

# UMWELTMEDIZIN · HYGIENE · ARBEITSMEDIZIN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH SCIENCES

Herausgeber: Thomas Eikmann · Caroline Herr · Dennis Nowak · Wolfgang Panter · Jörg Steinmann

## EDITORIAL

SARS-CoV-2 – mittlerweile ein fester Bestandteil in unserem Leben

## INHALT

Handlungsorientiertes Wissen zum Umgang mit SARS-CoV-2 – Das Kompetenznetz Public Health zu COVID-19

Die COVID-19-Pandemie: Risikokommunikation unter Unsicherheit

Umgang mit Falschnachrichten in Medien

Prävention hat oberste Priorität – das Management von COVID-19-Erkrankungen in Alten- und Pflegeheimen

Bekämpfung der COVID-19-Epidemie in Deutschland – Notwendige Rollenverteilung zwischen ambulantem und stationärem Sektor sowie öffentlichem Gesundheitsdienst

Vorkommen und gesundheitliche Auswirkungen globaler Schadstoffbelastungen

Gesundheitliche Auswirkungen von künstlichem Licht (künstlicher optischer Strahlung)



G  
H  
U  
P



**ecomed**  
MEDIZIN

**Band 25 Nr. 4 2020**



Wieder lieferbar!  
Gleich besorgen und  
sicher Bescheid wissen!

# UMWELTMEDIZIN

DAS HANDBUCH. SCHAFFT ÜBERZEUGENDES WISSEN.



Fotolia © peshkov

NEU!



mit über **240 Beiträgen**

Einführungspreis  
nur **€199,99**

Wichmann/Fromme  
**Handbuch der Umweltmedizin**

Loseblattwerk mit über 700 Seiten  
im Arbeitsordner. Mit Freischalt-Code  
für das Online-Produkt.  
ISBN 978-3-609-71181-2  
**Einführungspreis € 199,99**  
(gültig bis 31.10.2020,  
danach € 249,99)  
zzgl. Aktualisierungen

## Das große Referenzwerk

**liefert Ihnen fundierte und zuverlässige Antworten:**

- › Welche **Umweltschadstoffe und Umweltfaktoren** können das Wohlbefinden und die Gesundheit beeinträchtigen?
- › Wie lässt sich das **gesundheitliche Risiko** einer Schadstoff-Exposition zuverlässig abschätzen?
- › Welche **Dosis-Wirkungs-Beziehungen**, Wechselwirkungen, Schadensmechanismen und Zusammenhänge sind gesichert?

**Mehr als 300 Experten** liefern Ihnen gut lesbar die **Fakten**.

Und verlässliche **Beurteilungsmaßstäbe**, die Ihnen in Ihrer täglichen Praxis enorm weiterhelfen.

**ecomed**  
MEDIZIN

[www.ecomed-storck.de](http://www.ecomed-storck.de)

# UMWELTMEDIZIN · HYGIENE · ARBEITSMEDIZIN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH SCIENCES

Organ der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin  
GHUP / Society of Hygiene, Environment and Public Health Sciences

## Herausgeber

**Prof. Dr. med. Thomas Eikmann**, Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Hessisches Zentrum für Klinische Umweltmedizin, Universität Gießen

**Prof. Dr. med. Caroline Herr**, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, München

**Prof. Dr. med. Dennis Nowak**, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München

**Dr. med. Wolfgang Panter**, Verband Deutscher Betriebs- und Werksärzte e.V. (VDBW e.V.), Karlsruhe

**Prof. Dr. med. Jörg Steinmann**, Institut für Klinikhygiene, Medizinische Mikrobiologie und Klinische Infektiologie, Universitätsinstitut der Paracelsus Medizinischen Privatuniversität, Nürnberg

## Herausbergremium

**Prof. Dr. med. Hans Drexler**, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universität Erlangen-Nürnberg

**Prof. Dr. med. Steffen Engelhart**, Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit der Universität Bonn

**Prof. Dr. Martin Exner**, Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit der Universität Bonn

**Prof. Dr. med. Uwe Gieler**, Klinik für Psychosomatik und Psychotherapie, Universitätsklinikum Gießen

**Prof. Dr. rer. nat. Thomas Göen**, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin (IPASUM), Friedrich-Alexander Universität, Erlangen

**Prof. Dr. med. Helmut Greim**, Institut für Toxikologie und Umwelthygiene, Technische Universität München

**Dr. Dr. med. Axel Hahn**, Abteilung Exposition Umweltmedizin, Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin

**Prof. Dr. Ernst Hallier**, Abteilung für Arbeits- und Sozialmedizin, Georg-August-Universität Göttingen

**Prof. Dr. rer. biol. hum. Uwe Heinrich**, ehem. Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin, Hannover

**PD Dr. med. Stefanie Heinze, MPH**, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Arbeit- und Umweltmedizin/Epidemiologie, München

**PD Dr. med. Astrid Heutelbeck**, Zentrum für Arbeits-, Sozial-, Umwelt-, Rechtsmedizin und Dermatologie, Georg-August-Universität Göttingen

**PD Dr. med. Jürgen Hölzer**, Abteilung für Hygiene, Umwelt- und Sozialmedizin, Ruhr-Universität Bochum

**Prof. Dr. med. Barbara Hoffmann**, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Düsseldorf

**Prof. Dr. Claudia Hornberg**, Fakultät für Gesundheitswissenschaften, Universität Bielefeld

**Dr. rer. nat. Julia Hurraß**, Leitung der Abteilung II.1 – Umwelthygiene, Umweltbundesamt Köln

**Prof. Dr. Stephan Letzel**, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

**Prof. Dr. med. Dr. phil. Egon Marth**, Hygiene-Institut, Universität Graz

**Dr. med. Bettina Maria Menne**, WHO Regional Office for Europe, European Center for Environment and Health, Bonn

**Prof. Dr. med. Volker Mersch-Sundermann**, Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Department of Environmental Health Sciences, Universität Freiburg

**Dr.-Ing. Heinz-Jörn Moriske**, Umweltbundesamt, Dessau/Roßlau

**Prof. Dr. Hanns Moshhammer**, Institut für Umwelthygiene, Zentrum für Public Health, Medizinische Universität Wien, Österreich

**Prof. Dr. med. Karl Ernst von Mühlendahl**, Kinderhospital Osnabrück, Kinderumwelt gGmbH, Osnabrück

**Dr. rer. nat. Matthias Otto**, Kinderumwelt gGmbH, Osnabrück

**Prof. Dr. Annette Peters**, Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Institut für Epidemiologie, Neuherberg

**Dr. Dietrich Plaß**, Umweltbundesamt, Fachgebiet II 1.6 Expositionsschätzung, gesundheitsbezogene Indikatoren, Berlin

**Prof. Dr. rer. nat. Monika Raulf**, Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Allergologie/Immunologie, Bochum

**Dr. rer. nat. Thomas Schettgen**, Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der RWTH Aachen

**Priv.-Doz. Dr. Margret Schlumpf**, Group of Reproductive, Endocrine and Environmental Toxicology, Universität Zürich, Schweiz

**Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Dieter Schrenk**, Lebensmittelchemie und Toxikologie, Technische Universität Kaiserslautern

**Prof. Dr. rer. nat. Nikolaos Stilianakis**, Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italien

**Dr. Wolfgang Straff**, Umweltbundesamt, Fachgebiet II 1.5 Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung, Berlin

**Prof. Dr. med. Dr. phil. Dr. rer. pol. Felix Tretter**, Bayerische Akademie für Suchtfragen, München, und Bertalanffy Center for the Study of Systems Science, Wien

**Dr. Sandra Walser-Reichenbach**, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, München

**Alisa Weber, MPH**, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Sachgebiet AP2: Arbeits- und Umweltmedizin/Epidemiologie, München

**Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. H.-Erich Wichmann**, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Institut für Epidemiologie, Neuherberg

**Prof. Dr. Dr. med. Sabine Wicker**, Leiterin des Betriebsärztlichen Dienstes, Klinikum der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt

**Prof. Dr. med. Gerhard Andreas Wiesmüller**, Stadt Köln – Der Oberbürgermeister, Gesundheitsamt, Infektions- und Umwelthygiene, Köln

**Prof. Dr. med. Michael Wilhelm**, Institut für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin, Universität Bochum

Redaktion: Stefanie Mock

ecomед Medizin, eine Marke der ecomed-Storck GmbH • Justus-von-Liebig-Straße 1 • 86899 Landsberg am Lech

Tel.: 08191-125-531 • Fax: 08191-125-292 • E-Mail: s.mock@ecomед-storck.de

Internet: <http://www.ecomed-umweltmedizin.de>

## Impressum

**Umweltmedizin – Hygiene – Arbeitsmedizin, Jg. 25, Nr. 4, 2020**  
**Journal of Environmental and Occupational Health Sciences**  
**ehemals: Umweltmedizin in Forschung & Praxis**

ISSN 2195-9811

### Herausgeber:

**Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Eikmann**  
 Institut für Hygiene und Umweltmedizin  
 Justus-Liebig-Universität Gießen  
 Friedrichstraße 16  
 35392 Gießen  
 Tel.: 0641-99-41450  
 Fax: 0641-99-41459  
 E-Mail: [thomas.eikmann@hygiene.med.uni-giessen.de](mailto:thomas.eikmann@hygiene.med.uni-giessen.de)

### Prof. Dr. med. Caroline W. Herr

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und  
 Lebensmittelsicherheit (LGL)  
 Pfarrstraße 3  
 80538 München  
 Tel.: 09131-6808-4202  
 Fax: 09131-6808-4297  
 E-Mail: [Caroline.Herr@lgl.bayern.de](mailto:Caroline.Herr@lgl.bayern.de)

### Prof. Dr. med. Dennis Nowak

Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin  
 WHO Collaborating Centre for Occupational Health  
 Klinikum der Universität München  
 Ziemssenstraße 1  
 80336 München  
 Tel.: 089-4400-52301  
 Fax: 089-4400-54445  
 E-Mail: [Dennis.Nowak@med.uni-muenchen.de](mailto:Dennis.Nowak@med.uni-muenchen.de)

### Dr. med. Wolfgang Panter

Verband Deutscher Betriebs- und Werksärzte e.V. (VDBW e.V.)  
 Friedrich-Eberle-Straße 4a  
 76227 Karlsruhe  
 Tel.: 0721-933-8184  
 Fax: 0721-933-8186  
 E-Mail: [wolfgang.panter@vdbw.de](mailto:wolfgang.panter@vdbw.de)

### Prof. Dr. med. Jörg Steinmann

Institut für Klinikhygiene, Medizinische Mikrobiologie  
 und Klinische Infektiologie  
 Universitätsinstitut der Paracelsus Medizinischen Privatuniversität  
 Klinikum Nürnberg  
 Prof.-Ernst-Nathan-Str. 1  
 90419 Nürnberg  
 Tel.: 0911-398-2520  
 Fax: 0911-398-3266  
 E-Mail: [joerg.steinmann@klinikum-nuernberg.de](mailto:joerg.steinmann@klinikum-nuernberg.de)

### Verlag:

ecomед Medizin  
 eine Marke der ecomed-Storck GmbH  
 Justus-von-Liebig-Str. 1  
 86899 Landsberg  
 Internet: [www.ecomed-umweltmedizin.de](http://www.ecomed-umweltmedizin.de)

### Redaktion (verantwortlich):

Stefanie Mock  
 Tel.: 08191-125-531  
 Fax: 08191-125-292  
 E-Mail: [s.mock@ecomед-storck.de](mailto:s.mock@ecomед-storck.de)

### Fragen zu Anzeigenformat und technischen Daten:

Jutta Bramlage  
 Tel.: 08191-125-564 · Fax: 08191-125-526  
 E-Mail: [jutta.bramlage@ecomед-storck.de](mailto:jutta.bramlage@ecomед-storck.de)

### Abonnentenverwaltung:

Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH  
 Abonnentenservice  
 Hultschiner Straße 8 · 81677 München  
 Tel.: +49 89 2183-7110 · Fax: +49 89 2183-7620  
 E-Mail: [aboservice@hjr-verlag.de](mailto:aboservice@hjr-verlag.de)

### Bezugspreise 2020:

6 Hefte pro Jahr  
 alle Preise inkl. MwSt. und zzgl. Versandkosten

**Kombi-Abo (Print + Online):** € 232,99

Abonnement und Bezugspreise beinhalten die Printausgabe sowie eine Lizenz für das online-Archiv. Die Bestandteile des Abonnements sind nicht einzeln kündbar.

**Online-Abo:** € 195,99

**IP-Zugang:** € 291,99

**Einzelheft:** € 42,00

Das Abonnement verlängert sich um ein weiteres Jahr, wenn es nicht spätestens 8 Wochen zum Jahresende schriftlich gekündigt wird.

Für die Mitglieder der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) ist das Jahresabo der Zeitschrift im Jahresbeitrag enthalten. Information und Anmeldung unter: [www.ghup.de](http://www.ghup.de)

Veröffentlichung gemäß Art. 8 Abs. 3 Bayerisches Pressegesetz:  
 Alleinige Gesellschafterin von ecomed-Storck GmbH ist die Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH; alleinige Gesellschafterin von der Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH ist die Süddeutscher Verlag Hüthig Fachinformationen GmbH. An dieser sind beteiligt: Süddeutscher Verlag GmbH, München: 97,383 %; Kaufmann Holger Hüthig, Heidelberg: 2,027 %; Ruth Hüthig, Heidelberg: 0,269 %, Beatrice Müller, Heidelberg: 0,160 %, Sebastian Hüthig, Heidelberg: 0,160 %.

**Satz:** MVM Mediendesign und Digitaldruck, 21698 Harsefeld

**Druck:** Zimmermann Druck + Verlag GmbH, 58802 Balve

### Urheberrecht:

© 2020, ecomed MEDIZIN, ecomed-Storck GmbH, Landsberg am Lech  
 Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Der Inhalt dieses Heftes wurde sorgfältig erarbeitet; jedoch sind Fehler nicht vollständig auszuschließen. Aus diesem Grund übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag keine Haftung für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen.

**ecomед**  
 MEDIZIN

Besuchen Sie unsere Website unter: [www.ecomed-umweltmedizin.de](http://www.ecomed-umweltmedizin.de)

# INHALT

## Umschlagbild

Coronavirus in China. Novel coronavirus 2019 nCoV, people in white medical face mask. Concept of coronavirus quarantine vector illustration. Seamless pattern  
Quelle: stock.adobe.com

## 134 Impressum

### Editorial

- 137 SARS-CoV-2 – mittlerweile ein fester Bestandteil in unserem Leben  
(J. STEINMANN)

### Übersichtsbeiträge

- 139 Handlungsorientiertes Wissen zum Umgang mit SARS-CoV-2 – Das Kompetenznetz Public Health zu COVID-19  
(A. GERHARDUS, C. HERR)

- 141 Die COVID-19-Pandemie: Risikokommunikation unter Unsicherheit  
(O. WEGWARTH, F. KENDEL, I. TOMSIC, TH. VON LENGERKE, M. HÄRTER)
- 149 Umgang mit Falschnachrichten in Medien  
(C. SCHÄFER, E.-M. BITZER, O. OKAN, G. OLLENSCHLÄGER)
- 159 Vorkommen und gesundheitliche Auswirkungen globaler Schadstoffbelastungen  
(J. BECKER, S. BÖSE-O'REILLY)
- 173 Gesundheitliche Auswirkungen von künstlichem Licht (künstlicher optischer Strahlung)  
(B. BRENNER, H.-D. REIDENBACH, M. OTTO, C. HERR)

### Stellungnahmen

- 153 Prävention hat oberste Priorität – das Management von COVID-19-Erkrankungen in Alten- und Pflegeheimen  
(U. HEUDORF, M. EXNER, P. WALGER, CH. ZINN, VERTRETUNGSVORSTAND DER DGKH)
- 155 Bekämpfung der COVID-19-Epidemie in Deutschland – Notwendige Rollenverteilung zwischen ambulantem und stationärem Sektor sowie öffentlichem Gesundheitsdienst  
(P. WALGER, U. TEICHERT, M. EXNER, C. HERR)

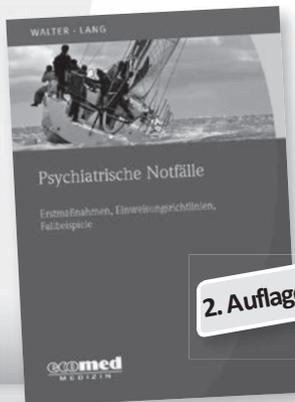
### Referate und Dokumentationsdienste:

BIOSIS, Philadelphia/PA, USA  
CAS – Chemical Abstracts Service, Columbus, OH/USA  
CCMed – Current Contents Medizin deutscher und deutschsprachiger Zeitschriften, Deutsche Zentralbibliothek für Medizin, Köln  
CEABA – Chemical Engineering and Biotechnology Abstracts, DECHEMA, Frankfurt/M.

Elsevier BIOBASE/Current Awareness in Biological Sciences, Elsevier EMBASE/Excerpta Medica, Amsterdam, The Netherlands  
National Library of Medicine (NLM)/USA, SERLINE-Zeitschriften-Datenbank  
SCOPUS – Elsevier  
ULIDAT, UFORDAT, URDB (Umweltbundesamt Berlin)

# Gut zu wissen. Was im Notfall zu tun ist.

## NEU! Damit sind Sie endlich auch für psychiatrische Notfälle gut gerüstet!



2. Auflage

Walter/Lang  
Psychiatrische  
Notfälle  
Softcover, 152 Seiten  
ISBN 978-3-609-10359-4  
€ 19,99

### Ihr kompetenter Taschen-Guide für psychiatrische Notfälle

- > Abklärung, Kommunikation, „talk down“, Deeskalation, erste Medikation, Sicherung bei akuter Lebensgefahr
- > Wie sieht die rechtliche Seite aus? Wie gehe ich mit juristischen Problemen um? Wann kann/darf/muss ich einweisen?
- > Diagnostik und Erstmaßnahmen bei Verwirrtheit und Desorientierung, Suizidalität, Benommenheit und Intoxikation, Erregung, Angst und Panik, Aggression, Konfliktsituationen, Gewalt, Traumatisierung
- > Notfallmedikation – welche Medikamente kann und darf ich wann geben?



Gibt es auch  
als E-Book!

## Das kleine Einmaleins der „Ärztlichen Ersten Hilfe“ made by Peter Sefrin!

- > Klein, fein und klar! Lebensrettende Sofortmaßnahmen, Notfalltypen und Leitsymptome werden systematisch „durchdekliniert“, die erforderlichen notfalltherapeutischen Maßnahmen kurz und klar auf den Punkt gebracht.
- > Neu in der 3. Auflage: Schnellübersichten, Verkehrsunfälle, alkoholisierte Patienten, Brustschmerz
- > Notfallmedikamente und Dosierungen



3. Auflage

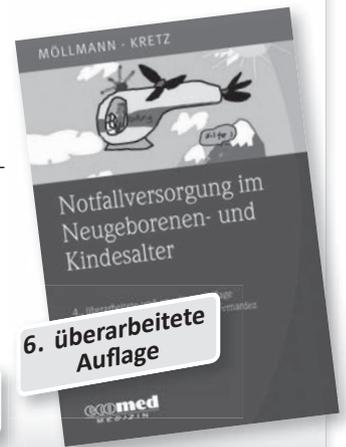
Sefrin  
Notfallmedizin  
Softcover, 200 Seiten  
ISBN 978-3-609-10360-0  
€ 29,99

## Kinder-Notfälle sicher meistern

Griffige, kompakte „Ärztliche Erste Hilfe“-Infos für Kinder-Notfälle! Natürlich mit griffigen Merksätzen, Medikamentendosierungen, Tipps und Tricks und den wichtigen Notfallalgorithmen.

Möllmann/Kretz  
Notfallversorgung im Neugeborenen- und Kindesalter

Softcover,  
184 Seiten  
ISBN 978-3-609-16505-9  
€ 19,99



6. überarbeitete  
Auflage



Gibt es auch  
als E-Book!

**ecomed**  
MEDIZIN

ecomed-Storck GmbH  
c/o Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH  
80289 München  
Service-Telefon: 089/2183 7922 · kundenservice@ecomed-storck.de  
www.ecomed-storck.de  
Online-Bestellungen innerhalb Deutschlands versandkostenfrei!

# SARS-CoV-2 – mittlerweile ein fester Bestandteil in unserem Leben

Jörg Steinmann

Liebe Leserinnen und Leser,

diese Ausgabe bilden einen Schwerpunkt zu Themen rund um COVID-19, beinhaltet aber auch Artikel zu den gesundheitlichen Auswirkungen durch globale Schadstoffbelastung und künstlichem Licht. In diesem Editorial wird nur auf die Artikel zu dem Thema COVID-19 eingegangen.

Die SARS-CoV-2 Pandemie hat spätestens seit Anfang März 2020 den öffentlichen Gesundheitsdienst sowie den ambulanten und stationären Gesundheitssektor stark beeinflusst.

In dieser Ausgabe sind 2 Veröffentlichungen unter der Mitwirkung der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DKGH) publiziert, die aus der Anfangsphase der Pandemie stammen, deren Aktualität aber weiterhin gegeben ist.

Die DGKH, der Bundesverband der Ärztinnen und Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (BVÖGD) sowie die Gesellschaft für Hygiene und Umweltmedizin und Präventionsmedizin (GHUP) hat in dieser Ausgabe eine Stellungnahme verfasst, in der vor allem auf mangelnde personelle und strukturelle Ressourcen sowie fehlende Priorisierungen im Gesundheitsmanagement aufmerksam gemacht werden. Es werden verschiedene Forderungen formuliert, die teilweise in den letzten Wochen und Monaten auch umgesetzt wurden.

Zusätzlich wäre aus meiner Sicht zu den im Artikel erwähnten Punkten in Bezug auf Empfehlungen zur Infektionsprävention bei COVID-19 eine auf Bundesebene Optimierung von Entscheidungsbeschlüssen, welche auf Landes- und kommunaler Ebene schnell und effizient umgesetzt werden können. Eine Standardisierung der Empfehlung zur Prävention wie z.B. der Umgang mit Kontaktpersonen I Grades in medizinischen Einrichtungen bundesweit einheitlich zu regeln sowie eine längere Gültigkeit von Empfehlungen durchsetzen, ist verbesserungswürdig.

Die zweite Veröffentlichung unter der Federführung der DGKH beschäftigt sich mit dem Management von COVID-19-Erkrankungen in Alten- und Pflegeheimen. Bewohner in Alten- und Pflegeheimen gehören zu Risikogruppen für den Erwerb einer SARS-CoV-2-Infektion und haben ein erhöhtes Risiko daran zu versterben. Für diese vulnerable Gruppe wird eine Zielgruppenorientierte spezielle Strategie

vorgeschlagen, die neben ausreichend Pflegepersonal, persönlicher Schutzausrüstung, optimaler Hygienemaßnahmen auch eine angepasst strukturelle Organisation empfiehlt, bei der eine „Pandemiebeauftragte Person“ benannt wird, die sich speziell um die Hygiene-Maßnahmen und Bedürfnisse der Alten- und Pflegeheimbewohner kümmert. Ein Konzept zur gezielten PCR-Testung auf SARS-CoV-2 bei Bewohnern und MitarbeiterInnen sowie Regelungen zu Zusammenkünften der Bewohner untereinander als auch Zulassung von Angehörigen gehören auch zu den Empfehlungen.

Diese Forderungen sind zu unterstützen. Hauptziel muss es sein, die Bewohner vor Übertragungen durch SARS-CoV-2 untereinander, durch MitarbeiterInnen oder Angehörige bei Aufrechterhaltung der Lebensqualität zu schützen, welches nur durch ein umfassendes Hygienekonzept mit hohem Compliancegrad erfolgreich sein kann.

In 3 weiteren Veröffentlichungen rund um das Thema COVID-19 wird einerseits das „Kompetenznetz Public Health zu COVID-19“ vorgestellt, in dem 30 wissenschaftliche Fachgesellschaften in 14 verschiedene Arbeitsgruppen mit unterschiedlichster Expertise Papiere zu Hintergründen, Policy Briefs und Handreichungen möglichst in leicht verständlicher Form publizieren. Diese Arbeit ist ein Beleg für die gelungene interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher Fachgesellschaften in Zeiten der Pandemie.

In der Übersichtsarbeit von Schäfer und KollegenInnen werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Falschnachrichten bei COVID-19 beschrieben. Falschnachrichten zu Gesundheitsthemen kommen in allen Medien vor, und können die Einstellung zu bestimmten solidarischen oder präventiven

## Korrespondenzautor:

Prof. Dr. med. Jörg Steinmann  
 Ärztliche Leitung  
 Institut für Klinikhygiene, Medizinische Mikrobiologie und Klinische Infektiologie  
 Universitätsinstitut der Paracelsus Medizinischen Privatuniversität  
 Klinikum Nürnberg  
 Prof.-Ernst Nathan-Str. 1  
 90419 Nürnberg  
 E-Mail: [jörg.steinmann@klinikum-nuernberg.de](mailto:jörg.steinmann@klinikum-nuernberg.de)

Verhaltensweisen beeinflussen. Es wurde festgestellt, dass die Richtigstellung von Falschnachrichten nicht bei allen Zielgruppen wirksam war.

Der Übersichtsartikel von Wegwarth et al. hat ein ähnliches Thema aufgegriffen und stellt die Bedeutung der Kommunikation von Risiken und Unsicherheiten im Zuge der COVID-19-Pandemie vor. Anhand einer Literaturrecherche wurden Beispiele von epidemiologischen Kennzahlen der COVID-19-Pandemie zu „Sterblichkeit“, „Reproduktionsrate“ und „Inzidenz“ dargestellt und Lösungsansätze aufgezeigt wie transparente Risiko- und Unsicherheitskommunikation gelingen kann.

Insbesondere bei einer derartigen dynamischen Situation wie wir sie in den letzten Monaten erlebt haben, ist die schnelle und richtige Informationsweitergabe von Regierungen oder internationalen Organisationen (z.B. WHO) aber auch von Journalisten und anderen Medienvertretern an die Bevölkerung ein zentraler Baustein der transparenten Kommunikation.

Wir haben alle anhand der COVID-19-Pandemie erfahren, dass das gesamte Gebiet der Infektionsmedizin in allen Be-

reichen der Gesundheitsfürsorge und Bevölkerungsschutz benötigt wird. Die Infektionsprävention/Krankenhaushygiene, die virologische Erregerdiagnostik sowie die klinische Infektiologie waren wichtige Säulen im Pandemiemanagement. Das Hygieneförderprogramm, das sich anhand der KRINKO-Empfehlung „personelle und organisatorische Voraussetzungen zur Prävention nosokomialer Infektionen“ von 2009 orientiert hat, hat in den letzten Jahren für viele ambulante und stationäre Gesundheitseinrichtungen zu einer Verbesserung der personellen Ausstattung geführt. Für den ÖGD wird zurzeit diskutiert, welche Richtgrößen bzw. Personalstärke für eine Verbesserung notwendig sind.

Die effiziente Zusammenarbeit und Vernetzung zwischen den drei Fachgebieten Hygiene, Virologie und klinische Infektiologie hat sich in vielen Regionen bereits gut eingespielt und wird für eine mögliche zweite Welle wieder einen großen Stellenwert besitzen. Die COVID-19-Pandemie hat gezeigt, dass diese Bereiche durch ein zukunftssicherndes Konzept weiter gestärkt werden müssen. Bei wieder steigenden Fallzahlen wird sich zeigen, welche kurzfristigen Maßnahmen bzw. Verbesserungen im ambulanten und stationären Gesundheitssektor sowie im ÖGD erfolgreich waren.

# Handlungsorientiertes Wissen zum Umgang mit SARS-CoV-2 – Das Kompetenznetz Public Health zu COVID-19

Ansgar Gerhardus, Caroline Herr

Die durch SARS-CoV-2 ausgelöste Infektionserkrankung COVID-19 betrifft alle Bereiche des sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Lebens. Da es sich um ein neues Virus handelt, war (und ist) das Wissen über epidemiologische und gesundheitliche Basisdaten, Übertragungswege und geeignete Strategien zum Umgang damit begrenzt. Gleichzeitig müssen kontinuierlich Entscheidungen getroffen werden, bei denen die Risiken einer Übertragung mit den Nebenwirkungen von präventiven Maßnahmen gegeneinander abgewogen werden.

Mit der Komplexität der Fragestellungen und Szenarien waren einzelne Disziplinen überfordert. Daher entstand Ende März die Idee eines interdisziplinären Netzwerks wissenschaftlicher Fachgesellschaften. Einige Monate später sind es bereits über 30 wissenschaftliche Fachgesellschaften und Verbände aus Deutschland, Österreich und der Schweiz, die ihre methodischen, epidemiologischen, statistischen, sozialwissenschaftlichen und (bevölkerungs-)medizinischen Fachkenntnisse im „Kompetenznetz Public Health zu COVID-19“ auf der Seite: <https://www.public-health-covid19.de/> online bündeln.

Das Bestreben des Kompetenznetzes ist es, in kurzer Zeit zuverlässige, interdisziplinäre Expertise zu COVID-19 für Entscheidungsprozesse zur Verfügung zu stellen. Dafür werden wissenschaftliche Erkenntnisse zusammengestellt, aufbereitet und in möglichst leicht verständlicher Form verbreitet.

Die Aktivitäten sind in 14 Arbeitsgruppen strukturiert: Indirekte Gesundheitsfolgen von Maßnahmen des Infektionsschutzes, Modellierung, Ethik, gesundheitliche Aspekte der sozialen Isolation, Gesundheit und Arbeit, Pflege, Gesundheit, Altern, Wirksamkeit und Nebenwirkungen von Nicht-Pharmakologischen Interventionen (NPI), Methoden, Risikokommunikation und -wahrnehmung, Vulnerabilität, Gesundheitskompetenz, Anforderungen an das deutsche Gesundheitssystem, Pflege und Übergangsstrategien. Die Gruppen erarbeiten Hintergrundpapiere, Policy Briefs und Handreichungen. Jedes Papier durchläuft vor Veröffentlichung einen Peer-Review-Prozess durch 3–4 zugeordnete Mitglieder des Kompetenznetzes, darüber hinaus hat aber jedes Mitglied die Möglichkeit, Rückmeldungen zu geben. Anschließend werden die Papiere auf der Webseite veröf-

fentlicht und ggf. den Zielgruppen direkt zugesandt. Auch eine Übersicht zu Forschungsarbeiten wurde erstellt: <https://www.public-health-covid19.de/forschung.html>

Anfang Juli 2020, also gut 3 Monate nach Beginn, sind bereits 34 Dokumente erschienen. Davon sind alleine 12 zu Themen der Arbeitswelt erschienen, weitere 11 beschäftigen sich mit den möglichen negativen Folgen der Maßnahmen zum Schutz vor Infektionen, 4 Papiere sind zu ethischen Themen erschienen und die übrigen 7 verteilen sich auf weitere Bereiche.

In den Papieren zur Arbeitswelt ging es u.a. um Beschäftigte mit erhöhtem Krankheitsrisiko, die Umsetzung des Mutterschutzgesetzes und verschiedene Branchen wie das Gesundheitswesen, den Öffentlichen Dienst oder die Schifffahrt. Mögliche Folgen der Schutzmaßnahmen und der Umgang damit wird in Papieren zu den gesundheitlichen Folgen der Quarantäne oder zu digitalen Public-Mental-Health-Ansätzen behandelt. Im Bereich der Ethik werden u.a. ethische Aspekte der Corona-Tracing App oder der Umgang mit einer zukünftigen Impfung diskutiert.

In einer Stellungnahme, die 24 der beteiligten Fachgesellschaft gemeinsam zeichneten, wurde eine klare Kommunikation, bessere Kompetenzvermittlung, geteilte Verantwortung und eine Verbesserung der Bedingungen von besonders schwer betroffenen Gruppen angemahnt.

Inzwischen wurden viele der relevantesten Themen bearbeitet und einige der ersten Papiere wurden aktualisiert. Neben der Behandlung neuer Themen und Aktualisierungen bis-

## Korrespondenzautor:

Prof. Dr. med. Ansgar Gerhardus, M.A., MPH  
Abteilung 1: Versorgungsforschung – Department for Health Services Research  
Institut für Public Health und Pflegeforschung  
Fachbereich 11  
Universität Bremen  
Grazer Str. 4  
D-28359 Bremen  
E-Mail: [ansgar.gerhardus@uni-bremen.de](mailto:ansgar.gerhardus@uni-bremen.de)

heriger Papiere werden in den kommenden Monaten auch offene Fragen in die Formulierung von Forschungsbedarfen einfließen. Die Nachhaltigkeit der Arbeit wird nicht zuletzt auch von einer Finanzierung abhängen, da die bisherige Arbeit ausschließlich auf engagierter, freiwilliger Arbeit beruht.

