Lunge ein und können direkt in den Blutkreislauf gelangen. Klimaveränderungen beeinflussen die Luftverschmutzung erheblich, indem sie bei heißem Wetter und hoher ultravioletter Strahlung reaktive Schadstoffe erzeugen, was wiederum die kardiovaskuläre Gesundheit beeinträchtigen kann.

Luftverschmutzung, globale Krankheitslast und Sterblichkeitsmodelle

Luftverschmutzung ist einer der Hauptrisikofaktoren für die Gesundheit und trägt erheblich zur Morbidität und Mortalität bei. Die GBD-Studie hat gasförmige und partikuläre Schadstoffe als bedeutende Risikofaktoren für Infektionen der Atemwege, die chronisch-obstruktive Lungenerkrankung, Lungenkrebs und CVD wie Herzinfarkte und Schlaganfälle identifiziert. Große Bedeutung besitzen Studien, die zeigen, dass auch bei Konzentrationen unterhalb der derzeitigen europäischen Grenzwerte für Feinstaub ($PM_{2,5}$, PM_{10}) enge Assoziationen mit Gesundheitsrisiken bestehen.

Erkrankungen durch Luftverschmutzung verursachen weltweit mehr Todesfälle als Human-immunodeficiency-virus(HIV)-Infektionen/„acquired immunodeficiency syndrome“ (AIDS), Tuberkulose und Malaria zusammen und bedingen jedes Jahr enorme wirtschaftliche Verluste.

Eine längerfristige Exposition gegenüber $PM_{2,5}$ kann oxidativen Stress und Entzündungsreaktionen in den Atemwegen hervorrufen, was zu Atemwegserkrankungen und CVD führt. Eine wichtige Rolle spielt Ozon (O_3), das durch oxidativen Stress Atemwegs- und Kreislauferkrankungen auslöst. Die globale Exposition gegenüber $PM_{2,5}$ und O_3 kann mit satelliten- und bodengestützten Messungen geschätzt werden. Neue Berechnungen der Arbeitsgruppe von Jos Lelieveld ergaben eine Übersterblichkeit von 8,3 Mio./Jahr, 400.000 aufgrund von Ozon und 7,9 Mio. aufgrund von $PM_{2,5}$.

Diese Berechnungen stimmen mit den neuesten Zahlen der GBD-Studie nahezu überein; hier wird eine Übersterblichkeit von 8,1 Mio. pro Jahr aufgrund von Feinstaubpartikeln mit Durchmesser $< 2,5 \mu m$ berichtet. Damit belegt Luftverschmutzung als Risikofaktor für Tod bereits den zweiten Platz und wird nur vom Risikofaktor arterielle Hypertonie übertroffen (Abb. 3).

Epidemiologie: Luftverschmutzung und kardiovaskuläre Erkrankungen

Erhöhte Luftverschmutzungswerte, insbesondere von PM_{10} und $PM_{2,5}$, sind mit einem höheren Risiko für kardiometabolische Erkrankungen assoziiert. Eine höhere Inzidenz der koronaren Herzkrankheit wurde bei einer Zunahme der $PM_{2,5}$ -Konzentration um $10 \mu g/m^3$ festgestellt, wie in der Women's Health Initiative und der ESCAPE-Studie gezeigt.

Eine Metaanalyse ergab, dass $PM_{2,5}$ und Stickstoffdioxid (NO_2) mit einer höheren Inzidenz von Herzinfarkten verbunden sind. Insbesondere Patienten mit bereits diagnostizierter koronarer Herzkrankheit sind bei kurzfristiger Exposition gegenüber $PM_{2,5}$ einem höheren Risiko ausgesetzt.

Herzinsuffizienz ist ein bedeutendes Gesundheitsproblem in alternden Gesellschaften. Eine Metaanalyse von 35 Studien zeigte,

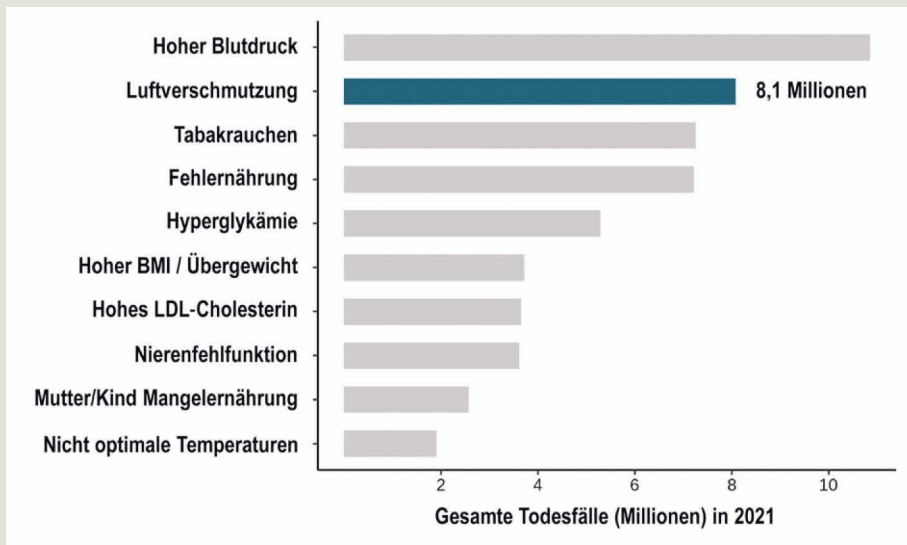


Abb. 3

Weltweite Rangliste der Risikofaktoren nach Zahl der Todesfälle. BMI Body-Mass-Index, LDL Low-density-Lipoprotein. (Modifiziert nach Institute HE 2024, mit freundl. Genehmigung © Health Effects Institute)