Ein Erfolg ist die sehr konstruktive Zusammenarbeit einer großen Zahl an Fachgesellschaften und Wissenschaftler\*innen, die in diesem Umfang einmalig ist. Es ist zu hoffen, dass diese Art der Zusammenarbeit auch jenseits von COVID-19 erhalten bleiben wird.

# Die COVID-19-Pandemie: Risikokommunikation unter Unsicherheit\*

## Akzeptanz und Vertrauen durch transparente Kommunikation im Zuge der COVID-19-Pandemie

Odette Wegwarth<sup>1</sup>, Friederike Kendel<sup>2</sup>, Ivonne Tomsic<sup>3</sup>, Thomas von Lengerke<sup>3</sup>, Martin Härter<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Center for Adaptive Rationality,  
Harding Center for Risk Literacy, Berlin

<sup>2</sup>Institut für Geschlechterforschung in der Medizin, Forschungsgruppe Prävention,  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

<sup>3</sup>Medizinische Hochschule Hannover, Zentrum Öffentliche Gesundheitspflege,  
Forschungs- und Lehrereinheit Medizinische Psychologie, Hannover

<sup>4</sup>Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Institut und Poliklinik für Medizinische Psychologie und  
Center for Health Care Research

### Kernbotschaften

Dieses Papier befasst sich mit der Bedeutung der Kommunikation von Risiken und Unsicherheit im Zuge der COVID-19-Pandemie. Anhand von Beispielen wird skizziert, wie Risiken und Unsicherheiten in dieser neuartigen Situation so kommuniziert werden können, dass möglichst viele Bürgerinnen und Bürger die vermittelten Informationen richtig verstehen, diesen vertrauen und sie akzeptieren können. Zusammengefasst heißt dies:

- Bestehende Unsicherheiten aufgrund der neuartigen Situation und der noch unzureichenden Datengrundlage sollten in ihren möglichen Ausprägungsformen konsequent kommuniziert werden.
- Zahlen sollten zu einer vereinheitlichenden Bezugsgröße ins Verhältnis gesetzt werden (z. B. X Todesfälle pro 100 000). Zur besseren Einordnung sollten sie mit anderen Gesundheitsrisiken in Vergleich gesetzt und durch Grafiken veranschaulicht werden.
- Eine transparente Kommunikation von Risiken und Unsicherheiten kann eine aktive Zustimmung zu den empfohlenen Präventionsmaßnahmen und verantwortungsvolles gesundheitsbezogenes Verhalten fördern.

\* Quelle: Dieses Papier wurde im Rahmen des Kompetenznetzes Public Health zu COVID-19 erstellt. Die alleinige Verantwortung für die Inhalte dieses Papiers liegt bei den Autor\*innen. Das Kompetenznetz Public Health zu COVID-19 ist ein Ad hoc-Zusammenschluss von über 25 wissenschaftlichen Fachgesellschaften und Verbänden aus dem Bereich Public Health, die hier ihre methodische, epidemiologische, statistische, sozialwissenschaftliche sowie (bevölkerungs-)medizinische Fachkenntnis bündeln. Gemeinsam vertreten wir mehrere Tausend Wissenschaftler\*innen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz.

### Hintergrund

Die Kommunikation von Risiken und Unsicherheit im wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Kontext birgt Tücken, die – wenn übersehen oder nicht bekannt – zu einem Vertrauensverlust in die jeweiligen Akteur\*innen und einem Akzeptanzverlust in die eingeführten präventiven Maßnahmen führen können. Eine professionelle Risiko- und Unsicherheitskommunikation kann sehr unterschiedliche Ziele verfolgen: Das Spektrum reicht dabei vom Erreichen einer hohen Motivation für die schnelle Durchsetzung bestimmter Verhaltensweisen durch die Nutzung von Kommunikationsstrategien, die auf Furchtappelle und Bedrohungsszenarien zurückgreifen, bis hin zu einer transparenten Informationspolitik, die auf eine informierte Bürgerschaft und die Stärkung deren eigenverantwortlichen Handelns abzielt.

Studien im Kontext von Impfscheidungen legen nahe, dass Bedrohungsszenarien bei der Veränderung von gesundheitsrelevantem Verhalten keineswegs dem Ansatz der transparenten Informiertheit überlegen sind. Bedrohungsszenarien bergen eher die Gefahr, zu einem Vertrauensverlust in die Kommunikator\*innen (Wegwarth et al. 2014, Siegrist et al. 2003) und Akzeptanzverlust in die eingeführten präventi-

### Korrespondenzautoren:

PD Dr. Odette Wegwarth  
E-Mail: [wegwarth@mpib-berlin.mpg.de](mailto:wegwarth@mpib-berlin.mpg.de)

Prof. Dr. Dr. Martin Härter  
E-Mail: [m.haerter@uke.de](mailto:m.haerter@uke.de)

ven Maßnahmen zu führen (Hertwig 2020, Wegwarth et al. 2017). Dies kann das weitere Aufrechterhalten notwendiger präventiver Verhaltensweisen gefährden.

Es ist ein Merkmal neuartiger und unbekannter Situationen, dass die ihnen zugrundeliegenden Risiken (oft noch) nicht gut abschätzbar sind. Es mangelt an vollständigen und validen Daten (numerische Unsicherheit) oder gänzlich an Daten (inhaltliche Unsicherheit), so wie gegenwärtig auch im Falle der Covid-19-Pandemie. Die anfänglich verfügbaren Daten sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Dies bedeutet aber nicht, dass im Kontext von Unsicherheit auf die Kommunikation von Zahlen verzichtet werden sollte. Allerdings sollten diese numerischen Informationen einerseits verständlich erläutert werden und andererseits in einen Rahmen eingebettet werden, der eine Vorstellung von der bestehenden Unsicherheit vermittelt. Sonst können daraus Situationen resultieren, die sowohl zu einer Überschätzung als auch zu einer Unterschätzung führen können. Bei einer Kommunikation, die auf Angst setzt und so zunächst zu einer Überschätzung der Gefahren führt, mag das daraus resultierende Gefühl der Bedrohung die Implementierung präventiver Maßnahmen vorerst wirksam unterstützen (Wegwarth et al. 2017, Fillenbaum 1976). Für den Fall jedoch, dass die kommunizierten Szenarien nicht eintreten, kann es im Weiteren zu einer potenziellen Unterschätzung des Risikos und einem Infragestellen der präventiven Maßnahmen kommen. Damit kann die Bereitschaft sinken, präventive Maßnahmen weiter aufrechtzuerhalten. Bei einer Kommunikation, die die potenzielle Gefahr jedoch unzureichend würdigt, werden relevante präventive Maßnahmen u.U. von Anbeginn infrage gestellt und unzureichend umgesetzt.

### Ziel des Beitrags

Ziel ist es, potentielle und häufige Fallstricke in der Kommunikation von Risiken und Unsicherheit mit Blick auf das pandemische Geschehen durch COVID-19 aufzuzeigen und Vorschläge zu unterbreiten, wie eine wissenschaftliche, politische und mediale Kommunikation von Risiko- und Unsicherheits-Informationen so gelingen kann, dass Transparenz, Vertrauen, Akzeptanz und Eigenverantwortung bestmöglich gefördert werden (Wegwarth et al. 2014). Mit dem Anspruch, eigenverantwortliches Verhalten durch transparente Kommunikation über die pandemische Situation zu fördern, folgt dieser Text der 3. Ad-hoc-Empfehlung der Leopoldina (Leopoldina 2020).

### Methoden

Grundlage dieses Beitrags bilden Expert\*innenwissen und ein „Rapid Search“ zu Studien, die Aspekte der Risikokommunikation im Zusammenhang mit Inzidenz, Sterblichkeit und Reproduktionszahl im Kontext mit und ohne COVID-19 untersuchten. Recherchiert wurde in unterschiedlichen Datenbanken (vor allem PubMed/Medline,

auch Google Scholar) und weiteren Informationsquellen. Die Recherche erbrachte keine Studien im Kontext mit COVID-19. Daher wurde hier indirekte Evidenz – dokumentiert in einer Vielzahl empirischer Studien in unterschiedlichen Settings der medizinischen Versorgung (Gigerenzer et al. 2007, Malenka et al. 1993, Welkenhuysen et al. 2001, Edwards et al. 2001) – herangezogen und wo plausible Rückschlüsse möglich waren, nachfolgend in Bezug zur COVID-19-Pandemie gesetzt.

### Lösungsansatz: Wie kann eine Kommunikation von Risiken und Unsicherheit gelingen?

Insbesondere neuartige Situationen bedürfen sowohl einer transparenten Darstellung der Daten als auch der Unsicherheiten, mit denen diese behaftet sind. An Beispielen zu ausgewählten epidemiologischen Kennzahlen der COVID-19-Pandemie – „Sterblichkeit“, „Reproduktionsrate“ und „Inzidenz“ – werden Lösungsansätze dargestellt, wie transparente Risiko- und Unsicherheitskommunikation gelingen kann.

#### Beispiel 1. Sterblichkeit

Die Fallsterblichkeitsrate (= Anteil der durch eine bestimmte Erkrankung verursachten Todesfälle an der Gesamtzahl der Fälle) und die absoluten Zahlen zur Sterblichkeit gehören zu den wichtigsten Kennziffern bei der Beurteilung der Gefährlichkeit des neuen Erregers. Sie werden häufig genutzt, um z.B. Länder miteinander zu vergleichen. Allerdings birgt die Darstellung der Fallsterblichkeitsrate im einzelnen Land, aber auch im Ländervergleich, gleich mehrere Fallstricke:

Die Zahl der Verstorbenen wird häufig ohne eine klar erkennbare Bezugsgröße genannt. Wird lediglich die Gesamtzahl genannt, wirkt zum Beispiel die Zahl der amerikanischen COVID-19-Opfer mit 116 035 Verstorbenen (Stand 12. Juni 2020) ungleich dramatischer als die entsprechende Zahl in Belgien mit nur 9 646 Verstorbenen (Worldometers 2020). Adjustiert man die absoluten Zahlen jedoch auf denselben Nenner (siehe Lösungen), folgt, dass sich die beiden Länder zu diesem Zeitpunkt immer noch deutlich unterscheiden, jedoch jetzt in die entgegengesetzte Richtung.

Häufig wird nicht die absolute Sterblichkeit aufgeführt, sondern die Zahl der Verstorbenen wird an der Anzahl der diagnostizierten Fälle relativiert – eben der Fallsterblichkeitsrate. In den USA betrug im Juni 2020 die Fallsterblichkeit 5,6 % im Vergleich mit Belgien von 16,1 %. Auch dieser Vergleich ist problematisch. Der Grund dafür ist, dass die Fallsterblichkeit – abgesehen von der medizinischen Versorgung – von mehreren Faktoren abhängt, und zwar: a) der Anzahl der durchgeführten Tests auf Covid-19: je mehr in einem Land getestet wird, desto niedriger ist die Fallsterblichkeitsrate; b) der Zielgruppe der Getesteten: Wenn mehr junge Menschen getestet werden, die nicht zur Risikogruppe gehören, sinkt der Anteil der Verstorbenen

an der Gesamtzahl der Getesteten; c) der Gruppe der Infizierten: Wenn sich zum Beispiel vermehrt Bewohner von Alten- und Pflegeheimen infiziert haben, steigt die Fallsterblichkeitsrate; d) der Definition der Todesursache: Je mehr Verstorbenen die Todesursache COVID-19 zugeordnet wird, desto höher ist die Fallsterblichkeitsrate.

**Lösungen:**

- Benennen der Unsicherheit, mit der die Kenngröße Fallsterblichkeit behaftet ist, indem die beeinflussenden Faktoren benannt werden. Dies gilt insbesondere für einen Ländervergleich.
- Für die numerische Darstellung Zahlen zu einer Grundpopulation adjustieren (Bezugsgröße) (Edwards et al. 2001): Im oben benannten Fall würde ein Ländervergleich dann wie folgt aussehen: Belgien: 832 pro 1 Mio. Menschen versus USA: 351 pro 1 Mio. Menschen sind an COVID-19 verstorben (Worldometers 2020). Dieser Vergleich zeigt, dass sich die beiden Länder immer noch deutlich unterscheiden – aber in die andere Richtung als die nicht auf eine vereinheitlichte Grundpopulation adjustierten absoluten Zahlen suggerieren.

- Vermittlung der Risiken im Vergleich zu anderen Gesundheitsrisiken (Schwartz et al. 1999, Woloshin et al. 1999): Um eine realistische Vorstellung der Größenordnungen zu ermöglichen, sollten die Zahlen der Pandemie in einen aussagekräftigen Vergleich mit anderen Gesundheits- und Lebensrisiken gesetzt werden und dies möglichst altersadjustiert (Woloshin et al. 1999), z. B. „In der Altersgruppe der 70- bis 80-jährigen verstarben in den zurückliegenden 2 Monaten XX Personen an COVID-19. Im selben Zeitraum sind in dieser Altersgruppe XX Personen an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung gestorben“.

Grafische Darstellungen, wie z.B. Faktenboxen (► **Abb. 1**) oder Icon Arrays, bieten dabei eine solide Vorlage, um vergleichende Informationen, adjustiert auf dieselbe Bezugsgröße und den Status der gegenwärtigen besten Evidenz, darzustellen (McDowell et al. 2016). Studien dokumentieren dabei, dass Faktenboxen selbst von Menschen mit eingeschränkter Risikokompetenz gut verstanden werden (Schwartz et al. 2009, 2007). Faktenboxen werden bisher maßgeblich dazu genutzt, bereits bekannte Risiken zu kommunizieren. Sie bieten dennoch die Möglichkeit, auch Unsicherheiten übersichtlich und damit gut erfassbar zu kommunizieren. In ► **Abb. 1** sieht man ein Beispiel dafür,

## Wenn man Influenza oder Corona begegnet

Die Zahlen stehen für Menschen **ab 60 Jahren**, die in engen Kontakt mit einem Menschen kommen, der mit dem Influenza- oder Corona-Erreger infiziert ist (z.B. ein gemeinsames Essen). Die Spannen zeigen die Unsicherheit, die durch Dunkelziffern, Influenza-Impfungen, Alters- und Studienunterschiede sowie durch statistische Schätzungen entsteht.

	Je 1 000 Erwachsene in engem Kontakt zu Influenza-Infizierten	Je 1 000 Erwachsene in engem Kontakt zu Corona- Infizierten (Covid-19)
Wie viele Menschen erkranken und haben Symptome?	3–70	200-330
Wie viele Menschen haben schwere Symptome, die im Krankenhaus behandelt werden müssen?	0–40	40–80
Wie viele Menschen sterben mit der Erkrankung?	0–2	8–30

**Kurz zusammengefasst:** Enger Kontakt mit dem Corona-Erreger führt öfter zu Erkrankungen als bei Influenza. Zudem sind schwerere Verläufe und tödliche Verläufe deutlich wahrscheinlicher verglichen mit Influenza, gegen die man sich zudem impfen lassen kann.

Quellen: [1] Davies (2020). medRxiv; [2] KDCDC (2020). www.cdc.go.kr; [3] Leung (2015). Epidemiology, 26 (6), 862-872; [4] Liu (2020). The Lancet; [5] Mizumoto (2020). medRxiv; [6] Verity (2020). The Lancet Infectious Diseases; [7] RKI (2019). Bericht zur Epidemiologie der Influenza in Deutschland 2018/19; [8] RKI (2020). Aktueller Situationsbericht des Robert Koch-Instituts zu COVID-19; [9] WHO (2009). www.who.int; [10] Gordon (2018). Emerging Infectious Diseases. Zahlen größer 9 sind auf 10er-Stellen gerundet.

Letzte Aktualisierung: 7. April 2020
<https://www.hardingcenter.de/de/faktenboxen>

**Abbildung 1:** Die Faktenbox stellt dar, wie eine transparente Kommunikation von Unsicherheitsinformationen gelingen kann. In diesem Beispiel wird die Unsicherheit numerisch in Form von Bereichen/Bandbreiten dargestellt. Denkbar – besonders für den Fall, dass noch keine Daten vorliegen – sind auch verbale Statements wie „derzeit ungewiss“ etc.

wie numerische Unsicherheit ausgedrückt werden kann. Für den Fall, dass keinerlei Erkenntnis zu einem relevanten Endpunkt existiert (inhaltliche Unsicherheit), kann auf verbale Statements (► Box 1) zurückgegriffen werden.

### Beispiel 2. Reproduktionsrate

Die Reproduktionsrate  $R$  gibt an, wie viele andere Personen eine bereits infizierte Person ansteckt. Sie resultiert aus der Eigenschaft des Virus und dem menschlichem Verhalten. Hat  $R$  beispielsweise den Wert „2“ ( $R = 2$ ), steckt jede infizierte Person im Durchschnitt zwei weitere Personen an.

Kurz nach den ersten Lockerungen in der jüngeren Vergangenheit warnte das Robert Koch-Institut, dass die Reproduktionsrate nach den Lockerungen von 0,7 wieder auf 1,1 angestiegen sei (Ärzteblatt 2020). Kurze Zeit später war der Wert bereits wieder gesunken. Was war geschehen? Jeder aus Studien generierte numerische Wert – und somit auch die Reproduktionsrate – ist mit einer statistischen Unsicherheit behaftet, die in der wissenschaftlichen Kommunikation zum Beispiel in Form von Konfidenzintervallen (= Streubereich, in dem der „wahre“ Wert vermutet wird) ausgedrückt werden kann. Werte unter 1,0 bedeuten dabei ein Absinken eines bestimmten Risikos – in unserem Fall, eine verlangsamte Zahl der Ansteckungen. Werte über 1,0 bedeuten hingegen einen Anstieg des Risikos – im Falle der Reproduktionsrate demnach eine exponentielle Ausbreitung des Risikos.

Unerwähnt in dieser öffentlichen Kommunikation zu der o.g. Reproduktionsrate blieben in diesem Zusammenhang zwei wichtige Aspekte: Zum einen überlappten sich die Konfidenzintervalle des Werts 0,7 (95 % CI: 0,5 – 1,0) und des Wert 1,1 (95 % CI: 0,9 – 1,3). Damit sind diese beiden Werte als nicht voneinander unterschiedlich zu bewerten. Zum anderen reichte das Konfidenzintervall für die als angestiegene Reproduktionsrate berichtete Zahl 1,1 von 0,9 bis 1,3. Dieser Streubereich deutet damit sowohl einen Abfall als auch einen Anstieg an, er erlaubt somit nicht den einseitigen Schluss eines Anstiegs.

Während die Kommunikation von Konfidenzintervallen in einem wissenschaftlichen Kontext sehr gut verstanden werden dürfte, sollte in der Kommunikation mit wissenschaftlichen Laien auf Bandbreiten/Ranges und auf eine verbale Einordnung der Unsicherheit zurückgegriffen werden (► Box 1).

### Lösungen:

- Benennen der Unsicherheit unter Nutzung von Zahlen: Folgende Möglichkeiten bestehen, um die Unsicherheit numerisch auszudrücken: i) Konfidenzintervalle (Abkürzung: CI), ii) Bandbreite oder iii) eine gerundete Zahl (van der Bles et al. 2019). Illustriert am oben benannten Beispiel sähe die Kommunikation wie folgt aus:
  - i) „Gegenwärtig liegt die Reproduktionsrate bei 1,1 mit einem Konfidenzintervall (95 % CI) von 0,9 bis 1,3. In den Tagen zuvor lag sie bei 0,7 mit einem Konfidenzintervall (95 % CI) von 0,5 bis 1,0.“ Die-

se Form der Kommunikation sollte eher im wissenschaftlichen Kontext genutzt werden, da sie nicht unmittelbar von allen Menschen verstanden wird.

- ii) „Gegenwärtig liegt die Reproduktionsrate zwischen 0,9 und 1,3. In den Tagen zuvor lag sie zwischen 0,5 bis 1,0. Aufgrund der mit dem Streubereich behafteten Unsicherheit ist derzeit kein Rückschluss darauf möglich, ob die Rate tatsächlich wieder ansteigt.“
- iii) „Gegenwärtig liegt die Reproduktionsrate bei circa 1,0.“ Beachte: Wurde zuvor eine Reproduktionsrate kommuniziert, die entweder einen Abfall oder ein Anstieg angab, ist von dieser letzten Kommunikationsform abzuraten, da sie zu Vergleichen mit der davor genannten Zahl einlädt und damit wieder erfordert, dass man auf Kommunikationstyp i) oder ii) zurückgreift.
- Benennen der Unsicherheit unter Nutzung einer verbalen Einordnung: Die verbale Kommunikation zur numerischen und, sofern vorhanden, inhaltlichen Unsicherheit reicht von i) qualifizierenden Aussagen/Statements der Unsicherheit über ii) das Erwähnen der Unsicherheit unter Nutzung einzelner Relativwörter bis hin zum iii) Nichterwähnen der Unsicherheit (► Box 1). Von letzterer Form ist abzuraten, da sie eine Sicherheit suggeriert, die nicht vorhanden ist. Unser Beispiel auf die Formen i) und ii) übertragen, könnte die Kommunikation wie folgt aussehen.
  - i) „Die gegenwärtige Reproduktionsrate deutet weder auf einen Abfall noch auf einen Anstieg hin.“
  - ii) „Möglicherweise ist die Reproduktionsrate seit den jüngsten Lockerungen leicht angestiegen. Aufgrund der Datenlage ist dazu jedoch gegenwärtig keine sichere Aussage möglich.“

### Box 1: Variationen der Unsicherheitskommunikation

Auf einen Blick: Unsicherheiten können numerisch oder verbal dargestellt werden.

Nachfolgend sind die Varianten mit abnehmender Präzision dargestellt (Ärzteblatt D 2020).

#### Numerische Darstellung:

- Konfidenzintervalle (z.B. „Jeder Infizierte steckt circa 3,5 Menschen an, wobei der wahre Wert zwischen 1,0 bis 6,0 Menschen liegen kann.“)
- Range/Bandbreite (z.B. „Jeder Infizierte steckt ungefähr zwischen 1 bis 6 Menschen an.“)
- Rundung (z.B. „Jeder Infizierte steckt ungefähr 4 Menschen an.“)

#### Verbale Darstellung:

- Qualifizierende Statements zur numerischen Unsicherheit (z.B. „Möglicherweise ist X gesunken“, „Die Daten legen einen Anstieg nahe, sind derzeit aber noch unsicher...“)
- Benennen inhaltlicher Unsicherheit („Derzeit ist das Risiko aufgrund fehlender Daten nicht abschätzbar“, „X ist derzeit ungewiss“, „Wir haben dazu noch keine Erkenntnisse, deshalb ist es möglich, dass wir die gegenwärtige Situation überschätzen, aber auch unterschätzen.“)
- Nicht so – Kommunikation! Explizite Auslassung von Unsicherheit (z. B. „Eine zweite schwere Infektionswelle trifft uns mit Sicherheit.“, „An dem Fakt, dass X so ist, ist nicht zu rütteln.“, „Es besteht mittlerweile kein Zweifel mehr, dass...“)

### Beispiel 3. Inzidenz

Die Inzidenz ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällig ausgewählte Person aus einer gesunden Population innerhalb eines bestimmten Zeitraums an einer Krankheit neu erkrankt. Im Zusammenhang mit SARS-CoV-2 ist es wichtig zu wissen, dass dieser Erreger immer zur Infektionskrankheit COVID-19 führt („obligat pathogen“). Die Erkrankung kann jedoch in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht in sehr unterschiedlichen Schweregraden bis hin zu asymptomatisch verlaufen (Zhonghua et al. 2020, Wu et al. 2019, Sun et al. 2020, Richardson et al. 2020, Bi et al. 2020). Insgesamt gelten die oben bei der Sterblichkeitsrate aufgeführten Fallstricke durch ausbleibende Adjustierung i. S. einer vereinheitlichten Grundpopulation bzw. nach Alter auch für die Inzidenz. Im Folgenden werden für die Inzidenz weitere spezifische Fallstricke dargestellt:

Zwischen dem 28.01. und dem 11.06.2020 erkrankten in Deutschland mindestens 185 674 Personen an COVID-19 (= laborbestätigte Fälle). Diese numerische Information lässt sich sehr unterschiedlich darstellen, und zwar als: Wahrscheinlichkeit, als relative Wahrscheinlichkeit oder als absolute Häufigkeit. Als Wahrscheinlichkeit formuliert entspricht diese Zahl einer Inzidenz von 0,002 an der Gesamtbevölkerung von 83 Millionen oder einem Inzidenzanteil von 0,22 % bzw. 224 Fällen pro 100 000 Einwohner (absolute Häufigkeit). Zusätzlich zu einer verbalen und numerischen Darstellung (► Abb. 1) fördert eine grafische Darstellung darüber hinaus ein Verständnis der Situation und erhöht die Adhärenz (Zipkin et al. 2014).

Wichtig ist auch, dass bei den Angaben zur Inzidenz deutlich wird, auf was genau sie sich beziehen. Im Zusammenhang mit COVID-19 ist eine relevante Dimension der Schweregrad der Erkrankung (asymptomatisch, leicht und unkompliziert, moderat, schwere Pneumonie, kritisch; in Anlehnung an STAKOB 2020). Angaben zur Inzidenz von COVID-19 ohne eine Stratifizierung nach Schweregraden bergen die Gefahr, dass die subjektive Risikowahrnehmung in der Bevölkerung unscharf bleibt, also z. B. eine vermittelte sinkende Inzidenzquote sowohl auf leichte als auch schwere Verläufe angewendet wird.

Schließlich ist unsicher, wie sich die Inzidenzen ohne präventive Maßnahmen entwickelt hätten bzw. sich entwickeln würden.

### Lösungen:

- Absolute Häufigkeiten mit einem Nenner sollten Anteilen und Wahrscheinlichkeiten vorgezogen sowie mit numerischen und grafischen Darstellungen kombiniert werden. Als grafische Darstellungen sind vor allem Flächenkartogramme (sog. Choroplethenkarten bzw. Heatmaps) als ein solides Verfahren zu nennen, um vergleichende Inzidenzinformationen darzustellen. Bei nicht geografisch-räumlichen Kriterien, wie z.B. Altersgruppen, bieten sich Säulendiagramme (Histogramme) eher an als Kuchendiagramme (Neuner-Jehle et al. 2008). So zeigt der Screenshot des COVID-19 Dashboards des Robert Koch-Instituts in ► Abbildung 2 eine aus unserer Sicht zielführende Umsetzung dieser Prinzipien

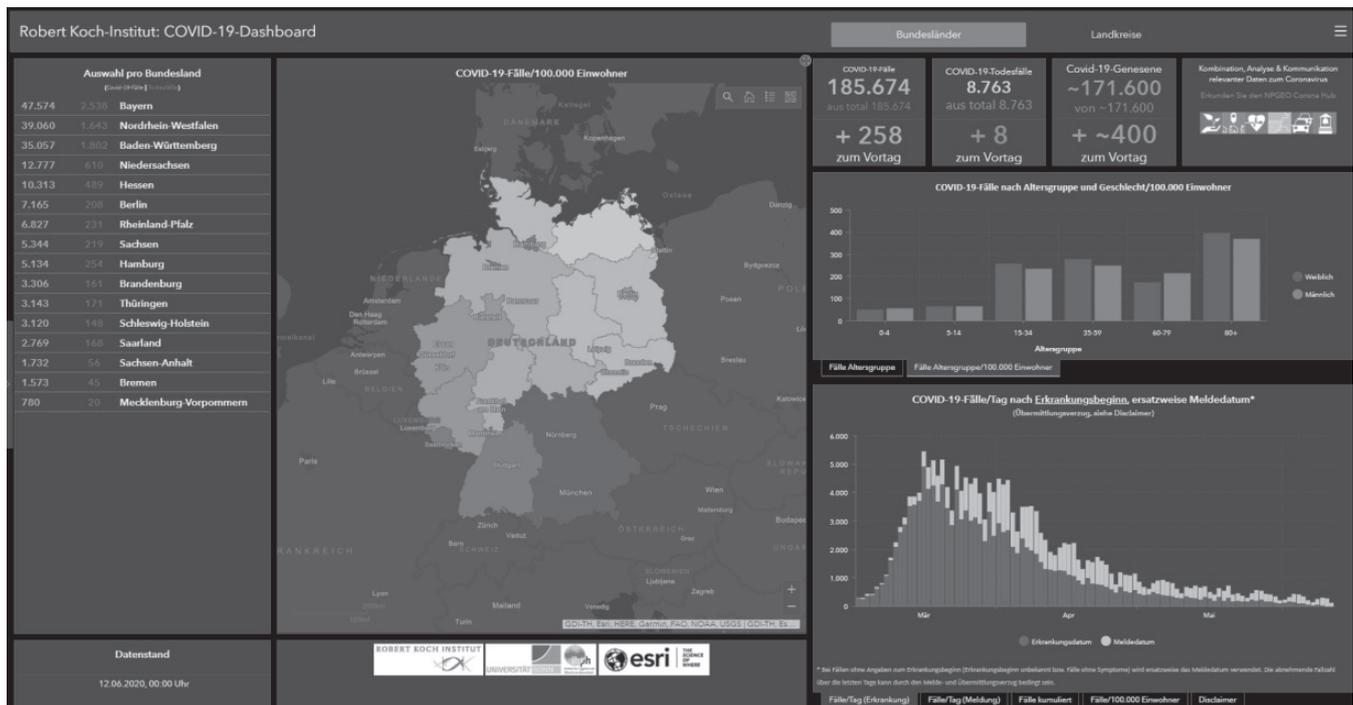


Abbildung 2: Screenshot des sog. COVID-19 Dashboards des Robert Koch-Instituts vom 12. Juni 2020 (<https://experience.arcgis.com/experience/478220a4c454480e823b17327b2bf1d4>) mit Beispielen für Flächenkartogramme und Säulendiagramme

für Deutschland. Im Flächenkartogramm wird für die Bundesländer die jeweils tagesaktuelle Verteilung der COVID-19-Fälle pro 100 000 Einwohner visualisiert. Numerische Informationen sind durch Anklicken jedes Bundeslands verfügbar. Im oberen Säulendiagramm wird die Inzidenz ebenfalls als Fälle pro 100 000 Einwohner für verschiedene Altersgruppen dargestellt und damit der Risikofaktor „Alter“ verdeutlicht. Informationen zum zeitlichen Verlauf beinhaltet das untere Säulendiagramm, indem es Fälle pro Tag nach Erkrankungsbeginn bzw. (falls nicht bekannt) nach Meldedatum darstellt.

- Informationen zu Inzidenzen sollten immer so genau wie möglich spezifizieren, ob sie sich auf die Krankheit COVID-19 insgesamt oder auf unterschiedliche Schweregrade beziehen. Zum Beispiel:
  - „Die Inzidenz aller COVID-19-Erkrankungen beträgt derzeit 224 Fälle pro 100 000 Einwohner“.
  - „Die Inzidenz kritischer Covid-19-Erkrankungen kann auf Basis der vorliegenden Daten auf derzeit 11 Fälle pro 100 000 Einwohner geschätzt werden“ (zur Schätzung des Anteils kritischer Verläufe vgl. z. B. Wu et al. 2020).

Zu einem Säulendiagramm zur Inzidenz nach Altersgruppen (► **Abb. 2**) sollte eine Darstellung schwerer/kritischer Fälle hinzugefügt werden, um unterschiedliche Gefährdungen noch besser abzubilden. Eine bundesweit einheitlich angewendete Definition „kritischer Covid-19 Verläufe“ vorausgesetzt, wäre damit der Forderung der Leopoldina entsprochen, Daten zu schweren Krankheitsverläufen in Relation zu anderen Erkrankungen zu setzen (Leopoldina 2020).

- Vor allem bei niedrigen Inzidenzen und intensiver Implementation von Präventionsmaßnahmen können Schätzungen, z. B. aus Modellierungsstudien, helfen darzustellen, wie sich epidemiologische Maßzahlen mit geringerer oder keiner Prävention entwickelt hätten. Zwei Beispiele:
  - „Ohne Quarantänemaßnahmen hätten in Deutschland laut Schätzungen zwischen dem 28.1.-2.6.20 zwischen 322 und 405 Fälle pro 100 000 (statt 224) auftreten können“ (Nussbaumer-Streit et al. 2020).
  - „Ohne Maßnahmen hätten in Deutschland laut Schätzungen bis zum 4.5.20 570 000 (statt 6 831) Menschen an oder mit COVID-19 versterben können“ (Flaxman et al. 2020).