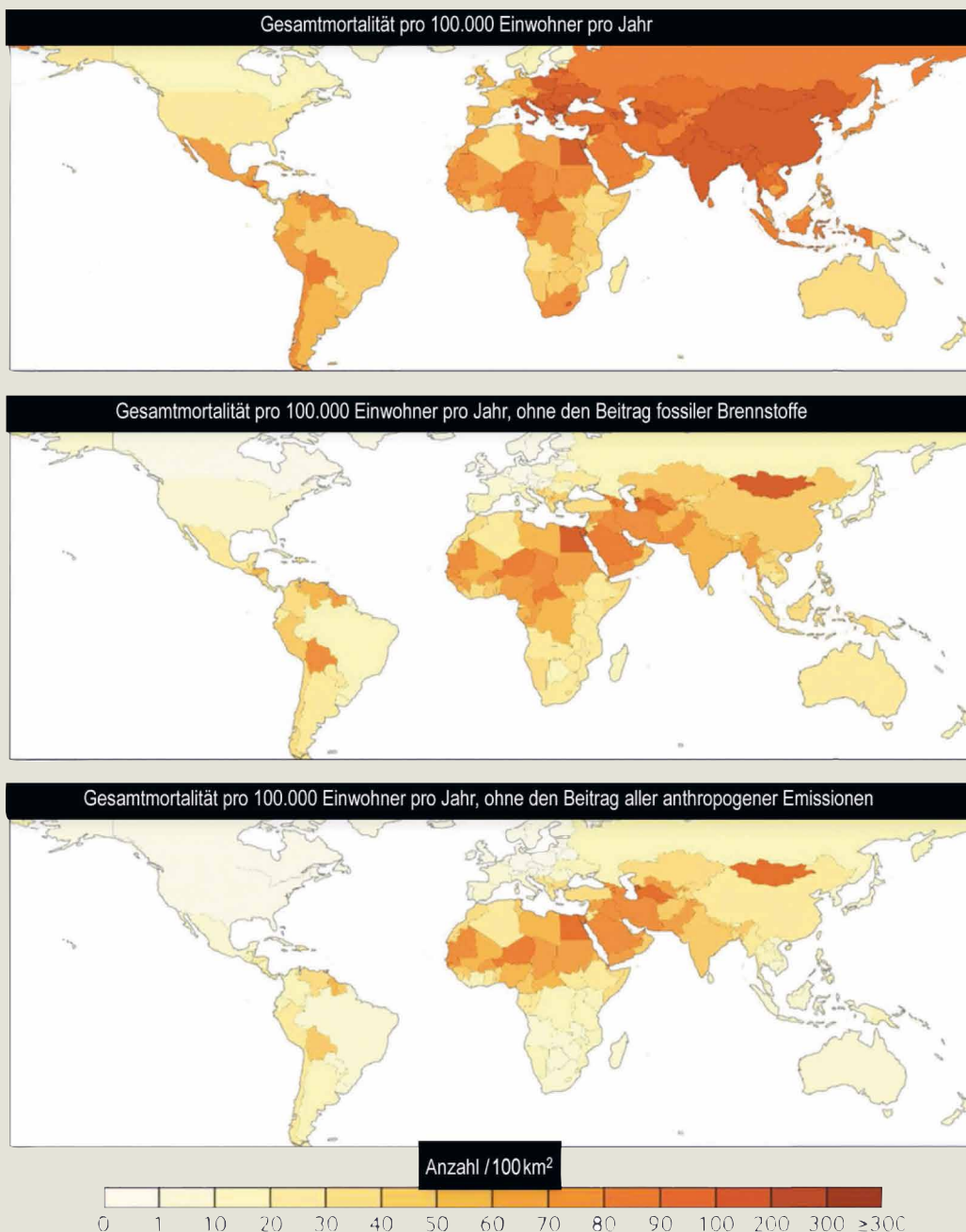


Abb. 4

Oben: Darstellung aller Todesursachen pro 100.000 Einwohner und Jahr im Landesdurchschnitt bedingt durch Feinstaub (PM_{2,5}) und Ozon (O₃);
Mitte: Darstellung der Gesamtmortalität, nachdem die Emissionen fossiler Brennstoffe herausgerechnet wurden.
Unten: Darstellung der Gesamtmortalität, nachdem alle anthropogenen Emissionen herausgerechnet wurden.
Die Abbildung zeigt die jährlichen Todesfälle aller Ursachen aufgrund von Feinstaub (PM_{2,5}) und Ozon (O₃) im Jahr 2019. Einheit: Anzahl pro Fläche von 10 km × 10 km. PM_{2,5} Durchmesser kleiner als 2,5 µm.
© J. Lelieveld et al. 2023, mit freundl. Genehmigung von BMJ Publishing Group Ltd)

dass kurzfristige Zunahmen von reaktiven Gasen (PM₁₀ und PM_{2,5}) mit einer höheren Inzidenz von Krankenhausaufenthalten und Todesfällen durch Herzinsuffizienz verbunden sind. Eine langfristige Exposition gegenüber Luftverschmutzung erhöht ebenfalls das Risiko für Herzinsuffizienz.

Pathophysiologie luftverschmutzungsinduzierter kardiovaskulärer Erkrankungen

An den kardiovaskulären Auswirkungen von Feinstaub (PM) sind verschiedene Mechanismen beteiligt, darunter

- Entzündung,
- oxidativer Stress,
- Veränderungen des autonomen Nervensystems,
- endotheliale Dysfunktion,
- arterielle Steifigkeit,
- erhöhter Blutdruck,
- Herzrhythmusstörungen,
- Prokoagulabilität und
- gestörte Fibrinolyse.

Studien mit pharmakologischen Inhibitoren betonen insbesondere den oxidativen Stress als Schlüsselfaktor. Neu ermittelte Mechanismen umfassen

- die Freisetzung von FOXO-Transkriptionsfaktoren,
- Veränderungen des Darmmikrobioms, die zu Entzündungen führen,
- Veränderungen in Stammzellpopulationen sowie
- zirkulierende Mikro-RNAs.