## Fazit und Empfehlungen

Neuartige pandemische Verläufe stellen gesundheitspolitische bzw. in der Versorgung tätige Akteur\*innen sowie Journalist\*innen in der Kommunikation und Einordnung einer bisher nicht dagewesenen Situation vor große Herausforderungen. Folgende Empfehlungen sollten berücksichtigt werden, um Irritationen bezüglich sich scheinbar wider-

sprechender Inhalte im pandemischen Verlauf zu vermeiden und damit letztlich einen Akzeptanzverlust für notwendige präventive Maßnahmen zu riskieren:

- Sind Daten vorhanden, sollten absolute Zahlen mit den jeweiligen Bezugsgrößen und aussagekräftige Vergleiche genutzt werden. Wenn möglich, sollten grafische Formate unterstützend zur Informationsvermittlung eingesetzt werden.
- Die mit den Daten behaftete Unsicherheit ist unter Nutzung numerischer oder verbaler Statements klar zu benennen.
- Die Kommunikation der Unsicherheit beinhaltet dabei nicht nur das Skizzieren des potenziell schlimmsten Falls. Auch die Möglichkeit, dass dieses Risiko überschätzt werden kann, sollte benannt werden.

Aufgrund von Unterschieden in der Ängstlichkeit, den Motiven und Vorerfahrungen können die kommunizierten Risiken und Unsicherheiten dennoch individuell sehr unterschiedlich wahrgenommen werden (Klein et al. 2007, Slovic et al. 2000, Kendel et al. 2019). Das klare Benennen der Unsicherheiten und ein Werben für die präventiven Maßnahmen im Lichte dieser Unsicherheiten können jedoch maßgeblich dazu beitragen, dass unabhängig von der individuellen Risikowahrnehmung ein bestmögliches Verständnis der Gesamtsituation erreicht wird, was zu einer längerfristigen Akzeptanz effektiver präventiver Maßnahmen beitragen kann.

## Literatur

- Ärzteblatt D (2020). COVID-19: Reproduktionsrate in Deutschland steigt wieder über kritischen Wert 1. 09. May ed. *Ärzteblatt Online*2020. P <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/112706/COVID-19-Reproduktionsrate-steigt-wieder-ueber-kritischen-Wert-1>
- Bi Q, Wu Y, Mei S, Ye C, Zou X, Zhang Z et al. (2020). Epidemiology and transmission of COVID-19 in 391 cases and 1286 of their close contacts in Shenzhen, China: a retrospective cohort study. *Lancet Infectious Diseases*. doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30287-5
- Edwards A, Elwyn GJ, Covey J, Mathews E, Pill R (2001). Presenting risk information – A review of the effects of “framing” and other manipulations on patient outcomes. *Journal of Health Communication*. 6: 61–82
- Fillenbaum S (1976). Inducements: On the phrasing and logic of conditional promises, threats, and warnings. *Psychological Research*. 38: 231–50
- Flaxman S, Mishra S, Gandy A, Unwin HJT, Mellan TA, Coupland H et al. (2020). Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature*, accelerated article. doi.org/10.1038/541586-020-2405-7
- Gigerenzer G, Gaissmaier W, Kurz-Milcke E, Schwartz LM, Woloshin S (2007). Helping doctors and patients make sense of health statistics. *Psychological Science in the Public Interest*. 8: 53–96
- Hertwig R (2020). Why risk communication on COVID-19 is so difficult. *Unpublished manuscript*
- Kendel F, Feufel M (2019). Risk perception and risk comprehension among men with prostate cancer. *ONKOLOGE*. 25: 352–7
- Klein WMP, Cerully JL (2007). Health-Related Risk Perception and Decision-Making: Lessons from the Study of Motives in Social Psychology. *Social and Personality Psychology Compass*. 1: 334–58
- Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften (2020). Dritte Ad-hoc-Stellungnahme: Coronavirus-Pandemie – Die Krise nachhaltig überwinden
- Malenka DJ, Baron JA, Johansen S, Wahrenberger JW, Ross JM (1993). The framing effect of relative and absolute risk. *Journal of General Internal Medicine*. 8: 543–48

- McDowell M, Rebitschek F, Gigerenzer G, Wegwarth O (2016). A simple tool for communicating the benefits and harms of health interventions: a guide for creating a fact box. *Medical Decision Making Policy & Practice*. 1: 2381468316665365
- Neuner-Jehle S, Wegwarth O, Steurer J (2008). Sagt ein Bild mehr als tausend Worte? – Risikokommunikation in der ärztlichen Praxis [Is a picture worth a thousand words? – Risk communication in medical practice]. *Praxis*. 97: 1717–23
- Nussbaumer-Streit B, Mayr V, Dobrescu AI, Chapman A, Persad E, Klerings I et al. (2020). Quarantine alone or in combination with other public health measures to control COVID-19: a rapid review. *Cochrane Database Systematic Review*. 4: Cd013574
- Richardson S, Hirsch JS, Narasimhan M, Crawford JM, McGinn T, Davidson KW et al. (2020). Presenting Characteristics, Comorbidities, and Outcomes Among 5700 Patients Hospitalized With COVID-19 in the New York City Area. *JAMA*. 323: 2052–9
- Schwartz LM, Woloshin S, Welch HG (1999). Risk communication in clinical practice: Putting cancer in context. Monograph of the National Cancer Institute. 25: 124–33
- Schwartz LM, Woloshin S, Welch HG (2007). The drug facts box: Providing consumers with simple tabular data on drug benefit and harm. *Medical Decision Making*. 27: 655–62
- Schwartz LM, Woloshin S, Welch HG (2009). Using a drug facts box to communicate drug benefits and harms. *Annals of Internal Medicine*. 150 (8): 516–27
- Siegrist M, Earle TC, Gutscher H (2003). Test of a trust and confidence model in the applied context of electromagnetic field (EMF) risks. *Risk Analysis*. 23: 705–15
- Slovic P (2000). The perception of risk. Löfstedt RE, editor. London: Earthscan
- Ständiger Arbeitskreis der Kompetenz- und Behandlungszentren für Krankheiten durch hochpathogene Erreger (STAKOB) (2020). Hinweise zu Erkennung, Diagnostik und Therapie von Patienten mit COVID-19 2020 [Available from: <https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/6511/Hinweise%20zu%20Erkennung%2C%20Diagnostik%20und%20Therapie%20von%20Patienten%20mit%20COVID-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]
- Sun K, Chen J, Viboud C (2020). Early epidemiological analysis of the coronavirus disease 2019 outbreak based on crowdsourced data: a population-level observational study. *Lancet Digit Health*. 2: e201–e8
- van der Bles AM, van der Linden S, Freeman ALJ, Mitchell J, Galvao AB, Zaval L et al. (2019). Communicating uncertainty about facts, numbers and science. *Royal Society Open Science*. 6: 181870
- Wegwarth O, Gigerenzer G (2014). Improving evidence-based practices through health literacy – in reply. *JAMA Internal Medicine*. 174: 1413–4
- Wegwarth O, Kurzenhäuser-Carstens S, Gigerenzer G (2014). Overcoming the knowledge–behavior gap: the effect of evidence-based HPV vaccination leaflets on understanding, intention, and actual vaccination decision. *Vaccine*. 32: 1388–93
- Wegwarth O, Wagner GG, Gigerenzer G (2017). Can facts trump unconditional trust? Evidence-based information halves the influence of physicians' non-evidence-based cancer screening recommendations. *PLOS ONE*. 12: e0183024
- Welkenhuysen M, Evers-Kiebooms G, d'Ydewalle G (2001). The language of uncertainty in genetic risk communication: framing and verbal versus numerical information. *Patient Education and Counseling*. 43: 179–87
- Woloshin S, Schwartz LM, Welch HG (1999). The risk of death by age, sex, and smoking status in the United States: Putting health risks in context. *Journal of the National Cancer Institute*. 25: 124–33
- Worldometers (2020). COVID-19 Coronavirus Pandemic 2020 [Available from: <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>]
- Wu Z, McGoogan JM (2020). Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72 314 Cases From the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA*. online ahead.
- Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi (2020). [The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China]. 41: 145–51
- Zipkin DA, Umscheid CA, Keating NL, Allen E, Aung K, Beyth R et al. (2014). Evidence-based risk communication: a systematic review. *Annals Internal Medicine*. 161: 270–80

# Fragen zum Infektionsschutzgesetz?

Dieser praxisgerechte Kommentar hilft weiter!

Das Infektionsschutzgesetz ist in seinem Kern „Polizeirecht“, das in die Grundrechte eingreift.

Umso wichtiger ist es gerade in diesen Zeiten, es gut zu kennen und wohldosiert umzusetzen.

Die aktuelle Neuauflage von H. Erdle unterstützt Sie mit fundierten Kommentierungen, die Klarheit bringen. Sie decken folgende Vorschriften ab:

- › **Infektionsschutzgesetz**
- › **Trinkwasserverordnung**
- › **Internationale Gesundheitsvorschriften**

**Praxisgerechte Kommentare** helfen Ihnen, die diversen Bestimmungen schnell zu durchdringen und sicher umzusetzen.

Sie machen auch auf **wichtige Querverbindungen** zu anderen Rechtsgebieten aufmerksam.

Inklusive der relevanten **Verwaltungsvorschriften und Nebengesetze**

Berücksichtigt neben dem **Pflegepersonal-Stärkungsgesetz** auch das **Masernschutzgesetz**.

Wichtige Aktualisierungen, die in der 7. überarbeiteten und erweiterten Auflage enthalten sind:

- › **Meldepflicht**
- › **Überwachung der Rettungsdienste**
- › **Einschlägige EU-Vorschriften**



Erdle  
**Infektionsschutzgesetz**  
Softcover, 440 Seiten  
ISBN 978-3-609-16526-4  
€ 49,99

**Bestellen Sie jetzt!**

+49 (0) 89/2183 7922

+49 (0) 89/2183 7620

@ kundenservice@ecomед-storck.de

www.ecomed-storck.de (innerhalb Deutschlands versandkostenfrei)

ecomед-Storck GmbH, c/o Hüthig Jehle Rehm GmbH, 80289 München

Stand der Preise und Erscheinungstermine: 05/2020. Irrtum & Änderungen vorbehalten.

**Aktuelle Gesetzesänderungen per Download:**  
Für Buchkäufer gibt's die neuesten IfSG-Änderungen per Download – damit bleiben Sie stets up to date! **Code und Anleitung im Buch!**

**ecomед**  
MEDIZIN  
www.ecomed-storck.de

# Umgang mit Falschnachrichten in Medien\*

## Eine Übersicht über aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Falschnachrichten bei COVID-19

Corinna Schäfer, Eva-Maria Bitzer, Orkan Okan, Günter Ollenschläger

### Kernbotschaften

- Menschen in Deutschland haben mehrheitlich ein gutes Wissen und Informationsverhalten zu COVID-19, sie vertrauen am ehesten der Wissenschaft und dem Wissenschaftsjournalismus.
- Falschnachrichten kommen in allen Medien vor, richten Schaden an, beziehen sich häufig auf Regierungen und internationale Organisationen (z.B. WHO) und werden durch die Social Media Plattformen nicht konsistent gelöscht oder richtiggestellt.
- Das Richtigstellen von Falschnachrichten ist vermutlich wirksam, möglicherweise aber nicht bei allen Zielgruppen; es zeigte in den Studien keine unerwünschten Wirkungen.
- Richtigstellungen sollten von unabhängigen wissenschaftlichen und journalistischen Institutionen vorgenommen werden. Diese sollten gestärkt und unterstützt werden.

Dieses Papier richtet sich an politische Entscheidungsträger\*innen, Wissenschaftler\*innen und Vertreter\*innen der Medien.

Während der Corona-Krise kann die Verbreitung falscher und verzerrter Nachrichten aus zwei Gründen besonderen Schaden anrichten:

1. Falsche Nachrichten über vermeintliche „Heilmittel“ können Menschen zu gefährlichen Handlungen motivieren, die ihnen selbst oder anderen schaden können (etwa, Desinfektionsmittel zu trinken).
2. Viele verhaltenspräventive Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie funktionieren nur, wenn sie von einem möglichst großen Teil der Bevölkerung umgesetzt werden. Falschnachrichten können das Vertrauen in solche Maßnahmen und die Institutionen, die sie einführen und durchsetzen sollen, untergraben, ihre Umsetzung gefährden und so die Kontrolle des Infektionsgeschehens behindern.

Viele unwahre Aussagen mit teils fatalen Folgen haben ihren Ursprung in sozialen Medien, etwa der Hype um das Malaria-Mittel Hydroxychloroquin (Donovan 2020).

Dieses Papier beschreibt Ausmaß, Inhalt und Folgen von Falschnachrichten zu COVID-19 sowie wirksame Lösungsansätze und formuliert Empfehlungen zum Umgang damit.

### Hintergrund

Der WHO-Generalsekretär hat im Kontext mit COVID-19 den Begriff „Infodemic“ geprägt und meint damit die schädlichen Effekte vielfach verbreiteter Falschnachrichten.

Falschnachrichten im Kontext dieses Papiers sind falsche, manipulierte oder verzerrte Aussagen zu COVID-19, die keine satirische oder parodistische Absicht verfolgen (Tandoc et al. 2018). Falschnachrichten lassen sich erst sicher so bezeichnen, nachdem sie geprüft wurden.

\* Quelle: Dieses Papier wurde im Rahmen des Kompetenznetzes Public Health zu COVID-19 erstellt. Die alleinige Verantwortung für die Inhalte dieses Papiers liegt bei den Autor\*innen. Der Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung. Das Kompetenznetz Public Health zu COVID-19 ist ein Ad hoc-Zusammenschluss von über 25 wissenschaftlichen Fachgesellschaften und Verbänden aus dem Bereich Public Health, die hier ihre methodische, epidemiologische, statistische, sozialwissenschaftliche sowie (bevölkerungs-)medizinische Fachkenntnis bündeln. Gemeinsam vertreten wir mehrere Tausend Wissenschaftler\*innen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz.

### Methoden

Grundlage bildet ein rapid review zu Häufigkeit und Inhalten von Falschnachrichten zu COVID-19, zum Informationsverhalten und Vertrauen von Suchenden sowie zu Strategien im Umgang mit Falschnachrichten und ihrer Wirksamkeit. Recherchiert haben wir in unterschiedlichen Datenbanken (Medline, Google Scholar) und weiteren Informationsquellen. Zu Nutzung von und Vertrauen in Informationen zu COVID-19 wurden zusätzlich gezielt Studien aus dem deutschen

### Korrespondenzautor:

M.A. Corinna Schäfer  
 Ärztliches Zentrum für Qualität in der Medizin  
 Tiergarten Tower  
 Straße des 17. Juni 106-108  
 10623 Berlin  
 E-Mail: [schaefer@azq.de](mailto:schaefer@azq.de)

Versorgungskontext über eine Internetsuche identifiziert. Zu den Strategien im Umgang mit Falschnachrichten erbrachte die Recherche keine Studien im Kontext mit COVID-19. Daher wurde hier auch indirekte Evidenz aus dem Kontext anderer Public Health Themen herangezogen, bei denen eine Übertragbarkeit auf COVID-19 plausibel erscheint (z.B. Impfungen, Zikavirus-Infektion).

## Status Quo

### Informationsstand und -verhalten in Deutschland bezüglich COVID-19

Nach wiederholten repräsentativen Befragungen (wöchentliche Erhebung seit 10/3/20) informieren sich etwa drei Viertel der Befragten regelmäßig zu COVID-19 (Betsch 2020). Der überwiegende Teil der Interviewten (88 %) war über den Erhebungszeitraum in der Lage, Fragen zu Behandlung, Übertragung und Inkubationszeit von COVID-19 korrekt zu beantworten (Betsch 2020). Wichtige Schutzmaßnahmen waren etwa 95 % der Befragten bekannt. Gleichzeitig fühlten sich in einer weiteren repräsentativen Umfrage (einmalige Erhebung Anfang April 2020) über 90 % gut oder sehr gut zur Coronavirus-Pandemie informiert (Okan et al. 2020). Am meisten vertrauten die Befragten bei der Bewältigung der Krise den Ärzt\*innen, Krankenhäusern, dem Robert Koch-Institut und der Wissenschaft (Betsch 2020). Gleichwohl waren 56 % von der Informationsflut verunsichert, und nur 51 % trauten sich zu, zu beurteilen, ob Informationen über das neue Coronavirus vertrauenswürdig waren (Okan et al. 2020). Die Unsicherheit entspricht in der Größenordnung der repräsentativen Befragung zur allgemeinen Gesundheitskompetenz in Deutschland aus dem Jahr 2016 (Schaeffer et al. 2017). Die wichtigste Rolle bei der Verbreitung vertrauenswürdiger Nachrichten sehen Befragte in Deutschland und in fünf anderen Ländern in erster Linie bei wissenschaftlichen Einrichtungen und beim klassischen, recherchestützten Wissenschaftsjournalismus (Kleis Nielsen et al. 2020).

Aktuelle politische bzw. gesellschaftliche Entwicklungen (u.a. Demonstrationen am zweiten Mai-Wochenende) lassen allerdings vermuten, dass Falschnachrichten eine zunehmende Rolle in der öffentlichen Diskussion spielen, auch, weil sie von bekannten Personen verbreitet werden (Volksverpetzer 2020).

### Häufigkeit von Falschnachrichten im Internet und in sozialen Medien

Erste Analysen zeigen, dass über viele Medien hinweg falsche oder verzerrte Nachrichten zur COVID-19-Krise verbreitet werden (Informationsseiten im Internet (Cuan-Baltazar et al. 2020); WhatsApp / Telegram (Bastani & Bahrami et al. 2020); Twitter (Kouzi et al. 2020); Facebook (Kleis Nielsen et al. 2020); Youtube (Basch et al. 2020).

Gleichzeitig reagierten soziale Medien sehr unterschiedlich auf gemeldete Falschnachrichten: bei Twitter blieben 59 % der beanstandeten Posts weiterhin verfügbar, bei Youtube 29 % und bei Facebook 24 % (Brennen et al. 2020). Facebook, Twitter und Youtube weisen nach eigenen Angaben Nutzende, die nach Informationen zu Coronavirus und COVID-19 suchen, auf offizielle Seiten mit sicheren Informationen hin (Jamieson et al. 2020). Gleichwohl ist die Zahl der Abrufe von Falschnachrichten auf diesen Portalen hoch (Brennen et al. 2020). Es scheint einen Zusammenhang zu geben zwischen der Zustimmung zu COVID-19-Verschwörungstheorien und der fehlenden Bereitschaft, Gesundheitsempfehlungen zu COVID-19 zu befolgen (Allington et al. 2020).

Ein Bericht des Europäischen Auswärtigen Dienstes (EAD) verweist darauf, dass Falschnachrichten teils geopolitisch gezielt genutzt und gesteuert werden könnten (EAD 2020).

### Inhalte und Art von Falschnachrichten im Internet und in sozialen Medien

In der Analyse einer Stichprobe überprüfter Falschnachrichten lagen bei etwa zwei Drittel der untersuchten Fälle keine frei erfundenen Nachrichten vor, sondern Inhalte waren verzerrt, in einen anderen Kontext gestellt und falsch verkürzt worden (Brennen et al. 2020, Kleis Nielsen et al. 2020). Dies bestätigt eine Analyse deutscher Posts auf Facebook (Boberg et al. 2020). Am häufigsten waren falsche oder verzerrte Behauptungen über Pläne und Maßnahmen von Regierungs- oder internationalen Behörden wie UN und WHO (39 % der untersuchten Fälle) (Brennen et al. 2020, Kleis Nielsen et al. 2020). Falschnachrichten von Prominenten zu COVID-19 haben zwar zahlenmäßig einen eher geringen Anteil, besitzen aber viel Einfluss, weil sie häufig und mit steigender Tendenz weiterverbreitet werden (Brennen et al. 2020), insbesondere in der augenblicklichen Situation (Anfang Mai 2020) (Volksverpetzer 2020).

## Lösungsansatz

### Lohnt es sich, Falschnachrichten richtig zu stellen?

Zu COVID-19 konnte für diese Fragestellung keine Evidenz gefunden werden. Eine Reihe von teils randomisierten Experimenten in anderen Public Health-Kontexten zeigt:

- Falschnachrichten zu Gesundheitsthemen beeinflussen die Einstellung zu bestimmten solidarischen oder präventiven Verhaltensweisen und in die Intention, diese umzusetzen negativ,
- die Richtigstellung von Falschnachrichten kann den negativen Einfluss teilweise wieder umkehren (Bode et al. 2018, Schmid et al. 2019).

Die Effekte zu Richtigstellungen sind nicht durchgehend konsistent (Carey et al. 2020), weisen aber mehrheitlich einen positiven Effekt auf (Bode et al. 2018, Schmid et al. 2019). Nachteilige Wirkungen der Richtigstellung von Falschmeldungen wurden in keiner der gefundenen Studien beobachtet. Vor allem ergaben die Experimente keine Hinweise auf den sogenannten „Backfire-Effekt“, das heißt, die Konfrontation mit Fakten führte in den untersuchten Gruppen nicht zu Reaktanz und bestärkte nicht den Glauben in die Falschnachricht (Schmid et al. 2019). Dies gilt ggf. nur eingeschränkt für Menschen mit starker Voreinstellung bezüglich Verschwörungstheorien.

### Wie sollen Falschnachrichten richtiggestellt werden?

Zur Richtigstellung von Falschnachrichten gibt es unterschiedliche Techniken (z.B. Kontextualisierung, Quellen entlarven, Verlinkung zu seriösen Quellen). Ihr Einsatz hängt unter anderem davon ab, wo Falschnachrichten auftauchen: Dazu gehören etwa generelle Faktenchecks, die auf eigenen Plattformen veröffentlicht werden, aber auch – sofern Falschnachrichten auf sozialen Netzwerken gepostet werden – die sofortige Erwiderung durch Einzelpersonen oder Organisationen. Ob bestimmte Formate wirksamer sind als andere, lässt sich aus der Literatur nicht ableiten (Walter et al. 2018). Sowohl die Strategie, Fakten richtig zu stellen, wie auch die Analyse von Argumentationsmustern bei Desinformationen scheinen einen Effekt zu haben (Schmid et al. 2019). Erste Daten liefern Anhaltspunkte, dass allgemeine Fragen bezüglich der Vertrauenswürdigkeit von Nachrichten, die bei Nutzenden vor dem Teilen einer Nachricht automatisiert aufpoppen, die Anzahl geteilter Falschnachrichten reduzieren können (Pennycook et al. 2020). Experten schlagen zudem vor, Quellen auszuweisen, die systematisch oder häufig Falschnachrichten verbreiten (Fischer 2020). Dies scheint auch ohne Wirksamkeitshinweis plausibel.

Die Daten lassen keine Aussagen darüber zu, ob es zielgruppenspezifische Unterschiede in der Wirksamkeit gibt und welche Zielgruppen mit welchen Maßnahmen am ehesten erreicht werden können. Möglicherweise werden Menschen mit starken Überzeugungen/Voreinstellungen bezüglich Verschwörungstheorien seltener erreicht.

### Wer soll Falschnachrichten überprüfen?

Einzelne Experimente deuten an, dass eine Erwiderung bzw. eine Korrektur mehr Effekt hat, wenn sie von einer vertrauenswürdigen wissenschaftlichen Organisation vorgenommen wird statt von einer Einzelperson (Vraga et al. 2017). Gleichzeitig weisen Erhebungen darauf hin, dass Menschen in Deutschland im Zusammenhang mit COVID-19 wissenschaftlichen (Betsch 2020) und wissenschaftsjournalistischen (Kleis Nielsen et al. 2020) Einrichtungen das meiste Vertrauen entgegenbringen.

## Umsetzung

### Wer stellt Falschnachrichten zu Covid-19 aktuell richtig in Deutschland?

Eine von uns Ende April 2020 durchgeführte Internetsuche über eine Suchmaschine ergab, dass im deutschsprachigen Raum unterschiedliche Einrichtungen Faktenchecks speziell zu Falschaussagen im Zusammenhang mit Covid-19 vornehmen. Aktiv sind journalistischen Organisationen (z.B. *correctiv.org*), Einrichtungen des öffentlich-rechtlichen Rundfunks (z.B. *Tagesschau.de*), wissenschaftliche Einrichtungen (z.B. Cochrane Österreich: *medizin-transparent.at*) und Regierungseinrichtungen (u.a. Bundesregierung, BMBF). Dabei gibt es bislang keine zentrale Plattform, über die alle Faktenchecks abrufbar sind, kein einheitliches methodisches Vorgehen und keine einheitlichen Transparenzkriterien. Einige journalistische Organisationen, die auch über Blogs aktiv sind, reagieren zudem direkt in sozialen Netzwerken und antworten auf Posts mit Falschaussagen (z.B. „Volksverpetzer“, „uebermedien“). Das kostenpflichtige Angebot von Newsguardtech kennzeichnet bereits im Browser Internetseiten danach, ob sie verlässlich arbeiten oder häufig nachgewiesenermaßen Falschnachrichten verbreiten.

## Fazit und Empfehlungen

Falschnachrichten kommen in allen sozialen Medien vor, richten Schaden an, beziehen sich besonders häufig auf Regierungs- und internationale Organisationen und werden von den Plattformen nicht konsistent richtiggestellt oder gelöscht. Das Richtigstellen von Falschnachrichten ist vermutlich wirksam, möglicherweise aber nicht bei allen Zielgruppen; es zeigt keine unerwünschten Wirkungen.

Wir empfehlen daher, zeitnah eine nationale Strategie zum Umgang mit Falschnachrichten zu erarbeiten und zu implementieren. Daran sollen Entscheidungsträger\*innen, Wissenschaftler\*innen und Journalist\*innen beteiligt sein. Diese Strategie soll umfassen:

- Sicherstellung einer einfachen Zugänglichkeit und besseren Verbreitung von hochwertigen Nachrichten und Faktenchecks
- Definition von Mindestanforderungen an das methodische Vorgehen bei der Identifikation und Richtigstellung von Falschnachrichten
- Definition von Mindestanforderungen an Transparenz und Dokumentation bei Faktenchecks
- Konzept für ein nach Zielgruppen stratifiziertes Angebot zum Schutz vor bzw. Richtigstellung von Falschnachrichten
- Definition von Anforderungen an die Anbieter/„Tech-Konzerne“ zum Monitoring von und Umgang mit Falschmeldungen

Bei der Richtigstellung von Falschnachrichten sollen die wissenschaftlichen und wissenschaftsjournalistischen Organisationen, die eher als unabhängig wahrgenommen werden, eine zentrale Rolle spielen. Ihre Arbeit soll unterstützt und ausgebaut werden. Für den deutschsprachigen Raum könnten beispielsweise die Faktencheck-Angebote von *correctiv* (*correctiv.org*) oder von Cochrane Österreich (*medizin-transparent.at*) modellhaft für die Ausgestaltung eines gemeinsamen Angebots herangezogen werden.

## Literatur

- Allington D, Dhavan N (2020). The relationship between conspiracy beliefs and compliance with public health guidance with regard to COVID-19. London: Centre for Countering Digital Hate. King's Research Portal. Internet: <https://t1p.de/h25c>
- Basch CH, Hillyer GC, Meleo-Erwin ZC, Jaime C, Mohlmann J, Basch CE (2020). Preventive behaviours conveyed on youtube to mitigate transmission of COVID-19: Cross-sectional study. *JMIR Public Health Surveill* 2020; 6 (2): e18807
- Bastani P, Bahrami MA (2020). COVID-19 related misinformation on social media: a qualitative study from Iran. *JMIR* 2020 (preprint, March 27)
- Betsch C (2020). COVID-19 Snapshot Monitoring (COSMO). Wissen, Risikowahrnehmung, Schutzverhalten, Vertrauen. Stand 27.4.2020 (Version 08-02). Internet: <https://projekte.uni-erfurt.de/cosmo2020/cosmo-analysis.html>
- Boberg S, Quandt T, Schatto-Eckrodt T, Frischlich L (2020). Pandemic populism: Facebook pages of alternative news media and the corona crisis – a computational content analysis. Muenster online research (MOR) working paper 4/2020. Internet: <https://arxiv.org/abs/2004.02566>
- Bode L, Vraga E K (2018). See Something, Say Something: Correction of Global Health Misinformation on Social Media, Health communication doi: 10.1080/10410236.2017.1331312
- Brennen JS, Simon F, Howard PN, Kleis Nielsen R (2020). Types, sources and claims of COVID-19 misinformation. Factsheet. Apr. 2020. University of Oxford. Internet: <https://t1p.de/fqqs>
- Carey J M, Chi V, Flynn D J, Nyhan B, Zeitzoff T (2020). The effects of corrective information about disease epidemics and outbreaks: Evidence from Zika and yellow fever in Brazil. *Science advances* doi: 10.1126/sciadv.aaw7449
- Cuan-Baltazar JY, Munoz-Perez MJ, Robledo-Vega C, Perez-Zepeda MF, Soto-Vega E (2020). Misinformation of COVID-19 on the Internet. *Infodemiology* study. *JMIR public health surveill* 2020: 6 (2): e18444
- Donovan J (2020). Social Media companies must flatten the curve of misinformation. *Nature* 4/2020. Doi: 10.1038/d41586-202-01107-z
- Europäischer Auswärtiger Dienst (EAD) (2020). EAD Sonderbericht. Update: Kurzbewertung der Narrative und Disinformation der COVID-19-Pandemie (Aktualisierung 2.–22. April 2020). <https://euvsdisinfo.eu/ead-sonderbericht-update-kurzbewertung-der-narrative-und-desinformation-zur-covid-19-pandemie-aktualisierung-2-22-april/>
- Fischer S (2020). What experts say works for combating coronavirus misinformation. <https://www.axios.com/what-experts-say-works-for-combating-coronavirus-misinformation-146084b8-1312-403d-b948-3e190f16b7f3.html> (abgerufen: 1.5.2020)
- Jamieson K. H, Albarracín D (2020). The Relation between Media Consumption and Misinformation at the Outset of the SARS-CoV-2 Pandemic in the US, The Harvard Kennedy School (HKS) Misinformation Review, Volume 1, Issue 2
- Jolley D, Douglas K M (2017). Prevention is better than cure: Addressing anti-vaccine conspiracy theories. *Journal of Applied Social Psychology*, 47, 459–469. doi:10.1111/jasp.12453
- Kleis Nielsen R, Fletcher R, Newman N, Brennen SJ, Howard PN (2020). Navigating the infodemic: How people in 6 countries access and rate news and information about coronavirus. Reuters Institute. <https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/infodemic-how-people-six-countries-access-and-rate-news-and-information-about-coronavirus>
- Kouzi R, Jaoude JA, Kraitem A, El Alam MB, Karam B, Adib E, Zarka J, Traboulsi C, Akl EW, Baddour K (2020). Coronavirus goes viral: Quantifying the COVID-19 Misinformation Epidemic on Twitter. *Cureus*. Doi 10.7759/cureus.7255.
- Larson H (2020). Blocking Information on COVID-19 can fuel the spread of misinformation. *Nature* 580, 306. Internet: <https://t1p.de/alaq>
- Mian A, Khan S (2020). Coronavirus: The spread of misinformation. *BMC Medicine* 2020 18: 89. Internet: <https://t1p.de/1vp8>
- Okan O, de Sombre S, Hurrelmann K, Berens EM, Schaeffer D (2020). Gesundheitskompetenz der Bevölkerung im Umgang mit der Coronavirus-Pandemie. Bielefeld & Berlin, April. Internet: <https://t1p.de/4p54>
- Pennycook G, McPhetres J, Zhang Y, Rand D (2020). Fighting COVID-19 misinformation on social media: Experimental evidence for a scalable accuracy nudge intervention
- Rosenberg H, Syed S, Rezaie S (2020). The Twitter pandemic: The critical role of twitter in the dissemination of medical information and misinformation during the COVID-19 pandemic. *Canad J Em Phys* 2020:1-4. Doi 10.1017/cem.2020.361
- Schaeffer D, Vogt D, Berens E-M, Hurrelmann K (2017). Gesundheitskompetenz der Bevölkerung in Deutschland: Ergebnisbericht (Universität Bielefeld, Fakultät für Gesundheitswissenschaften). Internet: <https://t1p.de/ggnw>
- Schmid P, Betsch C (2019). Effective strategies for rebutting science denialism in public discussions, *Nature human behaviour* doi: 10.1038/s41562-019-0632-4
- Tandoc E C, Lim Z W, Ling R (2018). Defining "Fake News", *Digital Journalism* doi: 10.1080/21670811.2017.1360143
- Volksverpetzer (2020). Faktenchecks zu Attila Hildmann, Ken Jepsen, Thomas Kemmerich, Xavier Naidoo: <https://www.volksverpetzer.de/social-media/naidoo-hildmann-kenfm-co/>; <https://www.volksverpetzer.de/bericht/gera-kemmerich-afd/> (Abruf am 10.05.2020)
- Vraga EK, Bode L (2017). Using Expert Sources to Correct Health Misinformation in Social Media, *Science Communication* doi: 10.1177/1075547017731776
- Walter N, Murphy S (2018). How to unring the bell: A meta-analytic approach to correction of misinformation. *Communication Monographs*. 1-19. 0.1080/03637751.2018.1467564

# Prävention hat oberste Priorität – das Management von COVID-19-Erkrankungen in Alten- und Pflegeheimen<sup>1</sup>

vom 8. April 2020

Ursel Heudorf, Martin Exner, Peter Walger, Christian Zinn und der Vertretungsvorstand der DGKH  
Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V.