Größe und Zusammensetzung der Feinstaubpartikel bestimmen maßgeblich ihre biologische Wirkung. Kleinere Partikel, insbesondere UFP, besitzen eine größere reaktive Oberfläche, die z. B. eine höhere Bildungsrate reaktiver Sauerstoffspezies begünstigt, und aufgrund ihrer geringen Partikelgröße wird eine tiefere Penetration in die Alveolen der Lunge und eine Translokation in den Blutkreislauf ermöglicht. Diese Partikel können sich in Gefäßregionen ansammeln und so potenziell CVD verschärfen. Verbrennungsprozesse sind eine bedeutende Quelle von UFP, die aufgrund ihrer hohen Konzentration und Zusammensetzung mit organische Substanzen, Ruß und Metallen ein erhebliches Risiko für die kardiovaskuläre Gesundheit darstellen.

Auswirkungen des Klimawandels

Mit der Zunahme von Waldbränden, Vulkanausbrüchen und Sandstürmen wird auch die Temperatur steigen, was Hitzewellen weiter verschärft und den Klimawandel durch Treibhausgase verstärkt. Der durch Waldbrände freigesetzte Rauch besteht größtenteils aus Feinstaub, der im Vergleich zu städtischem Fein-

staub aufgrund kleinerer Partikelgrößen und kontaminierender oxidativer und entzündungsfördernder Stoffe stärkere gesundheitliche Auswirkungen auf die Sterblichkeit hat.

Der Gesundheitssektor selber trägt signifikant zu den globalen CO₂-Emissionen bei. Interessanterweise macht das Gesundheitswesen in den größten Volkswirtschaften der Welt etwa 5 % aller CO₂-Emissionen aus und ist somit vergleichbar mit dem Lebensmittelsektor. Die Lancet-Kommission für Gesundheit und Klimawandel empfiehlt, die Treibhausgasemissionen des Gesundheitssektors als Indikator bei der Bewertung von Gesundheit und Klima zu berücksichtigen.

Studien deuten darauf hin, dass extreme Temperaturen – sowohl Hitzewellen als auch Kälteperioden (auch nichtoptimale Temperaturen [NOT] genannt) – zu einer erhöhten kardiovaskulären Sterblichkeit und Morbidität führen. Es gibt Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und akutem Myokardinfarkt. Viele Studien zeigten einen signifikanten Effekt von Kälte auf das Auftreten von Myokardinfarkten, während in anderen Studien ein höheres Risiko durch Hitzeexposition beobachtet wurde. Die Mechanismen, durch die hohe Temperaturen kardiovaskuläre Ereignisse auslösen, umfassen:

- Erhöhte Blutzirkulation an der Oberfläche und Schwitzen, was zu höherer Herzbelastung, Blutviskosität und höheren Interleukin-6-Werten führt
- Wärmere Temperaturen stören den Schlaf, was das Risiko für CVD erhöht.
- Hohe Temperaturen verringern die körperliche Aktivität, was wiederum das kardiovaskuläre Risiko erhöht.
- Nicht angepasste kardiovaskuläre Medikation bei Patienten mit arterieller Hypertonie, Herzinsuffizienz und IHD (Diuretika, Betablocker, Antihypertensiva).

Zusammenfassend gibt es zunehmend Hinweise darauf, dass steigende Temperaturen, ausgelöst durch Waldbrände und Treibhausgasemissionen, in Verbindung mit städtischen „Hitzeeinseln“ das Risiko für hitzebedingte Myokardinfarkte erhöhen. Dieses Risiko wird durch hohe PM_{2,5}-Konzentrationen weiter erhöht. Ähnlich wie Luftverschmutzung sollten auch erhöhte Temperaturen bzw. Hitzewellen als Umweltrisikofaktoren für das akute Koronarsyndrom und Herzinsuffizienz im Kontext der globalen Erwärmung angesehen werden.