Zur Bewältigung der COVID-19-Pandemie in Deutschland wurde neben erheblichen Kontakteinschränkungen in der Bevölkerung (Schließung von Schulen, Geschäften, Verbot von Öffentlichkeitsveranstaltungen, Kontaktverbote) in beispielloser Weise die Behandlungs- und Beatmungskapazität in Krankenhäusern erweitert mit dem Ziel, für die zu erwartende hohe Zahl an schweren Covid-19-Fällen über eine ausreichende Behandlungskapazität zu verfügen.

Während Covid-19 bei Kindern und jüngeren Erwachsenen überwiegend symptomlos oder milde verläuft, sind Menschen mit Grunderkrankungen und insbesondere ältere Menschen erheblich gefährdet, einen schweren Krankheitsverlauf mit Beatmungspflichtigkeit zu entwickeln. Die Sterblichkeit steigt mit steigendem Alter exponentiell an und liegt bei Menschen über 80 Jahren nach chinesischen Daten bei über 20%. Deswegen zählen ältere und pflegebedürftige Menschen zur hoch vulnerablen Risikogruppe. Die Prävention von COVID-19-Erkrankungen bei älteren und pflegebedürftigen Menschen – insbesondere solchen in Heimen – hat oberste Priorität, nicht nur um im Individualfall Erkrankung, Leid und Tod zu verhüten, sondern insbesondere auch um die Kapazitäten des Gesundheitswesens nicht zu überfordern.

Um die Einschleppung des Erregers zu vermindern und die Heimbewohner zu schützen, wurden in allen Bundesländern Besuchsverbote für Angehörige erlassen. Dies ist ein wichtiger, wenn auch ethisch problematischer Schritt. Diese für die Bewohner sehr einschneidende Maßnahme kann aber nur wirken, wenn sie von weiteren Maßnahmen begleitet wird.

Bisherige Beispiele von Covid-19-Ausbrüchen in Pflegeheimen zeigen, dass sich die Infektionen sowohl unter den Bewohnern als auch unter den Mitarbeitern und Besuchern ausbreiten und zu hoher Sterberate unter den Bewohnern führen können. Die Außen- und familiären Kontakte der MitarbeiterInnen stellen ein erhebliches zusätzliches Potenzial für eine weitere Infektionsausbreitung dar.

Das allgemeine Krisenmanagement muss um eine zielgruppenorientierte spezielle Strategie ergänzt werden, die folgende 7 Punkte umfassen muss. Bei konsequenter Einhaltung der Maßnahmen kann auch gleichzeitig ein vertretbares Maß an sozialen Kontakten erlaubt und aufrecht erhalten bleiben.

## 1 Ausreichendes Pflegepersonal

Es muss ausreichend Personal für die sichere Versorgung der Bewohner vorhanden sein. Im Falle eines Personalmangels – z.B. durch Erkrankungen mit SarsCoV2 oder in Folge von Quarantäne-Verordnungen – muss sofort Ersatz verfügbar sein. Dieser muss durch unbürokratische Kostenübernahme der Pflegekassen sichergestellt werden. Personal aus wenig beschäftigten Krankenhäusern oder von Personaldienstleistern könnte dazu bereitgehalten werden. Die Hinweise des RKI bei Personalmangel hinsichtlich der Einsatzkriterien sollten ggfls. angewandt werden.

## 2 Ausreichende Persönliche Schutzausrüstung (Masken, Kittel etc.)

Für das Personal müssen ausreichend Schutzausrüstung und Händedesinfektionsmittel vorhanden sein. Um Ansteckungen durch z. B. asymptomatische Träger möglichst sicher zu vermeiden, ist es erforderlich, dass das Personal in der Einrichtung grundsätzlich einen Mund-Nasen-Schutz trägt und diesen auch regelmäßig wechseln kann. Für die Pflege von Bewohnern mit Covid-19 müssen dem Pflegepersonal ausreichend FFP2-Masken sowie die restliche notwendige Persönliche Schutzausrüstung zur Ver-

### Korrespondenzautor:

Geschäftsstelle der DGKH und des BVÖGD

Joachimsthaler Straße 10

10719 Berlin

E-Mail: [info@krankenhaushygiene.de](mailto:info@krankenhaushygiene.de), [info@bvogd.de](mailto:info@bvogd.de)

<sup>1</sup> Quelle: Erstveröffentlichung der DGKH. Der Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung.

fügung stehen. Eine einheitliche zentrale Zuteilung der Einrichtungen auch mit Desinfektionsmitteln muss gewährleistet sein.

### 3 Angepasste Organisation

- a) Pandemiebeauftragter des Heimes (in der Regel die Heimleitung)
- b) Koordinierender Arzt
- c) Bereichsbezogener Personaleinsatz
- d) Hygienebeauftragte in der Pflege

Es wird empfohlen, in jedem Heim einen Vertreter der Heimleitung als Pandemiebeauftragten zu ernennen. Um die medizinische Versorgung der Bewohner sicherzustellen, aber auch die Kontakte und den möglichen Eintrag von außen zu kontrollieren, sollte ein koordinierender Arzt bestimmt werden. Seine Aufgabe besteht im Wesentlichen darin, sich einen guten Überblick über die Situation der Bewohner zu verschaffen, ggfls. eine Trennung infizierter und nicht-infizierter Bewohner zu organisieren und frühzeitig nicht nur individuelle Behandlungen, sondern auch – in Abstimmung mit dem Pandemiebeauftragten und dem Gesundheitsamt – zusätzliche Maßnahmen einleiten zu können. Die Auswahl eines geeigneten koordinierenden Arztes müsste ggfls. von der lokal verantwortlichen KV in Abstimmung mit dem lokalen Gesundheitsamt bestimmt werden.

Nach Möglichkeit soll für unterschiedliche Bereiche im Heim das Pflegepersonal in getrennten Teams eingesetzt und Besprechungen zwischen den Teams weitgehend reduziert werden. So ist sichergestellt, dass bei einem evtl. unbemerkten Erreger-Eintrag durch asymptomatische Träger die Übertragungen nicht im gesamten Haus, sondern auf einzelne Bereiche eingegrenzt werden können. Die Hygienebeauftragten in der Pflege und – falls vorhanden – die beratende Hygienefachkraft unterstützen den Pandemiebeauftragten und den koordinierenden Arzt.

### 4 Strategischer Einsatz von Testungen in Altenpflegeheimen

Um Übertragungen zu vermeiden, sind frühzeitig – und wiederholt – Tests auf SarsCoV2 vorzunehmen. Hierzu müssen ausreichend Testkapazitäten zur Verfügung stehen und die prioritäre Testung in den Laboren sowie die schnellstmögliche Übermittlung sichergestellt werden. Die Kostenübernahme muss sichergestellt sein. Es sollte jederzeit möglich sein, schnell und effektiv Mitarbeiter und Bewohner zu testen, um zeitnah infektionsprophylaktische Maßnahmen umzusetzen. Wenn immer möglich, sollten in Absprache mit den örtlichen Laboren Pool-Testungen erwogen werden. Diese erlauben bei negativem Testergebnis die gesamte Gruppe an MitarbeiterInnen im Testpool weiterarbeiten zu lassen. Bei positivem Testergebnis muss durch eine Nach-

testung der einzelnen Proben die positiv getestete Einzelprobe identifiziert werden.

### 5 Optimale Hygienemaßnahmen, Händehygiene plus

Durch Einhaltung optimaler Hygienemaßnahmen – Händehygiene, Flächendesinfektion und gute Raumlüftung (!) – muss das Übertragungsrisiko innerhalb des Heims reduziert werden. Soweit möglich, sind die Bewohner zur Einhaltung der Husten- und Niesetikette und der Händehygiene anzuleiten und zu unterstützen. Eine gute Beratung durch erfahrenes Hygienefachpersonal und/oder Personal der Gesundheitsämter muss sichergestellt sein. Jedes Seniorenheim muss rund um die Uhr Zugriff auf hygienische Beratung und im Ausbruchfall auf hygienische Vorortbetreuung haben.

### 6 Bewohner

Bewohner mit einer COVID-19-Erkrankung bzw. mit Nachweis von SarsCoV-2 sollen ihr Zimmer nicht verlassen dürfen und nach Möglichkeit von speziell für sie zuständigem Personal mit FFP2-Masken und der notwendigen persönlichen Schutzausrüstung versorgt werden. Nur im Falle eines Mangels an FFP2-Masken kann eine Verminderung des Infektionsrisikos dadurch erreicht werden, dass beide, der Bewohner mit COVID-19 und die Pflegeperson, einen Mund-Nasen-Schutz tragen.

Inwieweit nicht infizierte Bewohner – unter Beachtung der Hygiene- und der Abstandsregelungen – der Besuch von beispielsweise Gruppenräumen in den Bewohnerbereichen gestattet werden kann, ist unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, der Infektionsprävention, aber auch der individuellen sozialen Situation der Bewohner von der Heimleitung in Absprache mit dem Pandemiebeauftragten, der betreuenden Hygienefachkraft und/oder dem Gesundheitsamt festzulegen. Bei Einhaltung der Abstandsregeln ist der Aufenthalt von Bewohnern im Garten des Heims oder in gut belüfteten Räumen aus gesundheitlicher Sicht ausdrücklich erwünscht. Im Zweifel kann ein beiderseitiges Tragen von MNS auch Besuche ermöglichen.

### 7 Angehörige

Um bei gegebenem Besuchsverbot die soziale Isolation der Bewohner zu vermindern, sollen über elektronische Kommunikation hinaus, in Abhängigkeit von den Gegebenheiten vor Ort, unter Einhaltung des gebotenen Abstands weitere direkte Kontaktmöglichkeiten angeboten werden.

Wir werden die weitere Entwicklung verfolgen und die Empfehlungen anpassen, mit dem Ziel, die Lebensqualität der Menschen in den Pflegeheimen wieder schnellstmöglich zu verbessern.

# Bekämpfung der COVID-19-Epidemie in Deutschland – Notwendige Rollenverteilung zwischen ambulantem und stationärem Sektor sowie öffentlichem Gesundheitsdienst

Stellungnahme Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH), Bundesverband der Ärztinnen und Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (BVÖGD), Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP)

Peter Walger<sup>1</sup>, Ute Teichert<sup>2</sup>, Martin Exner<sup>3</sup>, Caroline Herr<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Verantwortlicher für Öffentlichkeitsarbeit der DGKH; <sup>2</sup>Vorsitzende des BVÖGD, Berlin; <sup>3</sup>Präsident der DGKH, Bonn; <sup>4</sup>Präsidentin der GHUP

## 1 Aktueller Anlass

Verdachtsfälle von SARS-CoV-2 Virus zu erkennen, Kontaktpersonen zu ermitteln, Quarantänemaßnahmen zu gewährleisten und das Management der ambulant zu versorgenden Infizierten zu organisieren, damit eine unverzügliche medizinische Versorgung bei klinischer Verschlechterung garantiert werden kann – das kennzeichnet die aktuellen Prioritäten des Pandemie-Managements für den Öffentlichen Gesundheitsdienst (ÖGD) in Deutschland in Kooperation mit den ambulanten und stationären Versorgungsbereichen.

## 2 Überforderung des ÖGD am Beispiel der aktuellen COVID-19-Epidemie

BVÖGD, DGKH und die GHUP sehen in unzureichenden Schwerpunktsetzungen und oftmals unzureichender Kooperation der Hauptakteure des Krisenmanagements, den niedergelassenen Ärzten und ihren Kassenärztlichen Vereinigungen, den Gesundheitsämtern und den Krankenhäusern die Gefahr, dass die weitere Ausbreitung des neuen Coronavirus nicht effektiv genug verlangsamt wird. In Kenntnis der aktuellen Entwicklungen der SARS-CoV-2-Ausbreitung müssen die Kräfte des ÖGD auf das Wesentliche konzentriert werden.

Das beinhaltet Verdachtsfälle zu erkennen, Kontaktpersonen zu ermitteln und das Management der ambulant zu versorgenden Infizierten so zu organisieren, dass eine

unverzögliche medizinische Versorgung bei klinischer Verschlechterung gewährleistet werden kann. Das erfolgt durch Symptommonitoring, Einbindung der niedergelassenen Ärzteschaft, der ambulanten medizinischen Dienste, der Rettungsdienste, der Polizei und der Zivilbevölkerung in Form von Nachbarschaftshilfe und anderer Formen privater Unterstützungen.

Die rasante Ausbreitung von Covid-19 in Südkorea, im Iran und in Italien zeigt aktuell, dass auch in Deutschland trotz aller Eindämmungsstrategien damit gerechnet werden muss, dass es zu einer weiteren exponentiellen Zunahme der Zahl der Infizierten kommen wird.

Der nordrheinwestfälische Hot-Spot Heinsberg zeigt, dass bereits nach wenigen Tagen die bislang empfohlenen Maßnahmen der Kontaktnachverfolgung nicht ausgereicht haben, um eine weitere Ausbreitung von SARS-CoV-2 in Nordrhein-Westfalen und darüber hinaus zu verhindern.

Das European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) weist aus diesem Grund darauf hin (<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/resource-estimation->

### Korrespondenzautor:

Geschäftsstelle der DGKH und des BVÖGD  
Joachimsthaler Straße 10  
10719 Berlin

E-Mail: [info@krankenhaushygiene.de](mailto:info@krankenhaushygiene.de), [info@bvoeagd.de](mailto:info@bvoeagd.de)

*contact-tracing-quarantine-and-monitoring-activities-covid-19*), wie sich die Bedeutung der Kontaktpersonennachverfolgung im Verlauf einer zunehmenden Ausbreitung der Infektionen wandelt:

*„As cases increase it will become increasingly challenging to trace all contacts of cases. Contact tracing alone is unlikely to control the outbreak and additional measures will be necessary (consult ECDC guideline on non-pharmaceutical measures). The point at which extensive contact tracing becomes unsustainable due to limited resources will vary between different countries in the EU/EEA. It must be emphasized, however, that there is still value in tracing contacts even if not all contacts of each case are traced. This will help slow the spread of infection and if, on average, less than one new case arises from each case, the outbreak can be contained. In such a scenario, contact tracing and follow-up can be prioritized first to the highest-risk exposure contacts of each case, which are usually the easiest to find, including HCWs or staff working with vulnerable populations, followed by as many as possible of the low-risk exposure contacts.“*

DGKH, BVÖGD und die GHUP sehen mit großer Sorge, dass die aktuellen personellen und strukturellen Ressourcen bereits in der Frühphase der Epidemie in unserem Land erkennbar an ihre Grenzen gestoßen sind. Die stereotype Wiederholung, dass wir in Deutschland bestens vorbereitet sind und dass wir eines der besten Gesundheitswesen der Welt hätten, wird durch die aktuellen Entwicklungen außerhalb der Krankenhäuser in Frage gestellt.

Deutschland hat in Europa und im OECD-Vergleich mit die höchste Anzahl an hospitalisierten Patienten und mit die ungünstigste Relation von Pflegepersonal/Patienten, wodurch eine erhebliche Belastung des medizinischen Personals resultiert ([https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-2019\\_4dd50c09-en](https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-2019_4dd50c09-en)).

Der BVÖGD weist seit Jahren darauf hin, dass der ÖGD in Krisensituationen an die Grenzen seiner Belastbarkeit stößt. Aus den Erfahrungen mit SARS, Ebola, EHEC sowie der Vogel- und Schweinegrippe sind keine Lehren hinsichtlich der praktischen Fragen von Ressourcen für den ÖGD gezogen worden. Seine personelle Situation hat sich stattdessen weiter verschärft. Die aktuelle Lage bereits zu Beginn der massiven Herausforderungen durch Covid-19 ist durch einen eklatanten Personalmangel in den Gesundheitsämtern gekennzeichnet. Die Aufgabenzuschreibung der Kontaktpersonennachverfolgung und des Quarantäne-Managements von Infizierten und Verdachtsfällen ist mit qualifiziertem Personal kaum bewältigbar.

Die DGKH hat in ihren aktuellen Stellungnahmen die Sorge geäußert, dass auch im stationären Bereich die Prioritäten neu bestimmt werden müssen. Die Situation der Krankenhäuser im Falle eines erheblichen Anfalles von Schwerkranken wird man gleichfalls neu bewertet werden müssen. Ent-

scheidend wird sein, mit welcher Geschwindigkeit sich die Epidemie ausbreitet und absehbar auch zu einer steigenden Zahl Schwerkranker führen wird.

Nur Patienten mit klinisch schwerer Verlaufsform sollten in stationäre Behandlung aufgenommen werden. Das stationäre Versorgungssystem darf nicht mit dem Quarantänemanagement symptomloser oder symptomarmer Covid-19-Patienten überfordert und auch nicht durch Abklärungsaufgaben im Aufnahmebereich fehlbelastet werden.

Die DGKH hat dabei auch das Risiko einer nosokomialen Übertragung auf weitere Patienten in stationärer Behandlung und auf das medizinische Personal im Blick, wenn sich Aufgaben im Krankenhaus konzentrieren, die ambulant gelöst werden können. Das gilt auch, wenn Medizinische Dienste, Polizei und Rettungsdienste für Aufgaben in Anspruch genommen werden, die absehbar nicht dazu beitragen, die weitere Ausbreitung von SARS-CoV-2 einzudämmen. Das massenhafte Screening von Personengruppen, die erkennbar nicht zu den hauptbetroffenen Gruppen potenziell Schwerkranker gehören, gehört ebenso zu den unnötigen Aktivitäten wie das Fieberscreening an Flughäfen oder bei Grenzkontrollen, die erhebliche Ressourcen binden, ohne dass der Wert für die Abschwächung (Mitigation) eines Ausbruchgeschehens belegt ist.

Je rasanter sich Covid-19 ausbreitet, umso mehr muss sich die Kontaktpersonennachverfolgung auf prioritäre besonders zu schützende Kontaktgruppen konzentrieren. Je mehr Infizierte krank werden, umso mehr müssen sich die zur Verfügung stehenden Ressourcen auf das frühe Erkennen und die medizinische Versorgung der schwer Erkrankten konzentrieren.

### 3 Forderungen von BVÖGD, DGKH und GHUP

- DGKH, BVÖGD und die GHUP erwarten von den politisch Verantwortlichen auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene, dass eine entsprechende Prioritätensetzung jetzt erfolgen muss. Während Patienten mit milden Verlaufsformen von Covid-19 in ambulanter häuslicher Quarantäne von niedergelassenen Ärzten gemeinsam mit den Gesundheitsämtern versorgt werden können, müssen sich die Krankenhäuser auf die medizinische und intensivmedizinische Versorgung der Schwerkranken konzentrieren. Krankenhauspersonal, Hausärzte und der ÖGD müssen daher in besonderer Weise u.a. mit ausreichender Schutzausrüstung versorgt werden.
- In der jetzigen Situation muss Kooperation und nicht Schuldzuweisung höchste Priorität haben.
- DGKH, BVÖGD und die GHUP erwarten eine transparente Information der Bevölkerung, dass wir nach Bewertung aller seriösen Daten gemäß Einschätzung der WHO am Beginn einer Pandemie durch das neue Virus SARS-CoV-2 stehen. Die Geschwindigkeit, mit der sich das Virus weltweit und mittlerweile auch in Europa und

Deutschland ausbreitet, entscheidet darüber, welche Herausforderungen in den nächsten Wochen und Monaten bewältigt werden müssen. Es wird voraussichtlich ein Zeitpunkt kommen, an dem uns die Entwicklung zwingt, uns nur noch mit dem Wesentlichen zu befassen – das ist die medizinische Versorgung der Schwerkranken und das Symptom-Monitoring von Patienten der Risikogruppen.

- Schwerpunkte der nächsten Tage muss die flächendeckende Einrichtung und Inbetriebnahme von stationären oder mobilen Diagnostikeinheiten (Abstrichzentren) in Städten und in ländlichen Flächenbezirken außerhalb der Krankenhäuser sein. Diese unterliegen der organisatorischen Planung sowohl durch die Kassenärztlichen Vereinigungen als auch die Gesundheitsbehörden auf Landes- oder kommunaler Ebene. Dies sollte in enger Abstimmung gemeinsam erfolgen. Hierdurch werden die Arztpraxen entlastet, die Krankenhäuser können sich auf ihre eigentliche Aufgabe, die Versorgung schwerkranker Personen, konzentrieren. Dadurch werden auch die Übertragungsrisiken für das medizinische Personal deutlich reduziert.
- Die Abstrichdiagnostik sollte, wenn möglich, durch die zu untersuchenden Personen selbst erfolgen, um das Risiko der Tröpfchenexposition eines medizini-

schen Untersuchers zu vermeiden. Anamneseerhebung und Indikationsstellung erfolgen in gegenseitiger Absprache von niedergelassenen Ärzten oder Ärzten im ÖGD. Zusätzlich könnten im Ruhestand befindliche Ärzte oder „Reservisten“ zur Unterstützung gewonnen werden.

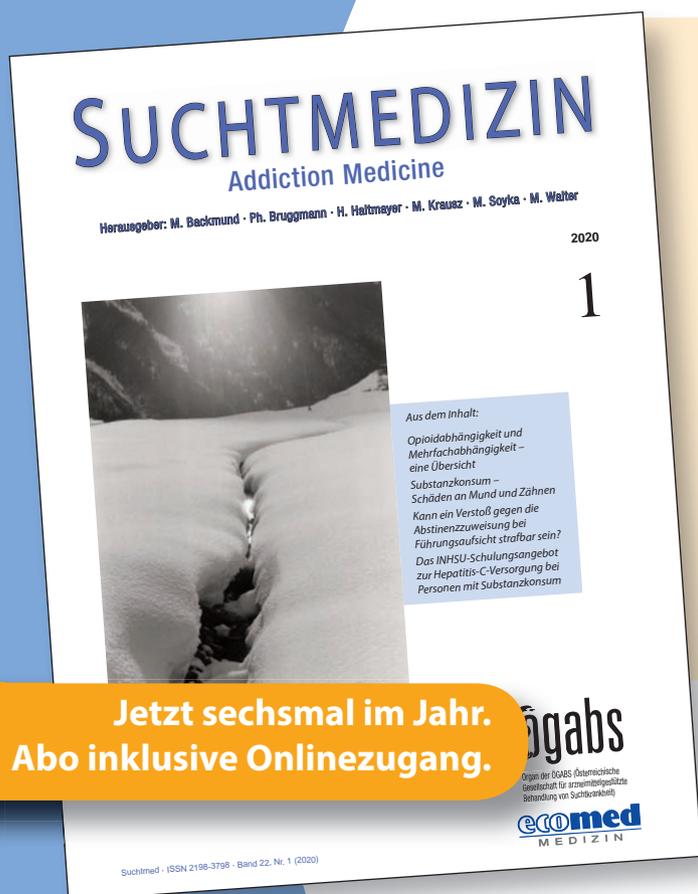
- Die Herausforderungen des ambulanten Managements verlangen eine Prioritätensetzung, die die personellen und strukturellen Defizite unseres öffentlichen Gesundheitsdienstes berücksichtigt und viel stärker als bisher die niedergelassene Ärzteschaft, die ambulanten medizinischen Dienste, die Ordnungs- und Rettungsdienste sowie die Zivilbevölkerung einbezieht.
- DGKH, BVÖGD und die GHUP begrüßen die zielgerichtete Kooperation zwischen Kassenärztlichen Vereinigungen und den staatlichen Gesundheitsbehörden mit ihren kommunalen Gesundheitsämtern bei der Bewältigung des ambulanten Epidemie-Managements, wie sie beispielhaft in Hessen und in Westfalen-Lippe vereinbart wurden und aktuell umgesetzt werden.
- Spätestens nach einem Ende der Pandemie müssen endlich die notwendigen Lehren aus der unzureichenden Personalausstattung des ÖGD gezogen werden, um den Gesundheitsschutz der Bevölkerung nachhaltig zu sichern.

Daten. Fakten. Analysen.

# Suchtmedizin

## Addiction Medicine

Fundiert. Geprüft. Übersichtlich aufbereitet.



Jetzt sechsmal im Jahr.  
Abo inklusive Onlinezugang.

**ecomed**  
MEDIZIN

### Fundierte, verlässliche Fachinformationen zu drängenden Fragen der Suchtmedizin

- Mit wissenschaftlichen **Originalartikeln** und **Übersichtsbeiträgen**, aktuellen Berichten und interessanten Beobachtungen
- **Profiliertes Herausgeberteam:**  
Prof. Dr. Markus Backmund, PD Dr. Philip Bruggmann, Dr. Hans Haltmayer, Prof. Dr. Michael Krausz, Prof. Dr. Michael Soyka, Prof. Dr. Marc Walter
- **Gutachterverfahren (Peer review)** – dadurch hohe Expertise
- Ihr lebendiges **Service-Forum** der Suchtmedizin: Leserbrief, Rezensionen, Veranstaltungskalender, Weiterbildung ...
- **Umfassende Abstract-Dokumentation** der Interdisziplinären Kongresse für Suchtmedizin in München

Weitere Infos unter [www.ecomed-suchtmedizin.de](http://www.ecomed-suchtmedizin.de)

Markus Backmund / Philip Bruggmann / Hans Haltmayer  
Michael Krausz / Michael Soyka / Marc Walter (Hrsg.)

### Suchtmedizin

ISSN 2198-3798  
erscheint 6-mal jährlich

### Jahresabonnement:

Print (inkl. Online): € 191,99  
IP-Zugang: € 257,99  
Einzelheft: € 38,-  
(zzgl. Versandkosten)

Interesse? Hier können Sie die **Suchtmedizin** abonnieren und Einzelhefte bestellen:

[www.ecomed-suchtmedizin.de](http://www.ecomed-suchtmedizin.de)

Und als Abonnentin/Abonnent das **Online-Archiv** nutzen.

# Vorkommen und gesundheitliche Auswirkungen globaler Schadstoffbelastungen

J. Becker, S. Böse-O'Reilly

## 1 Einleitung

Die Umweltverschmutzung durch Schadstoffe ist neben dem Klimawandel, der Wüstenausbreitung (Desertifikation), dem Verlust der Biodiversität, der Versauerung der Meere und der Erschöpfung der Trinkwasserreserven eine der existenziellen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts (Rockström et al. 2009). Sie gefährdet die Gesundheit von Milliarden von Menschen, schädigt lebende Ressourcen und Ökosysteme, beeinträchtigt die wirtschaftliche Sicherheit vieler Nationen und ist verantwortlich für eine erhebliche globale Krankheitsbelastung, vorzeitige Todesfälle und Morbidität (Landrigan et al. 2018).

Im Kontext der „epidemiological risk transition“ wird davon ausgegangen, dass, einhergehend mit der fortschreitenden Entwicklung der Länder, die Formen der Verschmutzung, welche historisch gesehen mit Armut und traditionellen Lebensstilen verbunden waren, wie Luft- und Wasserverschmutzung durch Haushalte, langsam abnehmen (Smith u. Ezzati 2005). Im Gegensatz dazu geht man davon aus, dass die Verunreinigung der Außenluft, der Böden und durch Chemikalien stark zunehmen (Smith u. Ezzati 2005, Omran 2005).

Dies lässt sich eindeutig beobachten: Besonders die Verschmutzung durch Industrieemissionen, Verkehrsemissionen und toxische Chemikalien hat in den letzten 500 Jahren weltweit stark zugenommen (Landrigan et al. 2018). So ist beispielsweise die weltweite Produktion anthropogener Chemikalien zwischen 1930 und 2000 von 1 auf 400 Millionen Tonnen im Jahr angestiegen. Bei genauerer Betrachtung galten über 50 % der Chemikalienproduktion zwischen den Jahren 2002 und 2011 als umweltschädlich (Gavrilescu et al. 2015). Auch die Zahl der motorisierten Fahrzeuge steigt weiter an: Prognosen rechnen mit über 2 Milliarden Fahrzeugen im Jahr 2020. Über die Hälfte der globalen Ölproduktion wird im Verkehrssektor verbraucht, der erheblich zur Feinstaub-, Ozon-, und Stickstoffdioxidbelastung beiträgt (Kodjak 2015, Pöhler u. Platt 2016).

Einige Ursachen für den Anstieg dieser Art von Verschmutzung lassen sich eindeutig identifizieren: Das unkontrollierte Wachstum von Städten, eine zunehmende Nachfrage nach Energie, die Zunahme von motorisierten Kraftfahrzeugen und Schiffen, eine Zunahme des Bergbaus, der Ver-

hüttung und der Entwaldung, die weltweite Verbreitung toxischer Chemikalien und eine Zunahme der Anwendung von Pestiziden, Insektiziden und Herbiziden (Landrigan et al. 2018, Wilkinson et al. 2007). Die Hauptursache für diese Entwicklungen ist jedoch das Bevölkerungswachstum, mit einer geschätzten Zunahme von circa 74 Millionen Menschen pro Jahr (Dovers u. Butler 2018). Eine Kehrtwende dieses Trends ist nicht zu erwarten und die Vereinten Nationen gehen davon aus, dass die Weltbevölkerung im Jahr 2050 bei 9,8 Milliarden liegen wird (United Nations 2017). Das Bevölkerungswachstum geht einher mit einer Zunahme der Lebensmittelnachfrage, des Energiebedarfs, der Produktion von Müll und somit auch der Schadstoffbelastung (Dovers u. Butler 2018, Sherbinin et al. 2007).

Diese Entwicklung gilt natürlich nicht für alle Schadstoffe und Regionen der Welt gleichermaßen. Es existieren erhebliche Unterschiede, besonders zwischen Ländern mit niedrigen und hohen Einkommen. So hat sich beispielsweise die Annahme über den Rückgang traditioneller Formen der Verschmutzung in vielen Niedriglohnländern nicht bestätigt. Zwar kann man in vielen Ländern mit fortschreitender Industrialisierung eine Zunahme der Außenluftverschmutzung beobachten, gleichzeitig sind jedoch weiterhin über drei Milliarden Menschen weltweit von dem Verbrennen von Biomasse abhängig, um ihren täglichen Energiebedarf zu decken (Mannucci u. Franchini 2017). In Asien beispielsweise lässt sich dieses Phänomen gut beobachten, da hier in vielen Ländern Industrialisierung, Urbanisierung und Verkehrsentwicklung besonders schnell vorangeschritten sind. Allerdings fanden diese Entwicklungen sehr zentriert und ungleichmäßig statt, sowohl innerhalb der einzelnen Länder, als auch über den gesamten Kontinent hinweg. Dies führt dazu, dass sowohl die Verschmutzung der Außenluft, als auch die der Innenluft konstant die vorgegebenen Grenzwerte der Weltgesundheitsorganisation (WHO) überschreiten (Ezzati et al. 2005, Banerjee et al. 2012). Als klassisches Beispiel gilt China, welches auch durch die schnelle Industrialisierung und Bevölkerungsentwicklung weltweit

### Korrespondenzautor:

PD Dr. med. Stephan Böse-O'Reilly  
 Leiter AG Globale Umweltgesundheit  
 Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin  
 LMU Klinikum  
 Ziemssenstr. 1  
 80336 München  
 E-Mail: [stephan.boeseoreilly@med.uni-muenchen.de](mailto:stephan.boeseoreilly@med.uni-muenchen.de)

Quelle: Erstveröffentlichung im Handbuch der Umweltmedizin. ecomed MEDIZIN, ecomed-Storck GmbH, Landsberg am Lech.

die größten Probleme mit Luftverschmutzung aufweist (Kan et al. 2012, Hou et al. 2010).