Maßnahmen zur Minderung der Gesundheitsschäden durch Transportlärm, Luftverschmutzung und Klimaänderungen

Gesellschaftliche und politische Maßnahmen zur Lärminderung

In urbanisierten und industrialisierten Gesellschaften sind mehr als 30 % der Europäer Lärmpegeln von über 55 dB(A) L_{den} in



© brizmaker/iStock

Wohngebieten ausgesetzt, was zu einer erhöhten CVD-Inzidenz und CVD-bedingten Mortalität führt. Effektive Strategien zur Lärminderung sind daher dringend erforderlich. Eine bereits existierende und von der Europäischen Kommission unterstützte Maßnahme ist die Lärmisolation von Gebäuden, was jedoch kostspielig ist, insbesondere bei nachträglichen Maßnahmen. Neue Technologien, wie leisere Motoren und Reifen sowie Flüsterbremsen für Züge, können den Verkehrslärm reduzieren. Straßenlärm lässt sich zusätzlich durch Tempolimits, lärmindernde Fahrbahnbeläge und Lärmschutzwände verringern. Angesichts des zunehmenden Verkehrsaufkommens sind jedoch verbesserte Verkehrsleitsysteme von entscheidender Bedeutung.

Auch der Fluglärm hat zugenommen, was zu Nachtflugverböten führte, da nächtlicher Lärm erhebliche gesundheitliche Schäden verursacht. Weitere Maßnahmen wie neue Triebwerkstechnologien, verlängerte Nachtflugverbote, Zonierungen um Flughäfen und verbesserte Flugprotokolle könnten die Lärmbelastung weiter reduzieren. Zusammenfassend sind technologische Fortschritte und gesetzliche Regelungen entscheidend, um die Gesundheit der Bevölkerung vor Lärm zu schützen.

Reduktion der gesundheitlichen Folgen von Luftverschmutzung

Persönliche Maßnahmen zur Minderung der Belastung

Bisher konnten keine personalisierten Interventionen nachweislich die Belastung durch Luftverschmutzung reduzieren und die kardiovaskuläre Gesundheit verbessern, jedoch gibt es einige vielversprechende Strategien. Tragbare Luftreiniger und hocheffiziente Filter für Klimatechnik („heating, ventilation and air conditioning“ [HVAC]) können die Luftverschmutzung in Innenräumen verringern, obwohl die Belege für ihre gesundheitlichen

Vorteile begrenzt sind. N95-Atemschutzmasken können bei hoher Luftverschmutzung den Blutdruck senken, allerdings sind ihre kardiovaskulären Vorteile nicht eindeutig belegt. Chirurgische und andere Masken bieten je nach Modell variablen Schutz, aber ihre gesundheitlichen Auswirkungen sind noch unklar.

Autoluftfilter und Klimaanlage können während der Fahrt die Belastung durch Feinstaub (PM_{2,5}) verringern, was besonders anfälligen Personen zugutekommen könnte. Einfache Strategien, wie das Vermeiden von Aufenthalten im Freien oder das Schließen von Fenstern bei hoher Luftverschmutzung, tragen ebenfalls zur Verringerung der Exposition bei.

Gesellschaftliche und politische Maßnahmen zur Minderung der Belastung

Die Senkung der Emissionsgrenzwerte ist der effektivste Weg, um luftverschmutzungsbedingte CVD zu reduzieren. Die EU erlaubt derzeit PM_{2,5}-Grenzwerte von bis zu 25 µg/m³, was deutlich über der WHO-Empfehlung von 5 µg/m³ liegt. Im Vergleich haben andere Länder wie die USA und Kanada strengere Grenzwerte. Europa will seine Limits bis 2030 auf 10 µg/m³ reduzieren. Allein der komplette Ausstieg aus fossilen Brennstoffen, sprich Öl, Gas und Kohle, kann pro Jahr 5,1 Mio. Menschenleben retten (Abb. 4).