Durch die Anwendung neuer Technologien hat das wissenschaftliche Verständnis über den Zusammenhang zwischen Schadstoffexposition und Krankheitslast in den letzten Jahren stark zugenommen (National Academy of Science 2012, Brauer et al. 2012). Verschmutzungsquellen sowie die Ausbreitung und zeitliche Trends der Verschmutzung können nun auch für entfernte Standorte erfasst und deren genaue Zusammensetzung durch anspruchsvolle chemische Analysen bestimmt werden (Brauer et al. 2012, Sorek-Hamer et al. 2016, Valavanidis et al. 2008).

Außerdem haben umfassende Langzeitstudien ergeben, dass die Schadstoffexposition mit negativen Gesundheitseffekten erheblicher korrelieren als früher angenommen (Pope 1989, Dockery et al. 1993). Dies betrifft im Besonderen nicht-übertragbare Krankheiten. So hat sich gezeigt, dass Schadstoffbelastung grundsätzlich ein wichtiger Faktor für die folgenden Erkrankungen sein kann: Asthma, Krebs, Störungen bei der Entwicklung des Nervensystems, Geburtsfehler bei Kindern, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schlaganfälle und COPD bei Erwachsenen (Thurston u. Lippmann 2015, Cohen et al. 2017, Krewski et al. 2009).

## 2 Definitionen und Methodik

### 2.1 Umweltverschmutzung

Was versteht man unter Umweltverschmutzung? Umweltverschmutzung wird als Umweltbelastung definiert, welche durch stoffliche (feste, flüssige, gasförmige) Rückstände ausgelöst wird. Physikalische Faktoren (Strahlen, Lärm, Erschütterungen) sind hingegen in der Definition nicht eingeschlossen (Beys 2015). Einige Definitionen berücksichtigen zusätzlich die Rolle des Menschen: Hier werden die Rückstände als ungewollt, durch den Menschen ausgelöst und für Menschen als gesundheitsgefährdend beschrieben (Landrigan et al. 2018).

### 2.2 Die Krankheitslast

Die Gesundheitsauswirkungen der Exposition mit Umweltschadstoffen können mit Hilfe der „Burden of Disease“ berechnet werden. Das Maß der „Burden of Disease“, also der Krankheitslast, basiert auf der Berechnung der „disability adjusted life years“, auch DALYs genannt und wurde in den 1980er-Jahren von der WHO (World Health Organization) entwickelt (Murray et al. 1996). Unter Berücksichtigung von Prävalenz und Krankheitsschwere messen DALYs vorzeitige Mortalität und Morbidität. Sie bestehen aus der Summe der „Years of Life lost“ (YLL) und „Years lived with Disability“ (YLD). Sie beschreiben damit die tatsächliche Situation, in der Menschen durch Krankheiten sterben oder eingeschränkt werden, im Vergleich zu einer

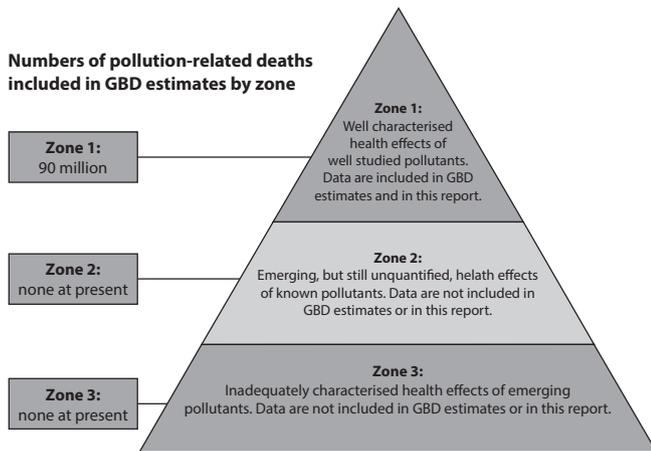
idealen Situation, in der alle Menschen ohne Krankheit die durchschnittliche Lebenserwartung erreichen. Der Vorteil der DALY-Berechnung liegt darin, dass Todesalter und Erkrankungsalter der Personen in die Berechnung eingeschlossen werden (WHO 2018b). DALYs ermöglichen somit Vergleiche von Risikofaktoren und Gesundheitszuständen und sind hilfreich für politische Entscheidungsfindung und Prioritätensetzung. Nach DALY-Berechnungen waren sowohl die Feinstaubbelastung der Außenluft, als auch die Verschmutzung der Innenraumluft durch Brennstoffe im Jahr 2015 unter den 10 Hauptrisikofaktoren für Morbidität und Mortalität (Cohen et al. 2017).

Da Daten bezüglich Morbidität schwierig zu erheben sind, beschränkt man sich häufig auf die Auswertung der vorzeitigen Todesfälle (Landrigan et al. 2018, Murray et al. 1996, Mathers et al. 2001). Als solche werden die Todesfälle bezeichnet, die vor dem Erreichen eines bestimmten erwarteten Alters eintreten. Das erwartete Alter stellt in dem Fall die mittlere Lebenserwartung dar (National Cancer Institute 2016). Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Konzept der DALYS und verlorenen Lebensjahre zu aussagekräftigeren Ergebnissen führt, da das erreichte Lebensalter berücksichtigt wird, während dies bei den vorzeitigen Todesfällen nicht der Fall ist. Dies ist besonders relevant bei Betrachtung der Schadstoffbelastung, da diese überwiegend Kinder und Menschen in hohem Alter betrifft. Die Unterschiede zwischen dem Tod eines Kindes und eines Erwachsenen nahe Erreichen der mittleren Lebenserwartung können bei reiner Betrachtung der vorzeitigen Todesfälle nicht dargestellt werden (Landrigan et al. 2018, Prüss-Üstün et al. 2003). Im Gegensatz dazu ist die Berechnung von DALYS komplexer und die Ergebnisse oft schwerer verständlich. Die Landrigan-Studie, welche die zurzeit aktuellsten Daten zu dem Thema Schadstoffe und gesundheitliche Auswirkungen liefert, hat beide Daten berechnet, bezieht sich jedoch aus den oben genannten Gründen häufig auf die vorzeitigen Todesfälle, da diese die Dimensionen der Schadstoffbelastung deutlicher aufzeigen. Deswegen wird in diesem Kapitel auch häufig die Zahl vorzeitiger Todesfälle genannt.

### 2.3 Exposom, Pollutom

Die Gesamtheit der Expositionen gegenüber nicht-genetischen Faktoren, wie sozialen Faktoren und Umweltfaktoren, während des gesamten Lebens wird als Exposom bezeichnet. Das Exposom wurde komplementär zum Genom entwickelt und beide sind relevant für das Auftreten von Krankheiten. Abgeleitet von dem Begriff „Exposom“ wurde der englische Begriff „Pollutom“ geprägt (Landrigan et al. 2018). Das Pollutom beinhaltet die Gesamtheit aller Arten von Verschmutzung, welche die menschliche Gesundheit potenziell gefährden und dient dazu, wissenschaftliche Erkenntnisse über Umweltverschmutzung und Schadstoffbelastungen und deren Auswirkungen auf die Gesundheit besser einordnen zu können (► Abb. 1) (Landrigan et al. 2018, Wild 2005, 2012).

### 3 Krankheitslast durch Schadstoffbelastung



**Abbildung 1:** Das Pollutom – Gesundheitsrisiken durch Umweltverschmutzung. Erläuterung siehe Text (GBD = global burden of disease) (Reprinted from Landrigan et al. 2018, Fig. 3, © 2020, with permission from Elsevier)

Entsprechend den großen Unterschieden bezüglich des Wissens über die verschiedenen Arten von Schadstoffen, ist das Pollutom in drei Zonen aufgeteilt:

Zone 1 beinhaltet die Schadstoffe, die bereits im eindeutigen Zusammenhang zur Krankheitslast stehen und deren Anteil an dieser auf gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen. Der Effekt der Außenluftverschmutzung auf die Entwicklung von nichtübertragbaren Krankheiten findet sich zum Beispiel in dieser Kategorie. So gilt es als erwiesen, dass ein Zusammenhang zwischen der langfristigen Belastung durch Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) und der Morbidität und Mortalität durch kardiovaskuläre Erkrankungen, Atemwegserkrankungen und Lungenkrebs besteht. Mehrfache systematische Literaturrecherche durch die WHO und die US Environmental Protection Agency bestätigen diese Ergebnisse (Cohen et al. 2017).

Zone 2 beinhaltet die Schadstoffe, denen bereits ein schädlicher Gesundheitseffekt zugeordnet werden kann. Die Verbindung zwischen Exposition und Gesundheitsfolgen ist jedoch weder vollständig beschrieben, noch ist der Anteil an der Krankheitslast sicher quantifizierbar. Beispiele für Assoziationen zwischen Schadstoffen und Krankheiten in der Zone 2 sind die Auswirkungen von Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>)-Exposition auf Diabetes, Frühgeburten und Krankheiten des zentralen Nervensystems. Der Einfluss der Exposition kann hier als potenziell wichtig beschrieben werden, für genauere Aussagen fehlen bisher jedoch weitere wissenschaftliche Nachweise (Krewski et al. 2009, Cosselman et al. 2015, Malley et al. 2017, Heusinkveld et al. 2016, Perera 2017).

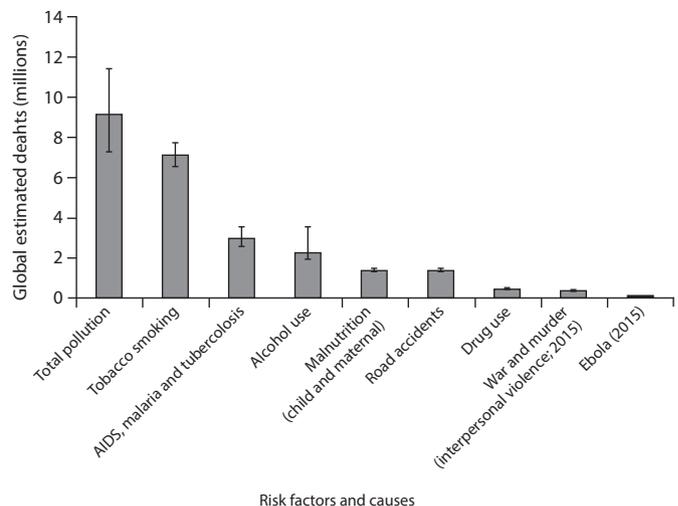
Zone 3 beinhaltet neu entwickelte bzw. verstärkt eingesetzte Substanzen, deren Wirkungen auf die menschliche Gesundheit noch nicht ausreichend geklärt oder verstan-

den sind. Bei vielen der Stoffe in Zone 3 handelt es sich um chemische Substanzen, die zum Teil bereits im großen Umfang in der Umwelt zu finden sind, da sie zum Beispiel in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Viele dieser Stoffe sind auch im Körper von exponierten Personen nachweisbar. Beispiele sind endokrine Disruptoren, einige Arten von Pestiziden, beispielsweise Neonicotinoide und chemische Herbizide, wie das derzeit intensiv in der Öffentlichkeit und Wissenschaft diskutierte Glyphosat. Zumindest einige dieser Schadstoffe haben das Potenzial, global Morbidität und Mortalität negativ zu beeinflussen (Cimino et al. 2017, O’Neill 2016, Kümmerer 2009, Petrie et al. 2015).

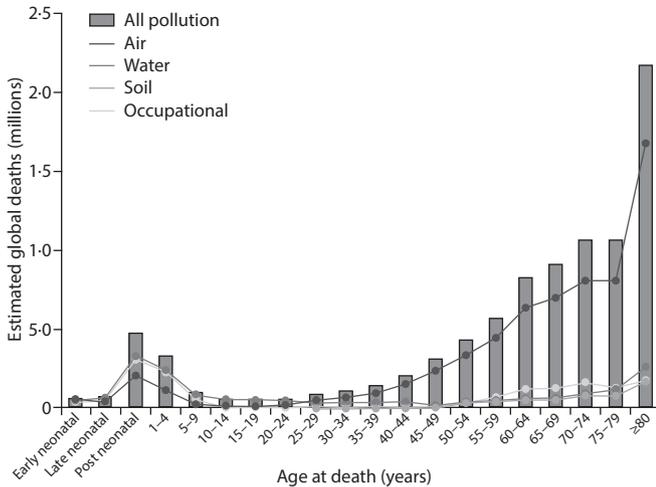
#### 3.1 Schadstoffbelastung und vorzeitige Sterblichkeit

Nach Landrigan et al. (2018) können weltweit 9 Millionen vorzeitige Todesfälle auf die Exposition mit Schadstoffen zurückgeführt werden. Diese machen etwa 16 % der gesamten globalen Mortalität aus (Landrigan et al. 2018, GBD 2016a, Prüss-Üstün u. Neira 2016, WHO 2016). Zusätzlich sind die durch Verschmutzung ausgelösten Krankheiten weltweit für 268 Millionen DALYs verantwortlich. Diese teilen sich auf in 254 Millionen verlorene Lebensjahre durch frühzeitigen Tod und 14 Millionen Jahre, die von Morbidität geprägt sind (GBD 2016b). Die Schadstoffbelastung kann damit als eine wesentliche Ursache für Krankheiten, Morbidität und vorzeitige Mortalität angesehen werden.

Die Zahl von 9 Millionen vorzeitigen Todesfällen ist auch in der Hinsicht überraschend, als dass sie die Zahl der Todesfälle durch andere Ursachen weit überträgt (► Abb. 2) (GBD 2016c). Auch verglichen mit den Todesfällen durch Tabakrauchen, den großen Infektionskrankheiten wie HIV, Aids und Tuberkulose, den Toten durch Alkoholmissbrauch, Fehlernährung, Kriege und Verkehrsunfälle sowie



**Abbildung 2:** Geschätzte Globale Todesfälle nach Hauptrisikofaktoren und Todesursachen (Reprinted from Landrigan et al. 2018, Fig. 5, © 2020, with permission from Elsevier) (GBD 2016c)



**Abbildung 3:** Geschätzte Zahl der Todesfälle durch Umweltverschmutzung in Abhängigkeit von Alter im Jahr 2015 (Reprinted from Landrigan et al. 2018, Fig. 10, © 2020, with permission from Elsevier) (GBD 2016c)

den Toten durch die Ebola-Epidemie, welche internationale mediale Aufmerksamkeit erregte, sticht die Schadstoffbelastung deutlich hervor (GBD 2016c). Dies steht deutlich im Widerspruch zur bisher allgemein anerkannten Einschätzung gesundheitlicher Risiken.

In Abbildung 2 ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Todesfälle durch Umweltverschmutzung überwiegend ältere Personen betreffen (► Abb. 3). Das ist bei anderen Risikofaktoren wie Infektionserkrankungen, Kriegen, Verkehrsunfällen etc. anders, so dass die Betrachtung von verlorenen Lebensjahren hier angemessener wäre. Leider reicht aber die Datenlage nicht aus, um DALYs zu berechnen, so dass in Abbildung 2 die vorzeitigen Todesfälle angegeben werden.

Der größte Teil der durch Schadstoffe ausgelösten Krankheitslast, etwa 71 %, wird durch nichtübertragbare Krankheiten verursacht (GBD 2016c). Im Detail bedeutet das, 21 % der kardiovaskulären Erkrankungen, 26 % der ischämischen Herzerkrankungen, 23 % der Schlaganfälle, 51 % der Todesfälle durch obstruktive Lungenerkrankungen und 43 % der Todesfälle durch Lungenkrebs sind auf Schadstoffexposition zurückzuführen (GBD 2016a).

► **Abbildung 1** macht jedoch deutlich, dass es sich bei der bisher quantifizierbaren Krankheitslast durch Umweltschadstoffe erst um die Spitze des Eisberges handelt. Denn obwohl bereits wesentlich mehr Schadstoffe bekannt sind, als in der Studie eingeschlossen, liegen zu den meisten nur wenig Erkenntnisse vor, besonders in Bezug auf deren Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass die Zahl gesundheitsgefährdender Schadstoffe und der Krankheiten, die auf diese Schadstoffbelastung zurückzuführen ist, in Zukunft steigen wird. Wenn weitere Schadstoffe in den Fokus der Wissenschaftler geraten, können durch eine Zunahme der Erkenntnisse in Zukunft ver-

mutlich mehr Schadstoffe aus den Zonen 2 und 3 in Zone 1 aufsteigen und folglich bei der Berechnung der Krankheitslast berücksichtigt werden. Es ist jedoch derzeit nicht möglich, die Zahl der Todesfälle zu bestimmen, die auf die Exposition mit den Schadstoffen aus diesen beiden Zonen zurückgeführt werden können (Landrigan et al. 2018).

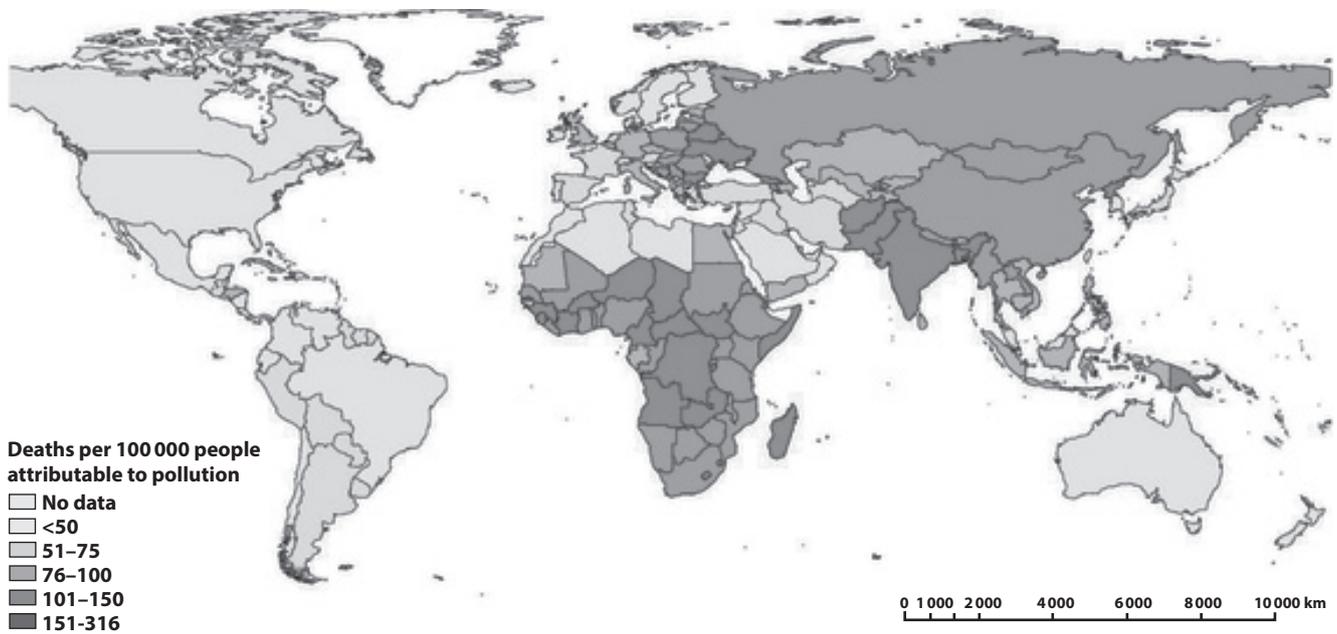
### 3.2 Umweltverschmutzung, Schadstoffbelastung und Armut

Mit einem Anteil von 92 %, wird der größte Anteil der auf Schadstoffe bezogenen Mortalität in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen beobachtet (► Abb. 4), die Zahlen sind nicht altersadjustiert. Der größte Anteil entfällt hierbei auf die sich schnell entwickelnden Schwellenländer. So wird die höchste Zahl der Todesfälle durch Schadstoffe in Südost-Asien, einschließlich Indien, und der westpazifischen Region, einschließlich China, verzeichnet. Die größten bevölkerungsbezogenen Schätzungen für frühzeitige Mortalität und Morbidität hingegen betreffen die Niedrigeinkommensländer in Sub-Sahara-Afrika. In den am stärksten betroffenen Ländern ist die Schadstoffbelastung für mehr als jeden vierten Todesfall verantwortlich (GBD 2016a).

Auch die größte Zunahme von Schadstoffbelastung wird in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen verzeichnet. Doch trotz ihres großen und wachsenden Ausmaßes wurde die Verschmutzung durch Industrie, Fahrzeuge und Chemikalien in Niedriglohnländern in der internationalen Entwicklungsarbeit weitestgehend übersehen. Auch Programme zur Bekämpfung der Verschmutzung haben wenig Aufmerksamkeit und Ressourcen von internationalen Organisationen oder philanthropischen Gebern erhalten (Landrigan et al. 2018).

Zusätzlich lassen sich deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellen: Besonders Mädchen und Frauen in Niedriglohnländern sind der Exposition durch Schadstoffe in der Innenraumluft ausgesetzt, leiden stärker unter Wasserverschmutzung und werden durch den nicht ausreichenden Zugang zu sanitären Anlagen deutlich in ihrem Alltag eingeschränkt (Landrigan et al. 2018).

Ferner fördert die Globalisierung die Auslagerung von Produktion und folglich auch von Schadstoffen und auf diese zurückführbare Krankheiten in Niedriglohnländer (Agyeman u. Carmin 2011, Iskander et al. 1999). So werden Schadstoffe wie Pestizide, Industrieabfälle und toxische Chemikalien, die von Ländern mit hohem Einkommen erzeugt wurden und zum Teil auf Grund ihrer gesundheitsschädlichen Auswirkungen in diesen Ländern auch nicht mehr erlaubt sind, in Niedriglohnländer gebracht (Landrigan et al. 2018). Im Jahr 2006 wurden beispielsweise 500 Tonnen giftige Abfälle von Amsterdam aus in die Elfenbeinküste exportiert. Dort verbreiteten sich giftige Gase aus den Abfällen, die zu 17 Todesfällen und mehr als 100 000 Fällen

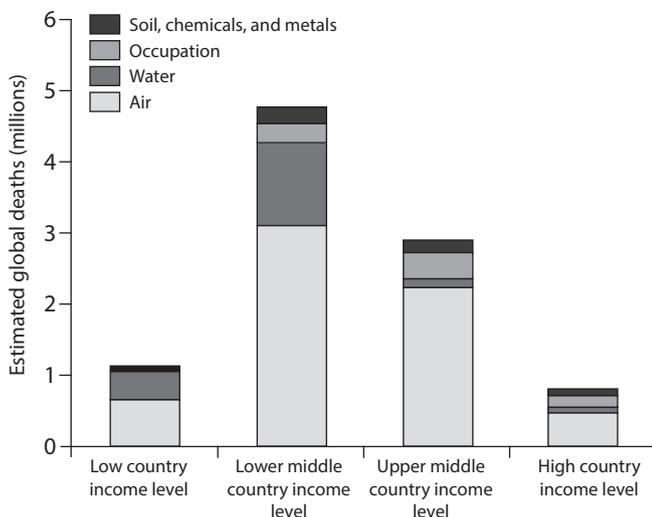


**Abbildung 4:** Anzahl der Todesfälle pro 100 000 Menschen, die auf alle Formen der Verschmutzung zurückzuführen sind (Reprinted from Landrigan et al. 2018, Fig. 8, © 2020, with permission from Elsevier) (GBD 2016a)

von Atemwegs- und Magen-Darm-Erkrankungen führten (Margai u. Barry 2011).

#### 4 Wichtigste Arten der Schadstoffexposition

Es wurden vier Arten der Verschmutzung identifiziert, die im Wesentlichen zur gesamten Verschmutzung durch Schadstoffe beitragen: Luftverschmutzung, Wasserverschmutzung, Bodenverschmutzung und Schadstoffe am Arbeitsplatz.



**Abbildung 5:** Geschätzte globale Todesfälle nach Verschmutzungsrisikofaktor (Boden, Chemikalien, Metalle, Beruf, Wasser, Luft) und Ländereinkommen, 2015 (Reprinted from Landrigan et al. 2018, Fig. 9, © 2020, with permission from Elsevier) (GBD 2016a)

Auch die Betrachtung der einzelnen Schadstoffexpositionen verdeutlicht, dass Entwicklungs- und insbesondere Schwellenländer von allen Arten der Exposition am stärksten betroffen sind (► Abb. 5). Auch hier gilt, dass wegen der ganz unterschiedlichen Alterszusammensetzung von low-middle-high income countries die verlorenen Lebensjahre aussagekräftiger sind als die vorzeitigen Todesfälle.

#### 4.1 Luftverschmutzung

Den deutlich stärksten Effekt auf die menschliche Gesundheit hat die Luftverschmutzung. Es wird zwischen zwei Arten der Verschmutzung unterschieden: Außenluft- und Innenraumluftverschmutzung. Es ist jedoch zu beachten, dass trotz der Unterscheidung auch Überschneidungen zwischen den beiden Arten der Luftverschmutzung existieren. So kann beispielsweise die Verschmutzung durch Kraftfahrzeuge bei offenen Fenstern auch in Innenräume gelangen oder das Kochen an offenen Feuerstellen die Außenluft belasten. Insgesamt sind 6,5 Millionen Todesfälle weltweit auf die Exposition mit verschmutzter Luft zurückzuführen (Landrigan et al. 2018, Chafe et al. 2014, Balakrishnan et al. 2014).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch andere Studien: So wurde in einer Studie der WHO berechnet, dass die mittlere Lebenserwartung in Europa durch den Einfluss von Luftschadstoffen um bis zu 9 Monate reduziert wird (Pascal et al. 2013, DGP 2018).

Über die Hälfte der Weltbevölkerung ist von der Exposition durch die Verschmutzung der Innenraumluft betroffen

(Quansah et al. 2015). Besonders in Ländern mit niedrigen und mittleren Einkommen spielt Luftverschmutzung in Innenräumen immer noch eine große Rolle. Diese Verschmutzung wird beinahe ausschließlich durch die Verbrennung fester Brennstoffe, wie Kohle, Holz und agrarwirtschaftliche Abfälle, verursacht, die zum Kochen und Heizen verbrannt werden (Fullerton et al. 2008, Kim et al. 2011, Smith et al. 2004). Durch diesen Prozess werden gesundheitsgefährdende Stoffe in die Innenraumluft ausgestoßen, unter anderem Feinstaub (PM), Kohlenmonoxid (CO), Schwefeldioxid und Stickoxide (Quansah et al. 2015, Thomas et al. 2015).

Die zwei wichtigsten Gesundheitsauswirkungen von Luftverschmutzung in Innenräumen sind akute Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern und obstruktive Lungenerkrankungen bei Erwachsenen (Rylance et al. 2010). Da Frauen und Kinder wesentlich mehr Zeit in Innenräumen verbringen, haben sie ein erhöhtes Erkrankungsrisiko (Gordon et al. 2014).

Außenluftverschmutzung besteht aus einer Vielzahl von Schadstoffen. Mit Hinblick auf ihr gesundheitliches Gefährdungspotenzial spielen die folgende Stoffe die größte Rolle: Feinstaub (PM), gasförmige Schadstoffe wie Ozon, Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), flüchtige organische Verbindungen (einschließlich Benzol), Kohlenmonoxid (CO) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) (Mannucci u. Franchini 2017). Unter anderem sind industrielle Quellen, der motorisierte Straßenverkehr und die Stromerzeugung die Hauptquellen der Außenluftverschmutzung (Schwarze et al. 2006). Durch Winde können auch hohe Konzentrationen dieser feinen Partikel Entfernungen von mehr als 100 km zurücklegen. Studien belegen sogar, dass Emissionen von chinesischen Fabriken bei starken Westwinden das nordamerikanische Festland erreichen können. So können auch Menschen von Luftschadstoffen betroffen sein, die nicht in unmittelbarer Nähe zu der Exposition wohnen und arbeiten (Landrigan et al. 2018, Mannucci u. Franchini 2017, Valavanidis et al. 2008).

Wie bereits beschrieben, haben in den letzten Jahren viele Entwicklungs- und Schwellenländer in sehr kurzer Zeit eine intensive industrielle Entwicklung und Urbanisierung erlebt. Dies hat dazu geführt, dass diese Länder zunehmend den größten Belastungen durch Außenluftschadstoffe weltweit ausgesetzt sind (Mannucci u. Franchini 2017). Steigende Temperaturen werden in den nächsten Jahren noch weiter zu einem erhöhten Bedarf an Elektrizität, zum Beispiel für Kühlung, führen. Folglich wird die Emission der genannten Schadstoffe in Zukunft weiterhin steigen (Landrigan et al. 2018).

Die Auswirkungen von PM<sub>2,5</sub> auf die menschliche Gesundheit gehört zu den am besten erforschten Arten der Luftverschmutzung. Die Exposition mit PM<sub>2,5</sub> wird mit einer Reihe von Krankheiten und Risikofaktoren in Verbindung gebracht (Cohen et al. 2017, Thurston et al. 2016). Kausalzusammenhänge zwischen Exposition und Krankheit lassen sich am besten für kardiovaskuläre und pulmonale

Erkrankungen belegen. Im Detail wurden besonders Assoziationen zu Herzinfarkten, Hypertonie, Herzinsuffizienz, Arrhythmien, kardiovaskulärer Mortalität, obstruktiven Lungenerkrankungen und Lungenkrebs beschrieben (Wang et al. 2015, Su et al. 2016, Chan et al. 2015, Gold u. Samet 2013, Kaufman et al. 2016). Außenluftverschmutzung wird von der Krebsorganisation der WHO als Humankanzergen (Kategorie 1) eingestuft (Loomis et al. 2013, Burnett et al. 2014, Hamra et al. 2014). Prognosen gehen davon aus, dass ohne die effektive Einführung von Interventionen die Anzahl der Todesfälle, die auf die Außenluftverschmutzung zurückzuführen sind, bis zum Jahr 2050 um mehr als 50 % steigen wird (Lelieveld et al. 2015).

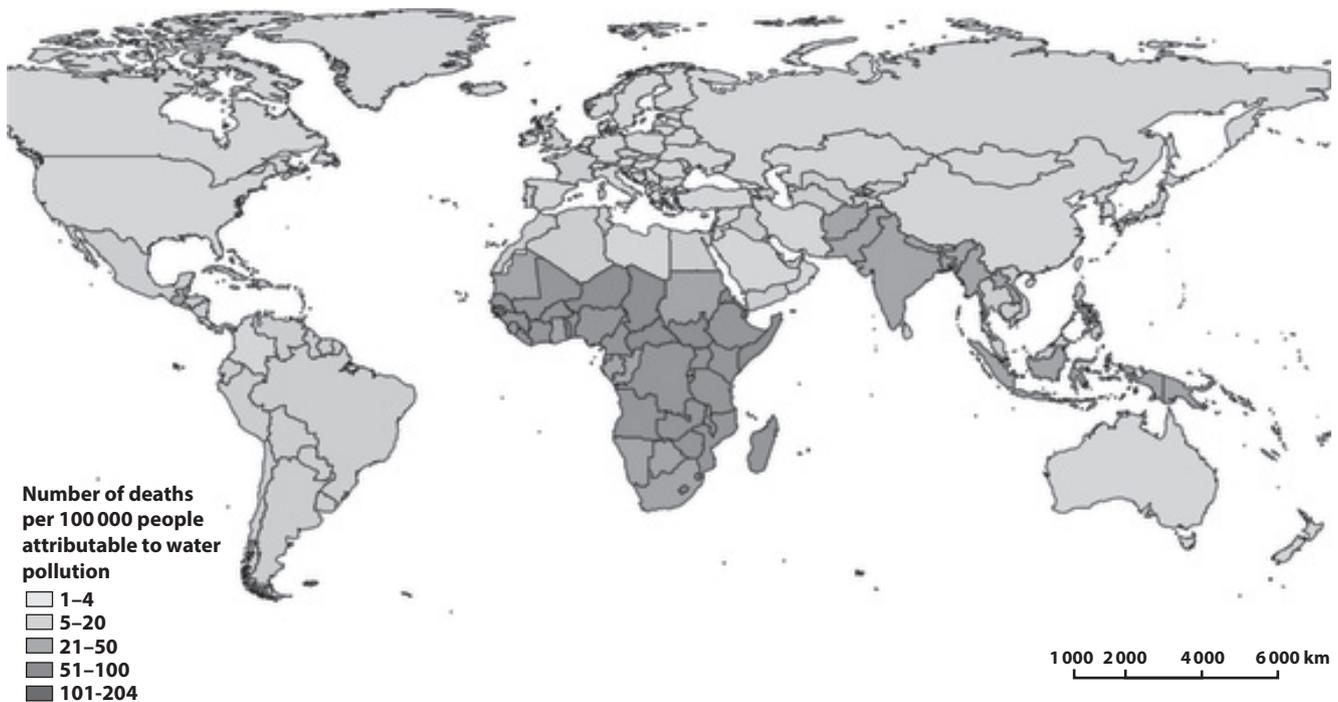
## 4.2 Wasserverschmutzung

Die Verschmutzung von Wasser existiert in zwei Formen. Die menschliche Gesundheit wird von unsicheren Trinkwasserquellen beeinflusst, während der Mensch wiederum durch inadäquate Abwasserentsorgung zur Verschmutzung des Wassers beiträgt. Dies führt zu einem Teufelskreis: inadäquate Abwasserentsorgung führt wiederum zur Verschmutzung der Trinkwasserquellen. Während die einkommensstarken Länder sowohl sicheres Trinkwasser als auch Abwasserentsorgung weitgehend garantieren, stellen diese beiden Verschmutzungsarten speziell in Niedriglohnländern ein großes Problem dar. Besonders betroffen sind die Bevölkerungen in ländlichen Gegenden. Armut, mangelndes Wissen und andere Prioritätensetzungen führen dazu, dass existierende Lösungen für die bestehenden Probleme nicht eingesetzt werden (Landrigan et al. 2018).

Mehr als 1 Millionen Menschen, überwiegend in Entwicklungs- und Schwellenländern, sind von Krankheiten durch verschmutztes Wasser betroffen. Auch die schnell wachsenden und industrialisierten Länder mit niedrigen bis mittleren Einkommen sind besonders gefährdet. Lokale Wasserwege und auch das Grundwasser sind hier häufig biologisch und chemisch verschmutzt. Da jedoch keine alternativen Wasserquellen existieren, sind schlechte Gesundheitszustände in der Bevölkerung weit verbreitet (Schwarzenbach et al. 2010).

Im Jahr 2015 waren etwa 1,8 Millionen vorzeitige Todesfälle auf Wasserverschmutzung zurückzuführen (► **Abb. 6**). Die Krankheitslast fällt dabei hauptsächlich auf chronische Magen-Darm-Erkrankungen, vor allem Durchfallerkrankungen (70 %), Typhus (8 %), Paratyphus (20 %) und Infektionen der unteren Atemwege (2 %). Außerdem spielen eine Vielzahl von parasitären Infektionen eine Rolle. Neben den unsicheren Wasserquellen und der Abwasserentsorgung wurden in die Berechnungen auch Krankheiten mit einbezogen, die durch unzureichendes Händewaschen verursacht werden (GBD 2016c).

Erhebliche Anstrengungen in den letzten Jahren haben bereits zu einer starken Reduzierung von Wasserverschmut-



**Abbildung 6:** Zahl der Todesfälle pro 100 000 Menschen aufgrund von Wasserverschmutzung, 2015 (Reprinted from Landrigan et al. 2018, Fig. 12, © 2020, with permission from Elsevier) (GBD 2016a)

zung und von durch Wasser übertragbare Krankheiten geführt. Trotzdem sind immer noch 2,4 Milliarden Menschen von unzureichenden sanitären Anlagen betroffen, während ungefähr 946 Millionen Menschen, die öffentliche Defäkation praktizieren müssen (Landrigan et al. 2018).

Am stärksten betroffen sind die Länder in Sub-Sahara-Afrika. Hier verzeichnen bevölkerungsbasierte Schätzungen die höchste Zahl der Todesfälle aufgrund von Wasserverschmutzung. Aber auch in einigen Ländern Südostasiens sind hohe Zahlen an Todesfällen zu beobachten (GBD 2016a).

### 4.3 Bodenverschmutzung, Schwermetallbelastung und chemische Verschmutzung

Umfassende Studien bezüglich der meisten Arten der Bodenverschmutzung, der Schwermetallbelastung und der chemischen Verunreinigung existieren nicht. Deswegen ist eine Berechnung der Krankheitslast für eine Vielzahl der Verschmutzungsarten nicht möglich. Die giftigsten Schadstoffe in diesem Bereich sind Blei, Chrom, Asbest, Cadmium, Quecksilber und die Pestizide DDT, Lindan und Aldrin (Boxall et al. 2009).

#### Blei

Als sehr gut erforschtes Schwermetall stellt Blei eine Ausnahme dar. Blei wurde insbesondere durch den Einsatz im

Ottokraftstoff, als Trinkwasserleitungen und in bleihaltigen Farben zu einer erheblichen Expositionsquelle für die Bevölkerung. Als der Zusammenhang zwischen Blei und Gesundheitsgefahren deutlich wurde, führte dies in den 1970er-Jahren zu einem Verbot von Blei in vielen Ländern mit hohem Einkommen. In den USA reduzierte sich durch das Verbot der mittlere Bleigehalt im Blut der Bevölkerung um mehr als 90 %, was zu einer annähernden Eliminierung von Bleivergiftungen bei Kindern führte. Modellberechnungen kommen zu dem Ergebnis, dass dadurch die kognitiven Fähigkeiten von Kindern, die nach 1980 geboren wurden, um zwei bis fünf IQ-Punkte gestiegen sein dürften (Grosse et al. 2002).

Auch in Deutschland sank durch das Verbot die Konzentrationen von Blei in der Außenluft stark. Dennoch ist seit den 1970er-Jahren die weltweite Bleiproduktion insgesamt stark angestiegen. Addiert man Primär- und Sekundärproduktion, hat sich die Gesamtproduktion sogar verdoppelt. Dieser rasante Anstieg ist in erster Linie auf die gestiegene Nachfrage nach Batterien zurückzuführen, die in großem Maße für Elektrofahrzeuge benötigt werden und um Energie aus erneuerbaren Quellen zu speichern (International Lead Association 2015). 82 % der Todesfälle durch Blei geschehen in Ländern mit niedrigen und mittleren Einkommen (Landrigan et al. 2018).

Die WHO hat bestätigt, dass keine unbedenkliche Schwelle für die Bleibelastung existiert (WHO 2018a). Selbst bei

niedrigen Blutbleigehalten besteht ein Zusammenhang mit Erkrankungen. Dies betrifft sowohl Erwachsene als auch Kinder (Cosselman et al. 2015, Grandjean u. Landrigan 2014).

Bei Erwachsenen stellt besonders die chronische Exposition mit Blei einen etablierten Risikofaktor für eine Vielzahl von Krankheiten dar. Als Risikogruppe und hauptsächlich Betroffene gelten hier vor allem Arbeiter, die durch ihren Beruf mit Blei in Kontakt kommen. Bluthochdruck, Nierenversagen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Schlaganfälle können die Folge der Exposition sein. Die überwiegende Mehrheit der Todesfälle durch Blei unter Erwachsenen erfolgen durch kardiovaskuläre Erkrankungen, einschließlich Bluthochdruck, koronare Herzkrankheit, Schlaganfall, Herzrhythmusstörungen und periphere arterielle Verschlusskrankheit (Cosselman et al. 2015).

Die wichtigste Folge der Bleiexposition von Kindern ist die Beeinträchtigung der kognitiven Entwicklung (Gibson 2005). Folgende Auswirkungen kann die Exposition im frühen Kindesalter haben:

- kognitive Verhaltensstörungen (Needleman et al. 1979, Lanphear et al. 2005, Caravanos et al. 2014, Reuben et al. 2017)
- ein erhöhtes Risiko für Aufmerksamkeitsdefizit- oder Hyperaktivitätsstörungen bzw. eine allgemeine Verkürzung der Aufmerksamkeitsspanne (Froehlich et al. 2009)
- ein erhöhtes Risiko für antisoziale und kriminelle Verhaltensweisen (Nevin 2007, Needleman et al. 1996).

Die Krankheitslast ist hier besonders groß, da die Auswirkungen des Bleis das gesamte restliche Leben der exponierten Kinder beeinflussen können. Mögliche Folgen sind unter anderem eine verringerte Schulleistung, ein erhöhtes Risiko des Drogenmissbrauchs und verringerte wirtschaftliche Produktivität (Landrigan et al. 2018).

Blei war im Jahr 2015 für 0,5 Millionen vorzeitige Todesfälle und für 9,3 Millionen DALYs verantwortlich. Diese Schätzung basiert ausschließlich auf Todesfällen bei Erwachsenen (15 Jahre und älter) (Landrigan et al. 2018). Obwohl Blei an stark kontaminierten Standorten zu akuten Vergiftungen und somit besonders in Ländern mit niedrigen und mittleren Einkommen zu Kindersterblichkeit geführt hat (Haefliger et al. 2009, Dooyema et al. 2012), trägt es weltweit nicht wesentlich zur Kindersterblichkeit bei (Landrigan et al. 2018), da Blei kardiovaskuläre Schäden verursacht und sich diese erst im späteren Lebensalter äußern (Lanphear et al. 2018).

#### 4.4 Kontaminierte Standorte

Eine besondere Art der Gefährdung stellen kontaminierte Standorte dar. Hierbei handelt es sich um Standorte, die

durch informelle, nicht regulierte und handwerkliche Kleinindustrie verschmutzt werden oder wurden. Zwar ist die überwiegende Zahl der kontaminierten Standorte relativ klein, meistens werden diese jedoch von einer recht großen Anzahl an Menschen frequentiert. Weltweit ist somit die Zahl an Menschen, welche der Verschmutzung an kontaminierten Standorten ausgesetzt sind, recht groß.

Die Gesundheitsgefährdung an kontaminierten Standorten geht vor allem von Substanzen wie Metallen, Radionukliden und persistenten organischen Stoffen aus. Zu den am häufigsten vorkommenden Metallen gehören Quecksilber, Blei, Chrom und Cadmium.

Besonders Quecksilber ist extrem gesundheitsgefährdend und kann eine toxische Wirkung auf das Immun-, Nerven- und Verdauungssystem des Menschen haben und außerdem Lunge, Nieren, Augen und Haut schädigen. In Extremfällen kann eine Quecksilbervergiftung tödlich verlaufen (WHO 2013, Böse-O'Reilly et al. 2017).

Eine große Bedeutung für die Krankheitslast durch Quecksilber an kontaminierten Standorten spielt der handwerkliche Kleingoldbergbau. Weltweite Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 15 Millionen Menschen in diesem Bereich arbeiten (Seccatore et al. 2014, Spiegel u. Veiga 2006). Viele der eingesetzten Methoden im Kleingoldbergbau sind veraltet und gesundheitsgefährdend. Hauptsächlicher Faktor der Verschmutzung ist die Amalgamation von Quecksilber und die anschließende Verbrennung, der die Arbeiter und umliegenden Gemeinden oft schutzlos ausgeliefert sind (Metcalf u. Veiga 2012).

Die Quecksilberdämpfe in der Luft um die Amalgambrennstellen der Goldminen können alarmierend hoch sein und überschreiten fast immer den Richtwert der WHO von 1,0 µg/m<sup>3</sup> (UNEP 2012). Es wird ein signifikanter, aber unbekannter Teil von Quecksilber in die Atmosphäre emittiert (UNEP 2013). Wenn Quecksilber in die Luft freigesetzt wird, kann es weite Strecken zurücklegen, bevor es in Gewässer und Böden gelangt (Ha et al. 2017). Die Belastung von 14–19 Millionen Arbeitern im Kleingoldbergbau führt zu 1,22–2,39 (UI 1,69–3,14) Millionen DALYs (Steckling et al. 2017).

Viele Minen des Kleingoldbergbaus nutzen Bäche und Flüsse. Oft enden diese in großen Süßwasserquellen wie Seen und Auffangbecken für Wasserversorgung, Bewässerung und Wasserkraft. Diese Aufstauungen wirken als Senken für Quecksilber, das sich in Sedimenten und im Gewebe von Fischen und anderen Wasserspezies ansammelt. Sowohl durch das Trinken des kontaminierten Wassers, aber insbesondere auch durch den Konsum von kontaminiertem Fisch kann das Quecksilber in den Körper des Menschen gelangen (Gibb u. O'Leary 2014).

Ein anderes wichtiges Beispiel für kontaminierte Standorte sind Recyclingstandorte für Bleibatterien. Hier sind etwa

6–16 Millionen Menschen von der Exposition mit gefährlichen Konzentrationen von Blei betroffen (Ericson et al. 2016).

Insgesamt sind mindestens 61 Millionen Menschen in 49 Ländern durch kontaminierte Standorte mit verschiedenen Schadstoffen exponiert. Vermutlich stellt diese Zahl jedoch nur eine kleine Menge der tatsächlichen kontaminierten Standorte dar (Caravanos et al. 2016).

Am stärksten betroffen von der Verschmutzung sind wiederum die Länder mit niedrigen und mittleren Einkommen. So findet der Großteil des handwerklichen Kleingoldbergbaus in Afrika statt und auch Recyclingstandorte konzentrieren sich in den Niedriglohnländern (Ericson et al. 2016, Hayes 2008).

## 5 Schadstoffexposition am Arbeitsplatz

Die meisten der durch berufsbedingte Exposition verursachten Krankheiten wurden als Folge der unkontrollierten und rasant wachsenden Industrialisierung bekannt, als sich Pneumokoniose und Silikose bei Kohlearbeitern, Blasenkrebs bei Färberarbeitern, Leukämie und Lymphom bei benzol-exponierten Arbeitern, und Asbestose, Lungenkrebs, Mesotheliom und andere Malignome bei asbestbelasteten Arbeitern zunehmend häuften (Landrigan et al. 2018, Selikoff et al. 1964, Derickson 1998, Rinsky 1989). Daraufhin wurden in den einkommensstärksten Ländern der größte Teil der beruflichen Expositionen durch Gesetze und Vorschriften kontrolliert. Aufgrund einer strikten Durchsetzung der Gesetze ist die Häufigkeit der Berufskrankheiten stark rückläufig (Takahashi u. Landrigan 2016). Auch bei der Kontrolle der Exposition gegenüber berufsbedingten Karzinogenen wurden erhebliche Fortschritte erzielt (Landrigan et al. 2018).

Im Gegensatz dazu sind berufliche Expositionen gegenüber toxischen Schadstoffen in Ländern mit niedrigen und mittleren Einkommen in den letzten 50 Jahren stark angestiegen (GBD 2016a). Dort treten häufig hohe Schadstoffexpositionen in inoffiziellen Kleinbetrieben auf, in denen auch Kinderarbeit ein Problem darstellt (Bellinger 2013). Die meisten Todesfälle aufgrund berufsbedingter Schadstoffe und insbesondere beruflicher Karzinogene treten jedoch bei Personen ab 50 Jahren auf. Dieses Muster spiegelt die lange Latenz der meisten berufsbedingten Krebserkrankungen wider (GBD 2016a, Selikoff et al. 1964).

### 5.1 Krankheitsbelastung durch berufsbedingte Schadstoffexposition

Schätzungen ergeben, dass toxische Substanzen am Arbeitsplatz weltweit für 0,88 Millionen Todesfälle jährlich und für 18,6 Millionen DALYs jährlich verantwortlich waren. Dabei wurden zwei Arten berufsbedingter Schadstoffexpositionen berücksichtigt: Karzinogene (Asbest, polyzyklische aroma-

tische Kohlenwasserstoffe, Kieselsäure, Schwefelsäure, Trichlorethylen, Arsen, Benzol, Beryllium, Cadmium, Chrom, Dieselabgase, Passivrauch, Formaldehyd, Nickel) und durch den Beruf verursachten Stäube, Gase und Dämpfe (Landrigan et al. 2018, GBD 2016a). Diese Schadstoffe verursachen eine Vielzahl von Krankheiten (Kuznets 1955, Lucchini et al. 2014, Brautbar u. Williams 2002).

## 6 Ökonomische Folgen

Die Zunahme von Luftverschmutzung, Bodenverschmutzung und chemischer Verschmutzung in den letzten 500 Jahren ist direkt mit der Linearwirtschaft, auch als Wegwerfwirtschaft bezeichnet, verbunden. Natürliche Ressourcen und Humankapital werden hier als reichlich, also nicht limitiert und abkömmlich, angesehen. Dabei liegt der Fokus ausschließlich auf der Erhöhung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) und die Folgen der rücksichtslosen Ausbeutung finden nur wenig Beachtung. Dieses Vorgehen ist jedoch weder nachhaltig, noch wird die wirtschaftliche Entwicklung mit sozialer Gerechtigkeit und Ressourcenerhaltung verknüpft (Landrigan et al. 2018).

Denn diese Verschmutzung verursacht hohe Kosten für die Gesellschaft. Kosten entstehen unter anderem durch Produktivitätsverluste durch das Anfallen von Gesundheitskosten und resultieren aus Schäden an Ökosystemen. Trotz des hohen Ausmaßes dieser Kosten sind sie weitgehend unsichtbar und werden oft nicht mit der Umweltverschmutzung in Verbindung gebracht (National Academy of Science 2010). So werden Produktivitätsverluste durch von Umweltverschmutzung ausgelösten Krankheiten in der Arbeitsstatistik erfasst, während gesundheitsbedingte Kosten der Verschmutzung Teil der Krankenhausbudgets sind (Landrigan u. Fuller 2015). Daraus resultiert, dass die gesamten Kosten der Verschmutzung durch Schadstoffbelastungen nur schwer bis gar nicht berechnet werden können. Argumente gegen die Einschränkung der Umweltverschmutzung, die häufig ökonomisch begründet werden, können daher nur schwer widerlegt werden (National Academy of Science 2010, Epstein et al. 2011).

## 7 Zukunftsprognose

Umweltverschmutzung und Gesundheitsbelastung durch Schadstoffbelastung sind trotz des hohen Ausmaßes des Problems und dem fehlenden Wissen in Zukunft vermeidbar. Obwohl Schadstoffbelastung immer wieder als untrennbar mit der Entwicklung von Ländern in Zusammenhang gesetzt wird, haben die Erfahrungen von Ländern mit hohem und mittlerem Einkommen gezeigt, dass dies nicht der Fall sein muss. Gesetze und Vorschriften, die auf dem Verursacherprinzip basieren, haben sich als sehr erfolgreich erwiesen, ohne die wirtschaftliche Entwicklung zu bremsen. Diese Gesetze fordern unter anderem sauberes Trinkwasser, hohe Luftqualität, den sicheren Umgang mit Chemikalien und

beinhalten das Verbot von bestimmten, besonders schädlichen Substanzen wie Blei, Asbest und DDT (Landrigan et al. 2018). Viele dieser Strategien, die sich als kosteneffektiv erwiesen haben, könnten nun von anderen Ländern übernommen werden. Wenn die Implementierung sorgfältig geplant wird, können gesundheitsschädliche Auswirkungen verhindert und Gesundheit und Wohlbefinden gefördert werden (Landrigan et al. 2018).

Ein weiterer wichtiger Schritt, um Schadstoffbelastungen besser entgegenzuwirken, ist außerdem die weitere Verbesserung der Wissensgrundlagen. Denn trotz zahlreicher Erkenntnisse über die Auswirkungen der Umweltverschmutzung durch Schadstoffe herrscht weiterhin ein großes Wissensdefizit in dem Bereich. So fehlen wesentliche Informationen über die Höhe der Schadstoffbelastung, besonders in Niedriglohnländern:

- die Prävalenz von Krankheiten, die im Zusammenhang mit Schadstoffbelastungen stehen
- die toxische Wirkung von einer Vielzahl von Chemikalien im alltäglichen Gebrauch, vor allem von neuen Chemikalien
- den Umfang der Belastung und die Krankheitslast durch toxische Schadstoffe, besonders an kontaminierten Standorten
- die mögliche Verzögerung von Gesundheitseffekten durch den Kontakt mit Schadstoffen, besonders bei Exposition im frühen Kindesalter (Landrigan et al. 2019)
- den exakteren Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung (Landrigan et al. 2018, Grandjean u. Landrigan 2014, Landrigan u. Goldman 2011, Blacksmith Institute 2017, Eindel et al. 2016).

Eine Zunahme an Wissen über die Auswirkungen von Schadstoffen ist von enormer Bedeutung, um der erhebliche Unterfinanzierung von Programmen und Interventionen zur Kontrolle der Verschmutzung entgegenzuwirken. Denn Umweltverschmutzung ist heute die größte umweltbedingte Ursache für Morbidität und Mortalität weltweit und stellt unseren Planeten vor massive Herausforderungen. Deswegen ist es wichtig, das globale Bewusstsein für die Bedeutung der Umweltverschmutzung zu schärfen, damit die Vernachlässigung von durch Umweltverschmutzung bedingten Krankheiten verringert und die wirksame Bekämpfung der Verschmutzung verstärkt werden kann.

## 8 Globale Aktivitäten zur Schadstoffkontrolle

In Anbetracht der Tatsache, dass sich Schadstoffe über nationale Grenzen hinaus verbreiten, sind globale Abkommen zur Schadstoffkontrolle ein wichtiges Mittel, um die negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Schadstoffbelastung zu reduzieren.

Das erste rechtlich bindende internationale „Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunrei-

nigung“ (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) in dem Bereich der Luftverschmutzung wurde im Jahr 1979 zwischen europäischen Staaten, Kanada, USA und der Sowjetunion in Genf beschlossen. Es trägt daher auch den Namen „Genfer Luftreinhalteabkommen“ und basiert auf Erkenntnissen aus den 1960er Jahren, als Wissenschaftler erstmalig nachweisen konnten, dass die Verschmutzung der skandinavischen Umwelt (z. B. von Seen) durch Emissionen aus Zentraleuropa verursacht wurde. Derzeit haben 51 Vertragsparteien, einschließlich der Europäischen Union, das Abkommen ratifiziert (BMUB 2018). Das Abkommen beinhaltet die Verpflichtung der Vertragsparteien zu folgenden Aspekten: „Die Anerkennung der weiträumigen grenzüberschreitenden Luftverunreinigung und deren schädigende Auswirkung auf die Umwelt, [...] die Bemühung, die Emissionen dieser Luftverunreinigung zu bekämpfen, die Einrichtung eines europaweiten Überwachungsnetzes [und] die Einrichtung von Gremien für die weitere Entwicklung und den Vollzug des Übereinkommens“ (Umweltbundesamt 2013).

Das Abkommen besteht aus 8 Protokollen, welche die folgenden Aspekte beinhalten (UNECE 2018a):

- 1984: EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) Protokoll
- 1985: Reduzierung der Schwefelemissionen (Helsinki Protokoll)
- 1988: Kontrolle der Stickstoffemission (Sofia Protokoll)
- 1991: Flüchtige organische Verbindungen (Genfer Protokoll)
- 1994: Weitere Reduzierung der Schwefelemissionen (Oslo Protokoll)
- 1998: Schwermetalle (Aarhus Protokoll)
- 1998: Langlebige bzw. persistente organische Schadstoffe (Aarhus Protokoll)
- 1999: Protokoll zu Vermeidung von Versauerung und Eutrophierung sowie Entstehens von bodennahem Ozon (Göteborg Protokoll).

Wie auch aus den verschiedenen Protokollen hervorgeht, hat die Anzahl der Substanzen, die durch das Abkommen abgedeckt werden, über die Jahre zugenommen. Hervorzuheben sind vor allem die Aufnahme von bodennahem Ozon, persistenten organischen Schadstoffen, Schwermetallen und Feinstaub (UNECE 2018b).

Das Abkommen kann erhebliche Erfolge verzeichnen: So hat es zu der Entwicklung des internationalen Umweltrechts und zu einer starken Emissionsreduktion einiger weit verbreiteter Schadstoffe beigetragen. Einige Beispiele sind die Reduzierung der Schwefeldioxidemission, Stickstoffemissionen und Bleiverschmutzung (UNECE 2018b).

Ein weiteres internationales Abkommen zur Regulierung von Schadstoffen ist das Stockholmer Abkommen über persistente organische Schadstoffe, auch Stockholm-Konvention genannt. Das Übereinkommen trat 2004 in Kraft

und beinhaltet die Beendigung oder Einschränkung der Produktion, Verwendung und Freisetzung von persistenten organischen Stoffen. Diese stellen sich in der Umwelt als problematisch dar, da sie über einen langen Zeitraum persistent sind, das Potenzial zum weiträumigen Transport besteht, die Anreicherung in der Nahrungskette möglich ist und sie giftig für Menschen und Tiere sind (Umweltbundesamt 2016). Jeder Vertragspartner verpflichtet sich, unabhängig vom Entwicklungsstand des Landes, im Rahmen seiner finanziellen Möglichkeiten zur Umsetzungen des Abkommens beizutragen. Zusätzlich verpflichten sich die Vertragsstaaten zu Forschung, Entwicklung und Umweltüberwachung in Bezug auf die bereits in dem Abkommen enthaltenen und möglicherweise für die Neuaufnahme relevanten Stoffe (Richter et al. 2001). Zurzeit beinhaltet das Abkommen Pestizide wie DDT, Industriechemikalien wie polychlorierte Biphenyle (PCB) und unbeabsichtigte Nebenprodukte industrieller Prozesse wie Dioxine und Furane. Regelmäßig finden Konferenzen statt, in denen über die Aufnahme weiterer Schadstoffe in das Übereinkommen entschieden wird. Im Jahr 2010 wurden so unter anderem vier Arten von Polybromdiphenylether (PBDE) mit aufgenommen (European Commission 2016).

Weitere internationale Abkommen zur Schadstoffkontrolle sind zum Beispiel das Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht oder das Minamata-Übereinkommen, auch Quecksilber-Konvention genannt. Beide werden vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) verwaltet. Während das Wiener Übereinkommen, welches hauptsächlich die Freisetzung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) verbietet, bereits 1985 unterzeichnet wurde, ist das Minamata-Übereinkommen erst im Mai 2017 in Kraft getreten. Das Übereinkommen zielt hauptsächlich darauf ab, die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor Quecksilber zu schützen (BMUB 2014, UN 2017).

## 9 Ausblick

Da Schadstoffe nationale Grenzen überschreiten, wird die internationale Kontrolle dieser auch weiterhin eine wichtige Rolle spielen, um die Gesundheit der Menschen und die Umwelt besser schützen zu können. In einem optimalen Zustand gelten dann für alle Staaten dieselben Regeln zum Schutz von Mensch und Umwelt, sodass ein Konkurrenzkampf der Staaten zu Lasten von Umwelt und Gesundheit nicht mehr stattfinden kann. Zusätzlich gelten internationale Abkommen als kosteneffektiver als unilaterale Abkommen (UNECE 2018b).

## 10 Zusammenfassung

Die Umweltverschmutzung durch Schadstoffe ist global eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Neben den fatalen Auswirkungen auf die Umwelt werden eine Vielzahl der Krankheiten, die in den letzten Jahren an

Bedeutung gewonnen haben, durch die starke Umweltverschmutzung durch Schadstoffe gefördert. Dazu zählen unter anderem Asthma, COPD, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs. Neueste Berechnungen aus dem Jahr 2017 gehen davon aus, dass ungefähr 9 Millionen Todesfälle weltweit auf die Exposition mit Schadstoffen zurückzuführen sind. Trotz der Problematik der Berechnung der vorzeitigen Todesfälle überragt diese Zahl die Todesfälle durch andere Ursachen so weit, dass die Bedeutung der Schadstoffe für die Mortalität weltweit als signifikant anerkannt werden muss. Besonders betroffen durch die Verschmutzung mit Schadstoffen sind die Länder mit niedrigen und mittleren Einkommen, im besonderen Sub-Sahara-Afrika, Indien und China.

Die wichtigsten Arten der Verschmutzung sind die Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung sowie die Exposition mit Schadstoffen am Arbeitsplatz, dabei trägt eine Vielzahl von Schadstoffen zur Umweltverschmutzung bei. Besonders weit verbreitet und daher auch gut erforscht sind die Verschmutzung und die gesundheitlichen Auswirkungen durch Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>), aber auch die anderen Bereiche der Verschmutzung spielen eine bedeutende Rolle.

Die Schadstoffbelastung hat nicht nur für die Gesundheit von Menschen und Tieren negative Folgen, sondern führt auch zu negativen ökonomischen Auswirkungen. Durch die Verschmutzung entstehen gesellschaftliche Kosten, die unter anderem durch Produktivitätsverluste, das Anfallen von Gesundheitskosten und durch Schäden an Ökosystemen entstehen.

Mit zunehmendem Wissen über die Auswirkungen von Schadstoffen gilt die Umweltverschmutzung und Gesundheitsbelastung durch diese jedoch als vermeidbar, wenn bereits bekannte Strategien zum Schutz weiterhin konsequent umgesetzt und neue entwickelt werden. Da Schadstoffe über nationale Grenzen hinaus wirken, stellen internationale Abkommen zur Schadstoffkontrolle ein wichtiges Mittel zur Bekämpfung der Belastung dar.