Reduktion der Folgen von Klimaänderungen

Menschliche Aktivitäten haben zu einer globalen Erwärmung um 1,0 °C über dem vorindustriellen Niveau geführt, mit potenziellen Anstiegen um insgesamt 2,0–2,5 °C zwischen 2030–2052, falls die Emissionen nicht reduziert werden. Im Jahr 2018 hatten klimabedingte Katastrophen Auswirkungen auf bis zu 70 Mio. Menschen und verursachten wirtschaftliche Verluste in Höhe von 131,7 Mrd. Dollar. Minderungsstrategien konzentrieren

sich auf die Reduktion von Emissionen fossiler Brennstoffe, den Einsatz von Technologien zur Kohlenstoffbindung und die Erforschung von Geoengineering-Methoden zur Stabilisierung der globalen Temperaturen.

Kardiologen können zur Emissionsreduktion beitragen, indem sie umweltfreundliche Diagnoseverfahren bevorzugen, da Studien zeigen, dass Ultraschall im Vergleich zu tomographischen Verfahren wie der Magnetresonanztomographie einen deutlich geringeren ökologischen Fußabdruck hat.

Klinische Perspektive

Der Bericht der Lancet-Kommission von 2022 hebt die gravierenden Auswirkungen von Umweltrisikofaktoren auf die globale Gesundheit hervor. Jährlich sind etwa 10–11 Mio. Todesfälle – einer von sechs weltweit – allein auf die chemische Verschmutzung zurückzuführen (der Großteil davon auf Luftverschmutzung), was die Lebenserwartung um 2,9 Jahre verkürzt. Luftverschmutzung durch PM_{2,5} ist damit nach der Hypertonie der zweitwichtigste Risikofaktor für den Tod. Diese gesundheitlichen Folgen sind vergleichbar mit den Auswirkungen des Rauchens und übertreffen die kombinierten Folgen von Kriegen, Terrorismus und Erkrankungen wie Malaria und HIV-Infektion. CVD, die durch Verschmutzung verstärkt werden, tragen wesentlich zu diesem Problem bei.

Klimawandel, Transportlärm und die Umweltverschmutzung sind inzwischen kritische Gesundheitsprobleme und beeinflussen die Herz-Kreislauf-Gesundheit direkt durch extreme Stressreaktionen, Temperaturen und Luftverschmutzung, einschließlich Feinstaub und schädlicher Gase. Waldbrände, die durch den Klimawandel verstärkt werden, verschlechtern die Luftqualität weiter und beeinträchtigen substantiell die Herz-Kreislauf-Gesundheit auch in weit entfernten Regionen.

Dringend erforderlich sind globale Maßnahmen, dies schließt individuelle Verhaltensänderungen, den Übergang zu sauberer Energie und eine starke Umweltpolitik ein. Die gleichzeitige Bekämpfung des Klimawandels und der Lärm- und Umweltverschmutzung kann Vorteile für alle Bereiche bringen. Gesundheitsfachkräfte, insbesondere Kardiologen, spielen in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Aufklärung und Befürwortung notwendiger Veränderungen zum Schutz der öffentlichen Gesundheit.

Prof. Dr. Thomas Münzel
Dr. Marin Kuntic
Priv.-Doz. Dr. Paul Stamm
Prof. Dr. Andreas Daiber
Zentrum für Kardiologie
Universitätsmedizin Mainz, Johannes Gutenberg-Universität
tmuenzel@uni-mainz.de

Prof. Dr. Jos Lelieveld
Abteilung für Atmosphärenchemie, Max-Planck-Institut für Chemie

Fragebogen

Im Rahmen des Diplom-Fortbildungsprogramms ist es möglich, durch das E-Learning Punkte zu erwerben. Nach der Lektüre des Artikels beantworten Sie bitte die nebenstehenden Fragen. Eine Frage gilt dann als richtig beantwortet, wenn alle möglichen richtigen Antworten angekreuzt sind. Bei positiver Bewertung (66 Prozent der Fragen) wird Ihnen ein medizinischer DFP-Punkt zuerkannt.