## 11 Literatur

- Agyeman J, Carmin J (2011). Environmental inequalities beyond borders: local perspectives on global injustices: Mit Press
- Balakrishnan K, Cohen A, Smith KR (2014). Addressing the burden of disease attributable to air pollution in India: the need to integrate across household and ambient air pollution exposures. *Environmental health perspectives* 122 (1): A6
- Banerjee R, Dutta M, Roy S, Sinha S (2012). Evaluating the health cost of transport pollution
- Bellinger DC (2013). Prenatal exposures to environmental chemicals and children's neurodevelopment: an update. *Safety and health at work* 4 (1): 1–11
- Beys ASK (2015). *Lexikon der Nachhaltigkeit*
- Blacksmith Institute (2017). Pure Earth. Toxic Sites Identification Program (TSIP). (Available from: <http://www.pureearth.org/projects/toxic-sites-identification-program-tsip/>)
- BMUB (2014). Kurzinformatio: Schutz der Ozonschicht: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (Available from: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/luftreinhaltung/ozonschicht-ozonloch/kurzinfo-schutz-der-ozonschicht/>)

- BMUB (2018). Die Genfer Luftreinhaltkonvention: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (Available from: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/luftreinhaltung/genfer-luftreinhaltkonvention/>)
- Böse-O'Reilly S, Bernaudat L, Siebert U, Roeder G, Nowak D, Drasch G (2017). Signs and symptoms of mercury-exposed gold miners. *International journal of occupational medicine and environmental health* 30 (2): 249–269
- Boxall AB, Hardy A, Beulke S, Boucard T, Burgin L, Falloon PD, Haygarth PM, Hutchinson T, Kovats RS, Leonardi G (2009). Impacts of climate change on indirect human exposure to pathogens and chemicals from agriculture. *Environmental Health Perspectives* 117 (4): 508
- Brauer M, Amann M, Burnett RT, Cohen A, Dentener F, Ezzati M, Henderson SB, Krzyzanowski M, Martin RV, Van Dingenen R (2012). Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. *Environmental science & technology* 46 (2): 652–660
- Brautbar N, Williams II J (2002). Industrial solvents and liver toxicity: risk assessment, risk factors and mechanisms. *International journal of hygiene and environmental health* 205 (6): 479–491
- Burnett RT, Pope III CA, Ezzati M, Olives C, Lim SS, Mehta S, Shin HH, Singh G, Hubbell B, Brauer M (2014). An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environmental health perspectives* 122 (4): 397
- Caravanos J, Dowling R, Téllez-Rojo MM, Cantoral A, Kobrosly R, Estrada D, Orjuela M, Gualtero S, Ericson B, Rivera A (2014). Blood lead levels in Mexico and pediatric burden of disease implications. *Annals of global health* 80 (4): 269–277
- Caravanos J, Carrelli J, Dowling R, Pavilonis B, Ericson B, Fuller R (2016). Burden of disease resulting from lead exposure at toxic waste sites in Argentina, Mexico and Uruguay. *Environmental Health* 15 (1): 72
- Chafe ZA, Brauer M, Klimont Z, Van Dingenen R, Mehta S, Rao S, Riahi K, Dentener F, Smith KR (2014). Household cooking with solid fuels contributes to ambient PM<sub>2.5</sub> air pollution and the burden of disease. *Environmental health perspectives* 122 (12): 1314
- Chan SH, Van Hee VC, Bergen S, Szpiro AA, DeRoo LA, London SJ, Marshall JD, Kaufman JD, Sandler DP (2015). Long-term air pollution exposure and blood pressure in the sister study. *Environmental health perspectives* 123 (10): 951
- Cimino AM, Boyles AL, Thayer KA, Perry MJ (2017). Effects of neonicotinoid pesticide exposure on human health: a systematic review. *Environmental health perspectives* 125 (2): 155
- Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, Balakrishnan K, Brunekreef B, Dandona L, Dandona R, Feigin V, Freedman G, Hubbell B, Jobling A, Kan H, Knibbs LD, Liu Y, Martin RV, Morawska L, Pope CA, Shin H, Straif K, Shaddick G, Thomas M, van Dingenen R, van Donkelaar A, Vos T, Murray CJ, Forouzanfar MH (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet* 389 (10082): 1907–1918
- Cosselman KE, Navas-Acien A, Kaufman JD (2015). Environmental factors in cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology* 12 (11): 627
- Derickson A (1998). Black lung: anatomy of a public health disaster: Cornell University Press
- DGP (2018). Atmen: Luftschadstoffe und Gesundheit (press release). Berlin: Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V
- Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris Jr BG, Speizer FE (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England journal of medicine* 329 (24): 1753–1759
- Dooyema CA, Neri A, Lo YC, Durant J, Dargan PI, Swarthout T, Biya O, Gidado SO, Haladu S, Sani-Gwarzo N, Nguku PM, Akpan H, Idris S, Bashir AM, Brown MJ (2012). Outbreak of fatal childhood lead poisoning related to artisanal gold mining in northwestern Nigeria, 2010. *Environ Health Perspect* 120 (4): 601–607
- Dovers S, Butler C (2018). Population and environment: a global challenge [www.science.org.au: Australian Academy of Science](http://www.science.org.au: Australian Academy of Science) (Available from: <https://www.science.org.au/curious/earth-environment/population-environment>)
- Epstein PR, Buonocore JJ, Eckerle K, Hendryx M, Stout Iii BM, Heinberg R, Clapp RW, May B, Reinhart NL, Ahern MM (2011). Full cost accounting for the life cycle of coal. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1219 (1): 73–98
- Ericson B, Landrigan P, Taylor MP, Frostad J, Caravanos J, Keith J, Fuller R (2016). The global burden of lead toxicity attributable to informal used lead-acid battery sites. *Annals of global health* 82 (5): 686–699
- European Commission (2016). Persistent Organic Pollutants (POPs). (Available from: [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/international\\_conventions/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/international_conventions/index_en.htm))
- Ezzati M, Utzinger J, Cairncross S, Cohen AJ, Singer BH (2005). Environmental risks in the developing world: exposure indicators for evaluating interventions, programmes, and policies. *Journal of Epidemiology & Community Health* 59 (1): 15–22
- Froehlich TE, Lanphear BP, Auinger P, Hornung R, Epstein JN, Braun J, Kahn RS (2009). Association of tobacco and lead exposures with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatrics* 124 (6): e1054–e1063
- Fullerton DG, Bruce N, Gordon SB (2008). Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 102 (9): 843–851
- Gavrilescu M, Demnerová K, Aamand J, Agathos S, Fava F (2015). Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New biotechnology* 32 (1): 147–156
- GBD (2016a). Risk Factors Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet* 388 (10053): 1659–1724
- GBD (2016b). DALYs and HALE Collaborators. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 315 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE), 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet* 388 (10053): 1603–1658
- GBD (2016c). Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet* 388 (10053): 1459–1544
- Gibb H, O'Leary KG (2014). Mercury exposure and health impacts among individuals in the artisanal and small-scale gold mining community: a comprehensive review. *Environmental health perspectives* 122 (7): 667–672
- Gibson JL (2005). A plea for painted railings and painted walls of rooms as the source of lead poisoning amongst Queensland children. *Public Health Reports* 120 (3): 301–304
- Gold DR, Samet JM (2013). Air pollution, climate, and heart disease. *Circulation* 128 (21): e411–e414
- Gordon SB, Bruce NG, Grigg J, Hibberd PL, Kurmi OP, Lam K-bH, Mortimer K, Asante KP, Balakrishnan K, Balmes J (2014). Respiratory risks from household air pollution in low and middle income countries. *The Lancet Respiratory Medicine* 2 (10): 823–860
- Grandjean P, Landrigan PJ (2014). Neurobehavioural effects of developmental toxicity. *The Lancet Neurology* 13 (3): 330–338
- Grosse SD, Matte TD, Schwartz J, Jackson RJ (2002). Economic gains resulting from the reduction in children's exposure to lead in the United States. *Environmental health perspectives* 110 (6): 563
- Ha E, Basu N, Böse-O'Reilly S, Dorea JG, McSorley E, Sakamoto M, Chan HM (2017). Current progress on understanding the impact of mercury on human health. *Environ Res* 152: 419–433
- Haefliger P, Mathieu-Nolf M, Locicero S, Ndiaye C, Coly M, Diouf A, Faye AL, Sow A, Tempowski J, Pronczuk J (2009). Mass lead intoxication from informal used lead-acid battery recycling in Dakar, Senegal. *Environmental Health Perspectives* 117 (10): 1535
- Hamra GB, Guha N, Cohen A, Laden F, Raaschou-Nielsen O, Samet JM, Vineis P, Forastiere F, Saldiva P, Yorifuji T (2014). Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives* 122 (9): 906
- Hayes K (2008). Small-scale Mining in Africa – A Case for Sustainable Livelihood. Amsterdam, the Netherlands: Common Fund for Commodities
- Heindel JJ, Balbus J, Birnbaum L, Brune-Drisse MN, Grandjean P, Gray K, Landrigan PJ, Sly PD, Suk W, Slechta DC (2016). Developmental origins of health and disease: integrating environmental influences. *Endocrinology* 2016 (1): 17–22
- Heusinkveld HJ, Wahle T, Campbell A, Westerink RH, Tran L, Johnston H, Stone V, Cassee FR, Schins RP (2016). Neurodegenerative and neurological disorders by small inhaled particles. *Neurotoxicology* 56: 94–106
- Hou Q, An X, Wang Y, Guo J (2010). An evaluation of resident exposure to respirable particulate matter and health economic loss in Beijing during Beijing 2008 Olympic Games. *Science of the total environment* 408(19): 4026–4032
- International Lead Association (2015). Lead uses – statistics London: International Lead Association (Available from: <https://www.ila-lead.org/lead-facts/lead-uses-statistics>)
- Iskander M, Meyerman G, Gray DF, Hagan S (1999). Corporate restructuring and governance in East Asia. *Finance and Development* 36 (1): 42
- Kan H, Chen R, Tong S (2012). Ambient air pollution, climate change, and population health in China. *Environment international* 42: 10–19

- Kaufman JD, Adar SD, Barr RG, Budoff M, Burke GL, Curl CL, Daviglius ML, Roux AVD, Gasset AJ, Jacobs Jr DR (2016). Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the USA (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study. *The Lancet* 388 (10045): 696–704
- Kim K-H, Jahan SA, Kabir E (2011). A review of diseases associated with household air pollution due to the use of biomass fuels. *Journal of hazardous materials* 192 (2): 425–431
- Kodjak D (2015). Policies to reduce fuel consumption, air pollution, and carbon emissions from vehicles in G20 nations. (Available from [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_G20-briefing-paper\\_Jun2015\\_updated.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_G20-briefing-paper_Jun2015_updated.pdf))
- Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Hughes E, Shi Y, Turner MC, Pope III CA, Thurston G, Calle EE (2009). Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality: Health Effects Institute Boston, MA
- Kümmerer K (2009). Antibiotics in the aquatic environment – a review – part II. *Chemosphere* 75 (4): 435–441
- Kuznets S (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*. 1–28
- Landrigan PJ, Fuller R (2015). Environmental pollution: an enormous and invisible burden on health systems in low-and middle-income countries. *World Hosp Health Serv* 50 (4): 35–41
- Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJ, Adeyi O, Arnold R, Basu N, Baldé AB, Bertollini R, Böse-O'Reilly S, Boufford JI, Breyse PN, Chiles T, Mahidol C, Coll-Seck AM, Cropper ML, Fobil J, Fuster V, Greenstone M, Haines A, Hanrahan D, Hunter D, Khare M, Krupnick A, Lanphear B, Lohani B, Martin K, Mathiasen KV, McTeer MA, Murray CJ, Ndahimananjara JD, Perera F, Potoënik J, Preker AS, Ramesh J, Rockström J, Salinas C, Samson LD, Sandilya K, Sly PD, Smith KR, Steiner A, Stewart RB, Suk WA, van Schayck OC, Yadama GN, Yumkella K, Zhong M (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet* 391 (10119): 462–512
- Landrigan PJ, Fuller R, Fisher S, Suk WA, Sly P, Chiles TC, Böse-O'Reilly S (2019). Pollution and children's health. *Sci Total Environ* 650(Pt 2): 2389–2394
- Landrigan PJ, Goldman LR (2011). Children's vulnerability to toxic chemicals: a challenge and opportunity to strengthen health and environmental policy. *Health Affairs* 30 (5): 842–850
- Lanphear BP, Hornung R, Khoury J, Yolton K, Baghurst P, Bellinger DC, Canfield RL, Dietrich KN, Bornschein R, Greene T (2005). Low-level environmental lead exposure and children's intellectual function: an international pooled analysis. *Environmental health perspectives* 113 (7): 894
- Lanphear BP, Rauch S, Auinger P, Allen RW, Hornung RW (2018). Low-level lead exposure and mortality in US adults: a population-based cohort study. *The Lancet Public Health* 3 (4): e177–e184
- Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, Giannadaki D, Pozzer A (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 525 (7569): 367
- Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Baan R, Mattock H, Straif K (2013). The carcinogenicity of outdoor air pollution. *The Lancet oncology* 14 (13): 1262–1263
- Lucchini RG, Guazzetti S, Zoni S, Benedetti C, Fedrighi C, Peli M, Donna F, Bontempì E, Borgese L, Micheletti S (2014). Neurofunctional dopaminergic impairment in elderly after lifetime exposure to manganese. *Neurotoxicology* 45: 309–317
- Malley CS, Kuylenstierna JC, Vallack HW, Henze DK, Blencowe H, Ashmore MR (2017). Preterm birth associated with maternal fine particulate matter exposure: a global, regional and national assessment. *Environment international* 101: 173–182
- Mannucci PM, Franchini M (2017). Health effects of ambient air pollution in developing countries. *International journal of environmental research and public health* 14(9): 1048
- Margai FM, Barry FB (2011). Global geographies of environmental injustice and health: a case study of illegal hazardous waste dumping in Côte d'Ivoire. *Geospatial Analysis of Environmental Health*: Springer, p. 257–281
- Mathers CD, Vos T, Lopez AD, Salomon J, Ezzati M (2001). National burden of disease studies: a practical guide. Geneva: World Health Organization
- Metcalfe SM, Veiga MM (2012). Using street theatre to increase awareness of and reduce mercury pollution in the artisanal gold mining sector: a case from Zimbabwe. *Journal of Cleaner Production* 37: 179–184
- Murray CJ, Lopez AD (eds.) (1996). The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020: summary. World Health Organization
- National Academy of Science (2010). Hidden costs of energy: unpriced consequences of energy production and use. Washington D.C.: National Academies Press
- National Academy of Science (2012). Exposure Science in the 21st Century: a Vision and a Strategy. Washington D.C.: National Academies Press
- National Cancer Institute (2016). NCI dictionary of cancer terms. (Available from: <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/premature-death>)
- Needleman HL, Gunnoe C, Leviton A, Reed R, Peresie H, Maher C, Barrett P (1979). Deficits in psychologic and classroom performance of children with elevated dentine lead levels. *New England journal of medicine* 300 (13): 689–695
- Needleman HL, Riess JA, Tobin MJ, Biesecker GE, Greenhouse JB (1996). Bone lead levels and delinquent behavior. *JAMA* 275 (5): 363–369
- Nevin R (2007). Understanding international crime trends: the legacy of preschool lead exposure. *Environmental research* 104 (3): 315–336
- O'Neill J (2016). For the review on antimicrobial resistance. Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. May, 2016
- Omran AR (2005). The epidemiologic transition: a theory of the epidemiology of population change. *The Milbank Quarterly* 83 (4): 731–757
- Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C, Badaloni C, Cesaroni G, Henschel S, Meister K, Haluz D, Martin-Olmedo P (2013). Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results of the Aphekom project. *Science of the Total Environment* 449: 390–400
- Perera FP (2017). Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: impacts of air pollution and climate change. *Environmental health perspectives* 125 (2): 141
- Petrie B, Barden R, Kasprzyk-Hordern B (2015). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research* 72: 3–27
- Pöhler D, Platt U (2016). Luftverschmutzung in den Städten. *Ruperto Carola* (9): 50–59
- Pope 3rd C (1989). Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *American Journal of Public Health* 79 (5): 623–628
- Prüss-Üstün A, Mathers C, Corvalán C, Woodward A (2003). The Global Burden of Disease concept. Introduction and methods: assessing the environmental burden of disease at national and local levels: WHO
- Prüss-Üstün A, Neira M (2016). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks: World Health Organization
- Quansah R, Ochieng CA, Semple S, Juvekar S, Emina J, Armah FA, Luginaah I (2015). Effectiveness of interventions to reduce indoor air pollution and/or improve health in homes using solid fuel in lower and middle income countries: protocol for a systematic review. *Systematic reviews* 4 (1): 22
- Reuben A, Caspi A, Belsky DW, Broadbent J, Harrington H, Sugden K, Houts RM, Ramrakha S, Poulton R, Moffitt TE (2017). Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood. *JAMA* 317 (12): 1244–1251
- Richter S, Steinhäuser K-G, Fiedler H (2001). Globaler Vertrag zur Regelung von POPs: Die Stockholm Konvention. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 13 (1): 39–44
- Rinsky RA (1989). Benzene and leukemia: an epidemiologic risk assessment. *Environmental health perspectives* 82: 189
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin III FS, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461 (7263): 472
- Rylance J, Fullerton DG, Semple S, Ayres JG (2010). The Global Burden of Air Pollution on Mortality: The Need to Include Exposure to Household Biomass Fuel-Derived Particulates. *Environmental health perspectives* 118 (10): A424
- Schwarze P, Øvreivik J, Låg M, Refsnes M, Nafstad P, Hetland R, Dybing E (2006). Particulate matter properties and health effects: consistency of epidemiological and toxicological studies. *Human & experimental toxicology* 25 (10): 559–579
- Schwarzenbach RP, Egli T, Hofstetter TB, Von Gunten U, Wehrli B (2010). Global water pollution and human health. *Annual Review of Environment and Resources* 35: 109–136
- Seccatore J, Veiga MM, Origliasso C, Marin T, De Tomi G (2014). An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Sci Total Environ* 496: 662–667

- Selikoff IJ, Chung J, Hammond EC (1964). Asbestos exposure and neoplasia. *JAMA* 188 (1): 22–26
- Sherbinin Ad, Carr D, Cassels S, Jiang L (2007). Population and Environment. *Annual Review of Environment and Resources* 32 (1): 345–373
- Smith KR, Ezzati M (2005). How environmental health risks change with development: the epidemiologic and environmental risk transitions revisited. *Annu Rev Environ Resour* 30: 291–333
- Smith KR, Mehta S, Maeusezahl-Feuz M (2004). Indoor air pollution from household use of solid fuels. Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors 2: 1435–1493
- Sorek-Hamer M, Just AC, Kloog I (2016). The Use of Satellite Remote Sensing in Epidemiological Studies. *Current opinion in pediatrics* 28 (2): 228
- Spiegel SJ, Veiga MM (2006). Global Impacts of Mercury Supply and Demand in Small-Scale Gold Mining: Report to the UNEP Governing Council Meeting. UNEP Governing Council
- Steckling N, Tobollik M, Plass D, Hornberg C, Ericson B, Fuller R, Böse-O'Reilly S (2017). Global Burden of Disease of Mercury Used in Artisanal Small-Scale Gold Mining. *Annals of Global Health* 83 (2): 234–247
- Su C, Bretnier S, Schneider A, Liu L, Franck U, Peters A, Pan X (2016). Short-term effects of fine particulate air pollution on cardiovascular hospital emergency room visits: a time-series study in Beijing, China. *International archives of occupational and environmental health* 89 (4): 641–657
- Takahashi K, Landrigan PJ (2016). The global health dimensions of asbestos and asbestos-related diseases. *Annals of global health* 82 (1): 209–213
- Thomas E, Wickramasinghe K, Mendis S, Roberts N, Foster C (2015). Improved stove interventions to reduce household air pollution in low and middle income countries: a descriptive systematic review. *BMC public health* 15 (1): 650
- Thurston G, Lippmann M (eds.) (2015). Ambient particulate matter air pollution and cardiopulmonary diseases. *Seminars in respiratory and critical care medicine*. Thieme Medical Publishers
- Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, Balmes J, Brook RD, Cromar K, De Matteis S, Forastiere F, Forsberg B, Frampton MW (2016). A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *European Respiratory Journal*: 1600419
- Umweltbundesamt (2013). Genfer Luftreinhalteabkommen: Umweltbundesamt. (Available from: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/rege-lungen-strategien/internationale-uebereinkommen#textpart-1>)
- Umweltbundesamt (2016). Stockholm-Konvention: Umweltbundesamt. (Available from: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-management/stockholm-konvention>)
- UN (2017). The 50-ratification milestone required for the Minamata Convention on Mercury to enter into force was reached on 18 May 2017: United Nations Environment Programme. (Available from: <http://www.mercuryconvention.org/News/50ratificationmilestonereachedon18May2017/tabid/5938/language/en-US/Default.aspx>)
- UNECE (2018a). Protocols: United Nations Economic Commission for Europe. (Available from: [https://www.unece.org/env/lrtap/status/lrtap\\_s.html](https://www.unece.org/env/lrtap/status/lrtap_s.html))
- UNECE (2018b). The Convention and its achievements: United Nations Economic Commission for Europe. (Available from: <https://www.unece.org/environmental-policy/conventions/envlrtapwelcome/the-air-convention-and-its-protocols/the-convention-and-its-achievements.html>)
- UNEP (2012). Reducing mercury use in artisanal and small-scale gold mining: a practical guide. A UNEP Global Mercury Partnership document produced in conjunction with Artisanal Gold Council. 68
- UNEP (2013). Minamata Convention On Mercury. Geneva, Switzerland: Text agreed upon in UNEP(DTIE)/Hg/INC5/3; January 13–19, 2013
- United Nations (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248.: Department of Economic and Social Affairs, Population Division
- Valavanidis A, Fiotakis K, Vlachogianni T (2008). Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health, Part C* 26 (4): 339–362
- Wang X, Kindzierski W, Kaul P (2015). Air pollution and acute myocardial infarction hospital admission in Alberta, Canada: a three-step procedure case-crossover study. *PLoS One* 10 (7): e0132769
- WHO (2013). Mercury Exposure and Health Impacts among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM) Community 2013 (Available from: [http://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/mercury\\_asgm.pdf](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury_asgm.pdf))
- WHO (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization
- WHO (2018a). Fact Sheet Lead Intoxication (Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/>)
- WHO (2018b). Metrics: Disability-Adjusted Life Year (DALY) (Available from: [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/metrics\\_daly/en/](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/))
- Wild CP (2005). Complementing the genome with an „exposome“: the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. *AACR*
- Wild CP (2012). The exposome: from concept to utility. *International journal of epidemiology* 41 (1): 24–32
- Wilkinson P, Smith KR, Beevers S, Tonne C, Oreszczyn T (2007). Energy, energy efficiency, and the built environment. *The Lancet* 370 (9593): 1175–1187

# Gesundheitliche Auswirkungen von künstlichem Licht (künstlicher optischer Strahlung)

B. Brenner, H.-D. Reidenbach, M. Otto, C. Herr

## 1 Einleitung

Die schrittweise Ablösung der Glühlampe durch energieeffiziente Leuchtmittel und der Trend zu einer „24-h-Gesellschaft“ führen dazu, dass moderne Lichtquellen eine immer stärkere Verbreitung in unserer Lebensumwelt finden und die Expositionsdauer und -stärke ihnen gegenüber entsprechend zunimmt. Gegenwärtig halten sich die meisten Menschen zu etwa 90% der Zeit in Innenräumen auf. Dort erfolgt auch die visuelle Informationsaufnahme und Darstellung zu einem sehr hohen Anteil über Bildschirme und Monitore, die mit LCD- oder LED-Technik ausgestattet sind.

Während der Aufenthalt im Freien mit Beleuchtungsstärken zwischen 100 000 Lux an einem Sonnentag und immerhin noch 3 500 Lux an einem bedeckten Wintertag verbunden ist, liegt die typische Beleuchtungsstärke in Innenräumen, die hauptsächlich durch energieeffiziente Lichtquellen zustande kommt, für normale Sehauflagen nur bei etwa 200–500 Lux, an Arbeitsplätzen bei maximal 2 000 Lux. Somit ist der Mensch in der heutigen Zeit je nach Jahreszeit und Aufenthaltsort überwiegend einem Licht ausgesetzt, welches sich vom Farbspektrum und der Beleuchtungsstärke wesentlich vom Licht der Sonne unterscheidet.

Nachfolgend wird unter künstlichen Lichtquellen das Licht aus Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtstofflampen (Quecksilber-Niederdruck-Gasentladungslampen) und Lichtquellen auf Halbleiterbasis (LED (light emitting diode) -Lampen, -Displays und -Monitore) sowie auch organischen Lichtquellen (OLED – organic light emitting diode) verstanden. Das Spektrum der künstlichen Lichtquellen kann neben dem diskontinuierlichen sichtbaren Spektrum auch relevante UV- als auch IR-Anteile aufweisen (SSK 2010), wobei der Infrarotanteil im Vergleich zur Sonnenstrahlung bzw. der von Glühlampen (Farbtemperatur ca. 2 700 Kelvin) vernachlässigbar ist. Bei LED kann je nach Farbtemperatur der Blauanteil stark dominieren.

Tageslicht, Glühlampen und Halogenleuchtstofflampen sind die einzigen Lichtquellen mit kontinuierlichem Farbspektrum, während alle anderen Lichtquellen Licht mit mehr oder weniger ausgeprägten schmal- bis breitbandigen Peaks hauptsächlich im blauen und grünen Spektralbereich aussenden. Das charakteristische Emissionsspektrum der jeweiligen

Lichtquelle bestimmt mit dem Farbwiedergabeindex (Ra-Wert) maßgeblich die Lichtqualität und damit auch die Farbwahrnehmung. Je höher der Ra-Wert, desto mehr entsprechen die Farben dem Farbeindruck unter Tageslichtverhältnissen. Dem idealen Farbeindruck kommen „schwarze Strahler“ am nächsten. Für die Farbtemperatur 2 700 K steht näherungsweise das Licht einer Glühlampe, deren Farbwiedergabeindex deshalb auf 100 gesetzt wird. Bei Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen hängt es von der Qualität ab. Sie erreichen nicht notwendigerweise einen mit der Glühlampe vergleichbaren Ra-Wert. Lampen mit einem Ra-Wert <80 sind eher für Anwendungen geeignet, die nicht zwingend eine hohe Farbwiedergabe erfordern. Hohe und höchste Farbwiedergabe für Innenräume sind Lampen mit exzellentem (90–100) bzw. sehr gutem (80–89) Farbwiedergabeindex. Zumindest die sehr gute Farbwiedergabe wird mittlerweile von vielen Kompaktleuchtstofflampen und LED erreicht.

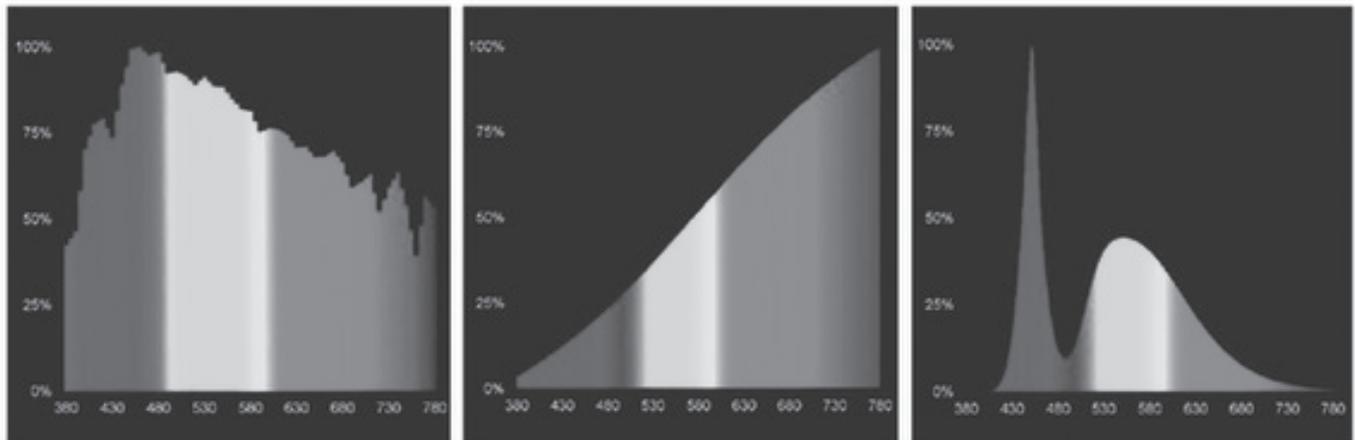
Abhängig vom Farbwiedergabeindex der jeweiligen Lichtquelle kann bei Menschen mit Achromatopsie (Farbenblindheit (ICD-H53.5)) oder auch Farbsehstörung die Farbwahrnehmung bei der Betrachtung gedruckter Objekte (Bilder, Zeitschriften, Bücher) unter künstlichem Licht erschwert oder eingeschränkt sein. Auch können bei der Betrachtung verstärkte Ermüdungserscheinungen auftreten. Achromatopsie ist eine sehr seltene vererbte Erkrankung der Netzhaut. Betroffene Menschen sind vollkommen oder partiell farbenblind. Bei den Betroffenen liegen meist die Symptome vollständige oder fast vollständige Farbenblindheit, Nyctagmus, Überempfindlichkeit gegenüber Licht und geringer Visus vor. Die selten diagnostizierte echte Farbenblindheit ist nicht zu verwechseln mit der häufigsten Farbsehstörung, der Rot- und Grün-Schwäche (Protanopie und Deutanopie). Die Rot-Grün-Schwäche ist eine Störung des Sehens der Farben Rot und Grün. Hiervon sind insgesamt etwa 8–9 % aller Männer und 0,5–0,8 % aller Frauen betroffen.

Künstliches Licht, das mit Wechselstrom erzeugt wird, weist eine periodische Modulation in Form von optischem

### Korrespondenzautor:

Dr. Bernhard Brenner  
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit  
Sachbereich AP2 Arbeits- und Umweltmedizin  
Pfarrstraße 3  
80538 München  
E-Mail: [bernhard.brenner@lgl.bayern.de](mailto:bernhard.brenner@lgl.bayern.de)

Quelle: Erstveröffentlichung im Handbuch der Umweltmedizin. ecomed MEDIZIN, ecomed-Storck GmbH, Landsberg am Lech.



**Abbildung 1:** Lampenspektren (v. l. n. r.: Tageslicht, Glühlampe, LED kaltweiß). Abszisse: Wellenlänge (nm), Ordinate: normierte Strahlungsleistung. Mit freundlicher Genehmigung der Fördergemeinschaft Gutes Licht (Quelle: Licht 2018)

Flimmern auf. Leuchtmittel, die direkt mit der Netzspannung betrieben werden, flimmern mit der doppelten Netzfrequenz. Durch die thermische Trägheit ist das Flimmern bei Glühlampen deutlich geringer als bei Leuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen. Bei Leuchtstofflampen gibt es neben den elektronischen Vorschaltgeräten, die im kHz-Bereich arbeiten und somit im normalen Betriebsfall kein wahrnehmbares Flimmern mehr zeigen, auch noch häufig die Drossel-Starter-Schaltung, die ein 100 Hz-Flimmern zeigt (SSK 2010). Bei LED-Leuchtmitteln ist das optische Flimmern durch die Art der Stromversorgung (Netzteil) bestimmt. Deren Vorschaltgeräte arbeiten oft noch mit Frequenzen von 100 oder 120 Hz. Neuere LED-Lampen arbeiten aber in der Regel im kHz-Bereich und zeigen somit im normalen Betriebsfall kein wahrnehmbares Flimmern (SSK 2010). Zum Flimmern kommt noch der häufige Fall der Pulsweitenmodulation, der auch bei geringen Frequenzen vorkommt. Ab 100 Hz ist weniger die direkte Flimmerwahrnehmung problematisch, sondern der sogenannte Stroboskopeffekt, der bei bewegten gepulsten Lichtquellen oder bei Augenbewegungen in gepulst beleuchteten Räumen auftritt.

Die Flimmerverschmelzungsfrequenz, auch Flimmerfusionsfrequenz oder kritische Flickerfrequenz (critical flicker frequency, CFF) ist die Frequenz, ab der eine Folge von Lichtblitzen als ein kontinuierliches Licht wahrgenommen wird (Flimmerfusion). Unterhalb der CFF kann das Rezeptorpotenzial in der Netzhaut zwischen den Reizwechseln (Hell und Dunkel) abklingen und es wird über das ZNS Flimmern wahrgenommen. Die CFF des gesunden Menschen unterliegt einer individuellen Varianz. Im Durchschnitt streuen für skotopisches Sehen (Stäbchensehen) die einzelnen CFF-Werte mit rd.  $\pm 3$  Hz (Standardabweichung) um den Mittelwert von 26 Hz bei jüngeren Erwachsenen und um 23 Hz bei älteren Menschen (Mewborn et al. 2015). Im photopischen Bereich kann die CFF gem. Talbot-Gesetz bis zu 90 Hz ansteigen (Schmidt et al. 2010). Für die CFF retinaler Ganglienzellen, der Zellen des Corpus geniculatum laterale (CGL) und die einfachen Zellen der primären

Sehrinde gelten die gleichen Gesetze wie für die subjektive CFF. Im Bereich von 5 bis 15 Hz lösen intermittierende Lichtreize eine besonders starke Aktivierung retinaler und kortikaler Nervenzellen aus (Schmidt et al. 2010).

Die CFF kann vermindert sein z. B. durch Neuro-Psychopharmaka, beim Vorliegen von Hirntumoren oder einer Alzheimer-Erkrankung. Die CFF ist auch vermindert bei einer hypämischen Hypoxie durch Kohlenmonoxid (CO) bei Carboxihämoglobinkonzentrationen (COHb) von 5–10 %; Raucher haben ständig 2–14 % COHb. Im Bereich von 20–30 % COHb können auch Symptome wie Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Bewusstseinseinschränkungen etc. auftreten.

## 2 Wirkungen auf den Menschen bei Exposition gegenüber künstlichem Licht

Das diskontinuierliche Farbspektrum der energieeffizienten künstlichen Lichtquellen hat zu Fragen nach der „gesundheitlichen Unbedenklichkeit der modernen Lichtquellen“ geführt. Neben der Art der Lichtquelle spielt der Zeitraum der Lichtexposition, die Tages- bzw. Nachtzeit und der individuelle Chronotyp eine wichtige Rolle.

Bei der nachfolgenden Beurteilung der modernen Lichtquellen wird von typischen Beleuchtungs- und Nutzungsszenarien in der Umwelt ausgegangen. Es werden die Unterschiede der verschiedenen Beleuchtungsarten aufgezeigt und die möglichen gesundheitlichen Wirkungen bei Exposition gegenüber künstlichem Licht auch unter chronobiologischen Aspekten betrachtet.

### 2.1 Direkte Wirkungen auf die Netzhaut bei Exposition gegenüber künstlichem Licht

Eine gesundheitliche Gefährdung kann gegeben sein, wenn energiereiches Licht in die Augen einfällt, welches durch

die Augenlinse fokussiert wird. Die resultierende zelluläre Wirkung einer Lichtexposition hängt von der Wellenlänge, der Energiedichte, der Expositionsdauer, vom exponierten Zelltyp und von der spezifischen molekularen Reaktion ebenso ab wie von der Verfügbarkeit, der Geschwindigkeit und der Wirksamkeit der körpereigenen Schutzreaktionen (Verschluss der Augenlider, Pupillenreflex, Hell-Dunkel-Adaptation, Einwirkdauer usw.) ab. Mögliche schädigende Expositionswirkungen von kurzwelliger ultravioletter Strahlung mit dem Risiko einer photochemischen Netzhautschädigung und der langwelligen Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung, Risiko: thermische Netzhautschädigung) müssen gleichermaßen beachtet werden. Die Leuchtdichte von LED kann so hoch sein, dass bei direktem Hineinschauen aus geringem Abstand die Netzhaut der Augen vorübergehend oder dauerhaft geschädigt werden kann. Besondere Gesundheitsgefahren bestehen nach der „Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail“ (ANSES) bei Exposition gegenüber UV- und IR-reichen LED (ANSES 2010, Behar-Cohen et al. 2011, BAuA 2013), da in diesen Spektralbereichen kein sichtbares Licht wahrgenommen, bzw. die Pupillenweite bei Lichteinfall im Wellenlängenbereich um 480 nm am wirkungsvollsten reduziert wird (Brainard et al. 2008, Mure et al. 2009). Die DIN EN 62471 ist eine Norm zur entsprechenden Prüfung der photobiologischen Sicherheit von Lampen und Lampensystemen. Energiesparlampen werden in die Risikogruppen RG 0 (ohne Risiko) bis RG 3 (hohes Risiko auch bei kurzzeitiger Einwirkung) eingeteilt:

- Risikogruppe 0: auch bei sehr langen Bestrahlungsdauern der Netzhaut bis 10 000 Sekunden (166,6 Minuten) risikolos einsetzbar
- Risikogruppe 1: bei Bestrahlungsdauern bis 100 Sekunden risikolos einsetzbar („geringes Risiko“)
- Risikogruppe 2: bei Bestrahlungsdauern bis 0,25 Sekunden risikolos einsetzbar („mittleres Risiko“)
- Risikogruppe 3: selbst bei sehr kurzen Bestrahlungsdauern nicht risikolos einsetzbar („hohes Risiko“)

Dabei werden nur akute Wirkungen (Einwirkungsdauer max. 8 h) auf ein gesundes Individuum bewertet.