Fortbildungs-ID

1061961

Einsendeschluss

16. Jänner 2027

E-Mail

(eingescannter Test) springer@springer.at

Online

www.springermedizin.at oder

unter E-Learning auf der Website www.meindfp.at



Fazit für die Praxis

- Klimawandel, Verkehrslärm und die Umweltverschmutzung sind kritische Gesundheitsprobleme und beeinflussen die Herz-Kreislauf-Gesundheit direkt. Sie tragen zur Morbidität und Mortalität bei.
- Umwelteinflüsse auf die Gesundheit finden in Forschung, Prävention und Behandlung nicht die ihnen gebührende Beachtung.
- Im Rahmen effektiver Strategien zur Lärminderung sind technologische Fortschritte und gesetzliche Regelungen entscheidend.
- Der Einsatz von Filtertechnik und die Verwendung von Atemschutzmasken sind mögliche Maßnahmen bei Luftverschmutzung. Daten zu gesundheitlichen Effekten sind allerdings nur begrenzt verfügbar. Die Feinstaubgrenzwerte müssen gesenkt und der Ausstieg aus fossilen Brennstoffen weiter vorangetrieben werden.
- Strategien gegen den Klimawandel konzentrieren sich auf die Reduktion von Emissionen fossiler Brennstoffe, den Einsatz von Technologien zur Kohlenstoffbindung und die Erforschung von Geoengineering-Methoden zur Stabilisierung der globalen Temperaturen.
- Ärzte können zur Emissionsreduktion beitragen, indem sie umweltfreundliche Diagnoseverfahren bevorzugen.

Fragebogen

AUSWIRKUNGEN VON UMWELTSTRESSOREN AUF DIE KARDIOVASKULÄRE GESUNDHEIT

Bitte Zutreffendes ankreuzen. Mehrfach-Antworten möglich.

1

Welche epidemiologischen Aussagen zu kardiovaskulären Erkrankungen treffen zu? (2 Richtige)

- ☐ (a) Kardiovaskuläre Erkrankungen (CVD) zählen zu den nichtübertragbaren Erkrankungen, die für rund 70 % der jährlichen globalen Todesfälle (etwa 40 Mio. Menschen) verantwortlich sind.
- ☐ (b) Besonders betroffen sind Länder mit hohem Einkommen, wo über 80 % der vorzeitigen Todesfälle durch nichtübertragbare Erkrankungen bedingt sind.
- ☐ (c) Die Sterblichkeit durch CVD ist von 12,1 Mio. im Jahr 1990 auf 18,6 Mio. im Jahr 2019 gestiegen.
- ☐ (d) Bis zu 10 % aller ischämischen Herzerkrankungen sind auf eine ungesunde Umwelt zurückzuführen.

2

Lärm und kardiovaskuläres Risiko: Welche Aussagen treffen zu? (3 Richtige)

- ☐ (a) 20 % der europäischen Gesamtbevölkerung (113 Mio. Menschen) sind Lärmpegeln ausgesetzt, die die von EU und WHO empfohlene Obergrenze für den ganztags gemittelten Lärmpegel übersteigen.
- ☐ (b) Durch chronische Lärmbelastung verursachter Stress führt zu einer Aktivierung des sympathischen Nervensystems, Freisetzung von Stresshormonen (z.B. Kortisol) und Aktivierung des Renin-Angiotensin-Aldosteron-Systems.
- ☐ (c) Chronische Lärmbelastung erhöht vor allem das Risiko für Herzrhythmusstörungen und weniger stark für Bluthochdruck, ischämische Herzerkrankungen oder Herzinsuffizienz.
- ☐ (d) Pro 10 dB(A) mehr Straßenverkehrslärm steigt das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen um 3,2 %.

3

Luftverschmutzung und kardiovaskuläres Risiko – TEIL I: Welche Aussage trifft NICHT zu? (1 Richtige)

- ☐ (a) Die wichtigsten Gase städtischer Schadstoffe sind Ozon (O_3), Stickstoffdioxid (NO_2), flüchtige organische Verbindungen, Kohlenmonoxid (CO) und Schwefeldioxid (SO_2).
- ☐ (b) Von Feinstaub ($PM_{2,5}$) spricht man bei einer Partikelgröße kleiner als $2,5 \mu m$, von Ultrafeinen Partikeln (UFP) bei einer Größe $< 0,1 \mu m$.
- ☐ (c) UFP sind besonders belastend für das Herz-Kreislauf-System, da sie in sehr hohen Konzentrationen vorkommen und tief in die Lunge und bis in den Blutkreislauf eindringen können.
- ☐ (d) Nach arterieller Hypertonie, Tabakrauchen und Fehlernährung belegt Luftverschmutzung den vierten Platz der weltweit wichtigsten Risikofaktoren für Tod.

4

Luftverschmutzung und kardiovaskuläres Risiko – TEIL II: Welche Aussagen treffen zu? (3 Richtige)

- ☐ (a) Schadstoffe in der Luft sind bedeutende Risikofaktoren für Infektionen der Atemwege, chronisch-obstruktive Lungenerkrankung, Lungenkrebs und CVD (z.B. Herzinfarkte und Schlaganfälle).
- ☐ (b) Patienten mit bereits diagnostizierter koronarer Herzkrankheit sind bei kurzfristiger Exposition gegenüber $PM_{2,5}$ einem höheren Risiko ausgesetzt.
- ☐ (c) Ein Schlüsselfaktor bei den gesundheitsschädigenden Auswirkungen von Luftverschmutzung ist oxidativer Stress.
- ☐ (d) Aufgrund ihrer größeren reaktiven Oberfläche begünstigen Feinstaubpartikel ($PM_{2,5}$) eine höhere Bildungsrate reaktiver Sauerstoffspezies als UFP.

5

Welche Aussagen zu gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels treffen zu? (2 Richtige)

- ☐ (a) Feinstaub im Rauch von Waldbränden hat stärkere gesundheitliche Auswirkungen auf die Sterblichkeit als städtischer Feinstaub.
- ☐ (b) Studien zeigen ein höheres Risiko für Myokardinfarkte durch Hitzeexposition.
- ☐ (c) Ein der Hitzeexposition vergleichbarer signifikanter Effekt von Kälte auf das Auftreten von Myokardinfarkten besteht nicht.
- ☐ (d) In den größten Volkswirtschaften der Welt macht das Gesundheitswesen etwa 1 % aller CO_2 -Emissionen aus und damit deutlich weniger als beispielsweise der Lebensmittelsektor.

6

Welche Aussagen zu politischen Maßnahmen zu Senkung der Luftverschmutzung treffen zu? (2 Richtige)

- ☐ (a) Die EU erlaubt derzeit $PM_{2,5}$ -Grenzwerte deutlich über der WHO-Empfehlung von $5 \mu g/m^3$.
- ☐ (b) Die $PM_{2,5}$ -Grenzwerte in der EU entsprechen jenen der WHO-Empfehlung von $10 \mu g/m^3$.
- ☐ (c) In anderen Ländern wie den USA und Kanada gelten strengere Grenzwerte als in Europa.
- ☐ (d) Der komplette Ausstieg aus fossilen Brennstoffen könnte pro Jahr 1 Mio. Menschenleben retten.

Fortbildungs-ID
1061961

Bitte leserlich ausfüllen und per E-Mail an springer@springer.at senden oder online ausfüllen auf www.springermedizin.at oder www.meindfp.at.

Name _____
Adresse _____
Ort/PLZ _____
Telefon _____

ÖÄK-Nummer: _ _ _ _ _

☐ Frau ☐ Herr

☐ Ich besitze ein gültiges ÖÄK-Diplom

Alter ☐ < 30 ☐ 31 – 40 ☐ 41 – 50 ☐ 51 – 60 ☐ > 60