Die französische Agentur für Lebensmittel, Umwelt- und Arbeitsschutz sieht im Fall einer lang andauernden Exposition bei niedriger „Intensität“ eine mögliche toxische Wirkung (toxischer Stress) durch den hohen Blaulicht-Anteil und die Gefahr von Blendung durch die kleinen Emissionsflächen der LED (ANSES 2010). Zu den besonders gefährdeten Personen gehören demnach Kinder, Personen, die bereits lichtempfindlich sind, und Arbeiter, wenn sie einer intensiven Beleuchtung ausgesetzt sind. Abschließend wird von ANSES geschlussfolgert, dass nur LED, die in Risikogruppen nach DIN EN 62471 ähnlich denjenigen traditioneller Beleuchtungssysteme fallen, in der Öffentlichkeit zugänglich sein sollten und dass Beleuchtungs- bzw. Lampensysteme, die in die höchste Risikogruppe fallen, ausschließlich für den professionellen Gebrauch zum Einsatz kommen dür-

fen, und zwar unter Bedingungen, bei denen die Sicherheit von Arbeitern gewährleistet werden kann.

Zur Frage der Langzeitstabilität der zur Erzeugung des weißen Lichtes im Leuchtkörper verwendeten Leuchtstoffschichten ist gegenwärtig relativ wenig bekannt. Nach ANSES könnten durch einen fortschreitenden Verschleiß der Leuchtstoffschichten die UV-Emissionen der Lampe ansteigen, was dazu führen würde, dass dabei Lampen aus der zugeordneten photobiologischen Risikogruppe in eine höhere gelangen könnten.

Im Hinblick auf violette optische Strahlung liegen derzeit experimentelle Erkenntnisse vor, wonach es zu sehr langen Nachwirkungen beim Einfall dieser kurzwelligen Strahlung auf die Netzhaut kommen kann (Reidenbach et al. 2013). Hier kann derzeit die Frage nicht beantwortet werden, ob es sich dabei um das Ergebnis der Sättigung von Photorezeptoren oder eventuell um Anzeichen einer Phototoxizität handelt. Zu den gegenwärtig von ICNIRP empfohlenen Expositionsgrenzwerten wird in der Fachwelt Änderungsbedarf gesehen (Berlien et al. 2016), aufgrund einiger Hinweise, dass bereits bei einer Expositionsdauer von weniger als 0,25 s photochemische Effekte in der Netzhaut auftreten könnten (Reidenbach et al. 2013, 2014). Dabei absorbieren bestimmte Moleküle die auftreffende optische Strahlung, werden dadurch angeregt und geben ihre Energie an Sauerstoff-Moleküle ab. Dadurch entsteht eine hochreaktive Form des Sauerstoffs (Singulett-Sauerstoff). Dieser greift das umliegende Gewebe an und erzeugt freie Radikale, die ebenfalls hochreaktiv sind und umgebende zelluläre Moleküle wie Proteine oder die Erbsubstanz Desoxyribonukleinsäure (DNS) schädigen können.

In der abschließenden Stellungnahme des Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER 2018) stellt der wissenschaftliche Ausschuss in Bezug auf die Ergebnisse von Chamorro et al. (2013) und Shang et al. (2014, 2017) fest, dass optische Strahlung, die von LEDs emittiert wird, bei Langzeitexposition Zellschäden in Abhängigkeit von der Wellenlänge induzieren kann. SCHEER kommt insgesamt zu dem Schluss, dass es nach dem heutigen Kenntnisstand bei normalem Gebrauch (Lampen und Displays) keine Hinweise auf direkte gesundheitsschädliche Auswirkungen von LED-Emissionen bei der gesunden Allgemeinbevölkerung gibt. Es liegt eine geringe Evidenz dafür vor, dass die Lichteinwirkung am späten Abend, einschließlich der von LED-Beleuchtung und/oder Bildschirmen, Auswirkungen auf den zirkadianen Rhythmus haben könnte. Im Moment ist aber noch nicht klar, ob diese Störung des zirkadianen Systems zu nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen führt. Da die Retina von Kindern empfindlicher gegenüber blauem Licht ist, können blaue LEDs (zwischen 400 nm und 500 nm), einschließlich jenen in Spielzeug, sehr blendend sein und photochemische Retinopathien auslösen; hiervon können vor allem Kinder im Alter unter drei Jahren betroffen sein. Ältere Menschen können unter der Einwirkung von blau angereichertem Licht Unbehagen empfinden.

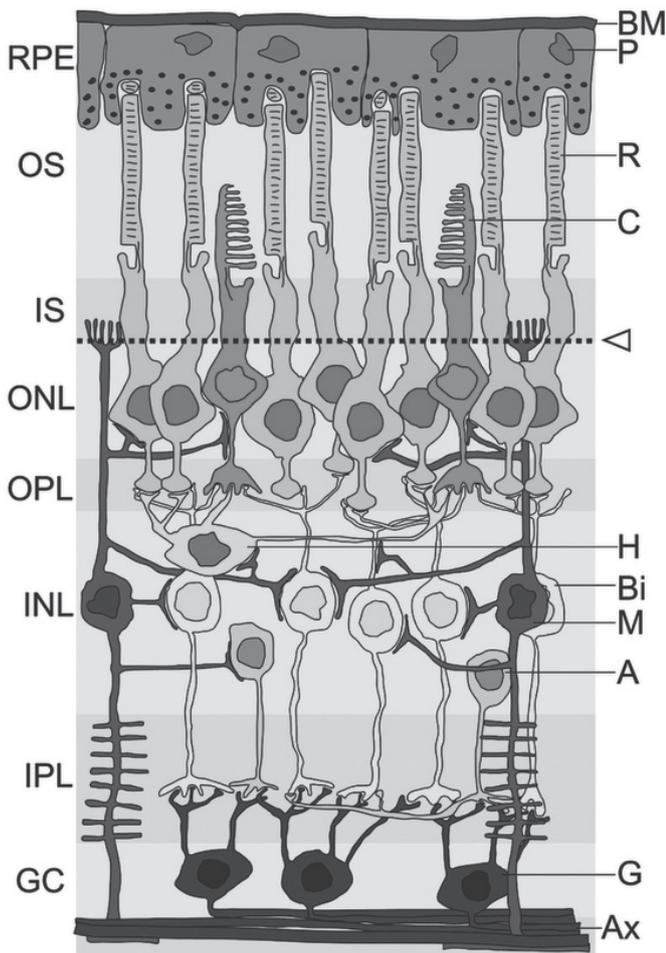
Da sich der Einsatz der LED-Technologie noch in der Entwicklung befindet, ist es nach Ansicht des Ausschusses wichtig, das Risiko möglicher gesundheitsschädlicher Wirkungen bei LED-Langzeitnutzung der Bevölkerung genau zu überwachen.

Die Flimmerverschmelzungsfrequenz (CFF) des gesunden Menschen unterliegt einer individuellen Varianz; in Ausnahmefällen sind im photopischen Bereich (Zapfen) Abweichungen bis 90 Hz nach oben möglich (Schmidt et al. 2010). Leuchtmittel, die direkt mit der Netzspannung betrieben werden, flimmern mit der doppelten Netzfrequenz, diese liegt mit 100 Hz geringfügig über den 90 Hz für einzelne Personen. LED-Vorschaltgeräte arbeiten meist mit Frequenzen von 100 oder 120 Hz; nach SCHEER (2018) kann eine Exposition in diesem Frequenzbereich für wenige Menschen gesundheitsrelevant sein. Bei Epileptikern ist die Photosensitivität wissenschaftlich belegt, die durch Flimmern induzierten Anfälle sind jedoch nur für einen kleinen

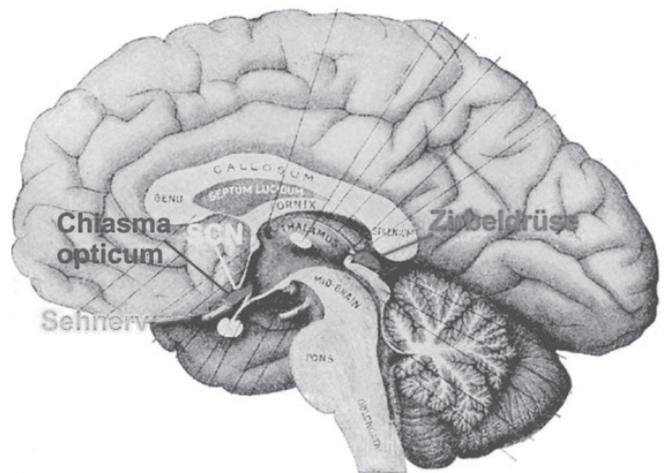
Frequenzbereich (15–18 Hz) nachgewiesen. Bislang gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis, dass Leuchtstofflampen, einschließlich Kompaktleuchtstofflampen, Krampfanfälle auslösen (SCENIHR 2012).

## 2.2 Indirekte Wirkungen bei Exposition gegenüber künstlichem Licht

Neben den photosensitiven Zellen, den Stäbchen und Zapfen auf der Netzhaut des Auges, die für die visuelle Abbildung der Lebensumwelt und die Bildverarbeitung die Information liefern (► Abb. 2), spielen die in der innersten Schicht der Netzhaut lokalisierten „intrinsically photosensitive retinal ganglion cells“ (ipRGCs) u. a. für die nicht-visuelle Zeitsynchronisation der „inneren Uhr“ (zirkadiane Phototransduktion) eine übergeordnete Rolle (Berson et al. 2003, Brainard 2001).



**Abbildung 2:** Lichtempfindliche Zellen der Augennetzhaut (Hartmann o. A.) BM: Bruch'sche Membran, RPE: retinal pigment epithelium, C: cones, R: rods, OS/IS: outer and inner segments of rods and cones, ONL: outer nuclear layer, OPL: outer plexiform layer, INL: inner nuclear layer, IPL: inner plexiform layer, GC: ganglion cell



**Abbildung 3:** Zirbeldrüse und Suprachiasmatischer Nucleus im menschlichen Gehirn (nach Carter o.A.)

Die Lichtinformation der ipRGC, die das Photopigment Melanopsin enthalten, wird primär an die „innere Uhr“ im suprachiasmatischen Nucleus (SCN), sekundär an Kernregionen im Hirn, welche die Pupillenweite regulieren (OPN: Olivary Pretectal Nuclei), an Amygdala und Hippocampus weitergeleitet (► Abb. 3).

Der über die „innere Uhr“ vorgegebene Rhythmus regelt fast alle neuropsychologischen Variablen wie Müdigkeit, Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit, den Schlaf-Wach-Zyklus, die Hormonausschüttung, den Zellstoffwechsel, Zellwachstum, Zellteilung und Energiebilanz (Foster u. Wulff 2005, Vitaterna et al. 2001, Lerchl 2002) (SCENIHR 2008, 2012). Deutlich erkennbar wird die Funktion des Lichts als entscheidendes chronobiologisches Agens bei Flugreisen über mehrere Zeitzonen hinweg („jetlag“), bei Schichtarbeit und bei länger andauerndem Aufenthalt in Polargegenden. Die zur Aktivierung des zirkadianen Systems erforderliche Lichtstärke von poly-

chromatischem „weißen“ Licht ist mindestens zwei Zehnerpotenzen höher als die Lichtstärke, die zur Aktivierung des visuellen Systems erforderlich ist. Dieser Steuermechanismus des zirkadianen Systems scheint bei den meisten Menschen seine maximale Empfindlichkeit im Bereich des „blauen“ Spektralbereichs bei etwa 460 nm zu haben (Lucas et al. 2014).

Die Informationsübertragung vom SCN zu den Geweben und Organen, die auch autonome periphere Oszillatoren besitzen, die im Normalfall alle untereinander synchronisiert sind, erfolgt insbesondere über das Schlaf-Wach-Hormon Melatonin (N-Acetyl-5-Methoxytryptamin). Dieses wird hauptsächlich in den Pinealozyten der Epiphyse (Zirbeldrüse) synthetisiert und unmittelbar in die Blutbahn sezerniert. Im Laufe der Nacht steigt die Melatoninkonzentration im Blut bei älteren Menschen etwa um den Faktor 3 und bei jungen Menschen bis zum Faktor 12 an; das Maximum wird gegen 3 Uhr morgens erreicht (Arendt et al. 2008). Tagsüber ist die Melatoninsynthese nahe Null. Die Melatonin- und Cortisolspiegel im Blutplasma sowie die Körperkerntemperatur zählen zu den klassischen Phasenmarkern der biologischen Uhr (Czeisler u. Gooley 2007).

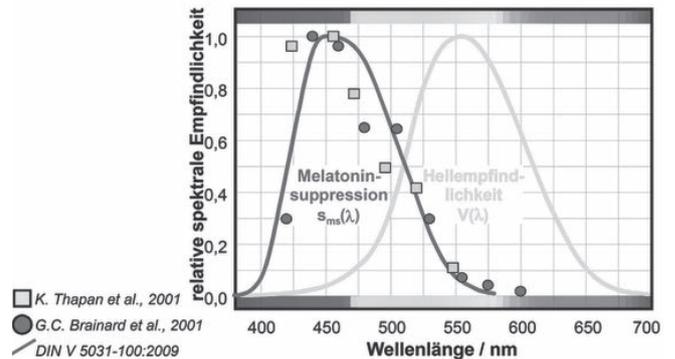
Melatonin hat vielfältige Aufgaben im Körper: Neben seiner Funktion als „Zeitgeber/Indikator für die Nachtphase“ (Induktion der Tiefschlafphase) dient es auch als Antioxidans und als Radikalfänger. Ferner verstärkt es Immunantworten und beeinflusst bestimmte apoptotische Prozesse (SCENIHR 2012). Melatonin inhibiert bzw. verlangsamt auch das Krebswachstum *in vitro* und *in vivo* (Cardinali 2016, Reiter et al. 2017, Kubatka et al. 2018). Neben Melatonin unterliegen weitere Botenstoffe wie Östrogen, Testosteron und inflammatorische Zytokine der direkten oder indirekten zirkadianen Regulation (Harmer et al. 2001). Die oszillierenden Körperfunktionen werden auch durch eine zyklische Expression zirkadianer Gene und Mutationen in diesen Genen gesteuert.

Eine nachhaltige Störung der Abstimmung von internen physiologischen Prozessen und externen Einflüssen wie Licht, die mit einer Funktionsstörung verbunden ist, wird als Chronodisruption bezeichnet (Erren et al. 2009a, b), erkennbar an einer Phasenverschiebung im zirkadianen Verlauf der Melatonin- und Cortisolspiegel und der Körpertemperatur.

Licht ist – abhängig vom Zeitpunkt seiner Einwirkung, Dauer, „Intensität“ und seinen Spektraleigenschaften – in der Lage, über den SCN die nächtliche Melatoninsynthese zu hemmen und die Schlafqualität, Schlafstruktur sowie den homöostatischen Schlafdruck zu beeinflussen (Wams et al. 2017). Blaues Licht einer Wellenlänge zwischen 460 und 484 nm hemmt hier am wirkungsvollsten (► **Abb. 4**) (Brainard et al. 2001, Hattar et al. 2003, Gooley et al. 2003, 2010, Cajochen et al. 2005, Lockley et al. 2006, Revell et al. 2006, Vandewalle et al. 2007).

## Melatonin-Suppression

Spektrale Empfindlichkeit



**Abbildung 4:** Wirkungsfunktionen für die Melatonin-suppression und für das photopische Sehen nach Messdaten von Brainard et al. 2001 und Thapan et al. 2001 (Quelle: Schierz, TU Ilmenau)

### 2.2.1 Effekte durch einen hohen Blaulichtanteil im Lichtspektrum tagsüber

Der Melatoninspiegel kann in seinem zeitlichen Verlauf die Schlaflatenz sowie die Schlafstruktur beeinflussen (Dijk et al. 2001, Antle et al. 2009, Bjorvatn u. Pallesen 2009, Czeisler u. Gooley 2007). In verschiedenen Studien wurde gezeigt, dass eine Melatonin-Suppression tagsüber den Schlafdruck am Abend verstärkt und den nächtlichen Schlaf fördert (Cajochen 2007, Mottram et al. 2011). Dieser Effekt wird auch mit hellem weißem Licht bei der Lichttherapie der Insomnie (Lovato u. Lack 2013) sowie bei der Lichttherapie der Winter-Depression („Seasonal Affective Disorder“, SAD) genutzt (Monteleone et al. 2010, Westrin u. Lam 2007, Oldham u. Ciraulo 2014). Blaureiches LED-Licht zeigt bei diesen Anwendungen den gleichen klinischen Effekt wie weißes Licht (Anderson et al. 2009, Glickman et al. 2006, Howland 2009, Strong et al. 2009), wobei bei blau angereichertem Licht niedrigere Bestrahlungsstärken ausreichen können (Gordijn et al. 2012).

Bei der Winterdepression scheint eine Störung der zirkadianen Rhythmen durch unzureichende Belichtung beteiligt zu sein (Monteleone et al. 2010, Lurie et al. 2006). Lichtmangel tagsüber (z. B. in den Wintermonaten) erhöht vor allem bei älteren Menschen, deren Augenlinse für kurzwelliges Licht weniger durchlässig ist, das Risiko für eine Chronodisruption. Insbesondere bei Demenzpatienten liegt häufig eine Chronodisruption vor, entsprechend häufig sind hier Schlafstörungen. Der fragmentierte Tag- und Nachtschlaf wirkt sich wiederum negativ auf den zirkadianen Rhythmus aus (Hanford u. Figueiro 2013). Es hat sich gezeigt, dass sich blau angereichertes Licht tagsüber auch positiv auf die Aufmerksamkeit, Stimmung und Leistungsfähigkeit auswirkt (Viola et al. 2008).

### 2.2.2 Effekte durch einen hohen Blaulichtanteil im Lichtspektrum abends und in der Nacht

SCENIHR (2012) hat einige typische Licht-Expositionsszenarien definiert und bezüglich ihrer „Blaulich“-Effekte und einer möglichen Melatoninsuppression bewertet. Demnach kann möglicherweise nächtliches Lesen bei künstlichem Licht (Beleuchtungsstärke ca. 100 Lux, Dauer 0,5–1,5 h) den zirkadianen Rhythmus stören, ebenso abendliches Arbeiten an einem PC mit LED-Monitor (Expositionsdauer jeweils 5 h und 0,5 h) (Cajochen et al. 2011, Sroykham u. Wongsawat 2013). Die Verwendung von Smartphones mit blaureicher LED-Displaybeleuchtung in der Nacht kann sich zwar nachteilig auf den Schlaf auswirken; signifikante Veränderungen im Serum-Melatonin- und Cortisolspiegel wurden dabei jedoch nicht beobachtet (Heo et al. 2017).

Dass das zirkadiane System bereits bei schwachen Lichtverhältnissen wie 40 Lux besonders empfindlich auf kurzwelliges Licht reagiert, zeigt eine Untersuchung von Chellappa et al. (2011). Hier wurden 16 Probanden zwischen Januar und März für 2 Stunden am Abend jeweils eine Woche lang abwechselnd gegenüber Licht (40 Lux) von Kompaktleuchtstofflampen (2 500 K und 6 500 K) und Glühlampen (3 000 K) ausgesetzt. Die Melatoninsuppression war 90 Minuten nach der Lichtexposition bei kalt-weißem Licht mit 6 500 K deutlich größer als bei warm-weißem Licht mit 2 500 K bzw. 3 000 K. Nach 2-stündiger abendlicher Exposition gegenüber blau angereichertem polychromatischem Licht mit 6 500 K konnte auch eine signifikante Verkürzung der Tiefschlafdauer (langsame Deltawelle im EEG) in der ersten Schlafperiode festgestellt werden, während bei einer Belichtung mit 3 000 K kein signifikanter Effekt nachweisbar war (Chellappa et al. 2013). Bei gleicher Exposition hinsichtlich Dauer und Zeitpunkt konnten Münch et al. (2006) gegenüber monochromatischem Blaulicht (460 nm) eine signifikante Verlängerung der Tiefschlafdauer im dritten Schlafzyklus nachweisen. Die abendliche Blaulichtexposition führte neben der zu erwartenden Melatoninsuppression und der verkürzten Tiefschlafphase auch zu einer Verkürzung der REM-Schlafdauer im ersten und dritten Schlafzyklus (Wams et al. 2017). Diese Beobachtung steht im Einklang mit dem Befund, dass spätabendliche orale Melatoningaben die Dauer der ersten REM-Folgen verlängern (Cajochen et al. 1998).

Die durch die abendliche Exposition gegenüber blau angereichertem Licht unterdrückte Melatoninausschüttung bewirkt offenbar nach dem Einschlafen zunächst eine Verkürzung der Tiefschlaf- und REM-Schlafdauer und in den darauffolgenden späteren Schlafzyklen eine durch den ansteigenden Schlafdruck kompensatorische Verlängerung der Tiefschlafdauer.

In den Untersuchungen von Rea et al. (2006) wurden die suppressiven Wirkungen auf die Melatoninkonzentration im Blut nach einstündigen nächtlichen Bestrahlungen mit 4 weißen Leuchtstofflampen mit unterschiedlichen „ähn-

lichsten Farbtemperaturen“ bei zwei unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus (300 und 600 Lux) verglichen. Die stärkere Melatoninsuppression wurde jeweils bei 600 Lux bei jeder der 4 Lichtquellen festgestellt. Dabei hat sich ergeben, dass Melatonin bei einer Beleuchtungsstärke von 600 Lux um ca. 35 % supprimiert wurde, während unter 300 Lux eine ca. 10 %-ige Melatoninsuppression folgte (Rea et al. 2010). Als Antwort auf einen 1000 Lux-Lichtreiz über eine Stunde haben Akacem et al. (2018) an 10 Kindern im Vorschulalter eine starke Melatoninsuppression ( $87,6 \pm 10,0$  %) festgestellt. Die Melatoninspiegel blieben 50 Minuten nach Beendigung des Lichtreizes ( $P < 0,008$ ) abgeschwächt. Der Melatoninspiegel kehrte 50 Minuten nach der Belichtung bei 7 von 10 Kindern nicht auf 50 % der Werte zurück, die bei schwachem Licht ( $< 15$  Lux) beobachtet wurden. Hier ist zu bedenken, dass der Transmissionsgrad der Augenlinse für kurzwelliges Licht im Kindesalter noch rd. 65 % beträgt, bei 25-Jährigen sinkt er auf rd. 20 % ab und bei über 60-Jährigen liegt er noch deutlich darunter.

Es hat sich gezeigt, dass für die Quantifizierung der Melatoninsuppression die Farbtemperatur bei polychromatischem Licht keine zuverlässige Größe darstellt. Bei gleichen Beleuchtungsintensitäten konnte bei einigen Lampen mit niedrigerer Farbtemperatur (3 000 K) sogar eine größere Melatoninsuppression induziert werden als mit Lampen mit hoher Farbtemperatur (4 100 K) (Rea et al. 2006). Figueiro et al. (2004) und Rea et al. (2010) schlagen eine nichtmonotone spektrale Wirkungskurve für die Melatoninsuppression vor, die ein Maximum bei etwa 464 nm und zwischen 538 und 650 nm einen Bereich mit einem Minimum bei etwa 570 nm aufweist. Damit ist nur das charakteristische Lichtfarbspektrum einer Lichtquelle und die Beleuchtungsstärke maßgeblich für die Stärke der Melatoninsuppression.

### 2.2.3 Lichtinduzierte chronische Krankheiten

Eine Melatoninsuppression erfolgt auf eine Exposition gegenüber Licht in der Nacht wie beispielsweise bei Schicht- und/oder Nachtarbeit aber auch beim Schlafen in heller Wohnumgebung (Al-Naggar et al. 2016). Hält die Exposition eine längere Zeit an, kann eine Desynchronisation des zirkadianen Systems, d. h. eine Chronodisruption herbeigeführt werden. Diese Chronodisruption kann diverse nachteilige Folgen für die Gesundheit der Betroffenen haben (SCENIHR 2012).

Die Chronodisruption, die im Allgemeinen zu einer erhöhten Freisetzung von Entzündungsmarkern führt und sich in erster Linie an einer Schlafstörung und niedrigen Cortisol- und Melatoninspiegeln zeigt, kann die Entstehung von chronischen Krankheiten wie Bluthochdruck, Schlaganfall, kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes, Adipositas und nicht zuletzt Krebs begünstigen (Jehan et al. 2017). Das belegen zahlreiche epidemiologische Studien (Touitou et al. 2017). So konnte ein Zusammenhang zwischen län-

gerer Nachtarbeit und einer 50–100 % höheren Inzidenz von Brustkrebs in zwei prospektiven Kohortenstudien, der Nurses' Health Study (1988–2012; n = 78 516) und der Nurses' Health Study II (1989–2013; n = 114 559), insbesondere bei jüngeren Krankenschwestern hergestellt werden (Wegrzyn et al. 2017). Auch bei männlichen Schichtarbeitern gibt es vermehrt Hinweise auf erhöhte Risiken für Diabetes mellitus, Dyslipidämie, Bluthochdruck, Herzkrankungen, Magengeschwüre und Depressionen, wobei sich bislang vergleichsweise wenige Studien auf die Rolle von Schichtarbeit bei der urologischen Gesundheit von Männern konzentriert haben. Aktuelle Ergebnisse stützen die Assoziation zwischen Schichtarbeit und erhöhtem Auftreten hypogonadaler Symptome, schlechten Samenparametern, verminderter Fruchtbarkeit, Symptomen des unteren Harntrakts und Prostatakrebs (Deng et al., 2018, Sigurdardottir et al. 2012, 2013). Bereits im Jahr 2007 bzw. 2010 hat die International Agency for Research on Cancer (IARC) Schichtarbeit in Verbindung mit einer Chronodisruption in die Gruppe 2A „wahrscheinlich karzinogen für Menschen“ eingestuft. Die Einstufung als „wahrscheinlich krebserregend“ wurde vorgenommen, da die Belege beim Menschen zwar „begrenzt“, aber in Tierexperimenten bereits ausreichend schienen.

Inzwischen verdichten sich die Hinweise auf bidirektionale chronobiologische Wirkmechanismen bei der Tumorentwicklung. So kann bekanntlich eine systemische Störung des zirkadianen Systems die Tumorentwicklung fördern, während rückwirkend bestimmte tumorinterne Mechanismen wiederum die innere Uhr stören.

In den entwickelten Industrieländern sind weltweit durchschnittlich ca. 20 % aller Beschäftigten in Schichtarbeit involviert (Rajaratnam 2001). Angesichts der großen Zahl an betroffenen Personen ist dies primär ein arbeitsmedizinisches Problem und sekundär ein Problem der öffentlichen Gesundheit.

#### 2.2.4 Wirkmechanismen und Ursachen für lichtinduzierte chronische Krankheiten

Unter den multifaktoriellen umwelt- und arbeitsmedizinischen Wirkmechanismen für die Pathogenese scheinen die Desynchronisation des circadianen Systems (Chronodisruption) mit dem gestörten Schlaf-/Wachrhythmus, der erhöhten Freisetzung von Entzündungsmarkern und die lichtinduzierte Melatonin-suppression im Vordergrund zu stehen. Von der Desynchronisation werden neben den klassischen Phasenmarkern Melatonin und Cortisol weitere Botenstoffe wie Östrogen, Testosteron und inflammatorische Zytokine erfasst (Harmer et al. 2001). Melatonin ist als Antioxidans und Radikalfänger bekannt, verstärkt Immunantworten und beeinflusst apoptotische Prozesse (SCENIHR 2012). Es ist gut dokumentiert, dass Melatonin eine signifikante anti-Tumor-Aktivität bei verschiedenen Krebsarten in einer Vielzahl von präklinischen Studien gezeigt hat (Kubatka et

al. 2018). Die lichtinduzierte Aktivität von Melatonin auf Tumorzellen scheint ebenso wie die Melatonin-suppression auch im kurzwelligen Spektralbereich das Wirkmaximum zu haben. Eine Studie zeigt starke Zusammenhänge zwischen Brustkrebs bei Exposition gegenüber Blau- und Grünlicht-Subspektren ( $B = 0,336 \pm 0,001$  und  $B = 0,335 \pm 0,002$ ;  $p < 0,01$ ), und einen schwächeren Effekt bei Exposition gegenüber dem roten Subspektrum ( $B = 0,056 \pm 0,001$ ;  $p < 0,01$ ) (Rybnikova et al. 2018).

Dass sich das Tumorwachstum schon durch geringe nächtliche Lichtdosen beeinflussen lässt, zeigt eine Untersuchung an Rattenweibchen, denen menschliches Brustkrebsgewebe eingepflanzt wurde. Parallel wurden die Tiere mit einem Anti-Östrogen behandelt, welches eine kompetitive Hemmung von Östrogenrezeptoren sowie eine Stimulation von Progesteronrezeptoren bewirkt. Hohe Melatoninwerte in der Nacht haben hier das Wachstum der Krebszellen gehemmt und ein verabreichtes Anti-Östrogen zeigte unter diesen Voraussetzungen die erwartete Wirkung auf den Tumor. Hingegen lassen bereits geringe nächtliche Lichtdosen bei durchgehend niedrigem Melatoninspiegel die Tumore mehr als doppelt so schnell wachsen, während das Anti-Östrogen keine Wirkung auf den Tumor zeigte. Um die Wirksamkeit des Medikaments aufzuheben, reichen nach Einschätzung der Autoren schon geringe Beleuchtungsstärken, z. B. das Licht einer Straßenlaterne vor einem Schlafzimmerfenster (Dauchy et al. 2014).

Keshet-Sitton et al. 2017 schlagen eine Lichtschwelle von etwa 16 Lux in der Höhe von 140 cm an der Straße als minimale Intensität vor, um die Melatoninspiegel und die Brustkrebsmorbiditätsrate beim Menschen zu beeinflussen. Die Ergebnisse geben Anhaltspunkte, dass Frauen einer bestimmten Altersgruppe, die in Gebieten mit einer höheren Außenlichtdichte bezogen auf die Straßenlänge leben, höhere Brustkrebsmorbiditätsraten aufweisen. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der nächtlichen Exposition gegenüber einer Außenbeleuchtung in der Wohnumgebung und der Prävalenz von Brustkrebs bei 1973 prämenopausalen Frauen und bei Raucherinnen zeigte sich auch in einer prospektiven Kohortenstudie (22-Jahre-Follow-up) mit 116 430 Krankenschwestern aus den USA (James et al. 2017).

Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber einer blau angereicherten Außenbeleuchtung in der Wohnumgebung und der Prävalenz von hormonabhängigen Tumoren liefert die methodisch ähnliche Studie von Garcia-Saenz et al. 2018. Hier konnte an 1 219 Brustkrebsfällen (1 385 Kontrollen) und 623 Prostatakrebsfällen (879 Kontrollen) aufgezeigt werden, dass die nächtliche Lichtexposition gegenüber einer Außenbeleuchtung dazu beitragen kann, das Prostatakrebsrisiko signifikant zu erhöhen; beim Brustkrebsrisiko zeigte sich keine signifikante Erhöhung. In beiden Studien wurde die Lichtexposition über 30 m bzw. 1 km<sup>2</sup> aufgelöste Satellitenbilder und Fragebögen erfasst.

### 3 Fazit und Empfehlungen der Kommission Umweltmedizin beim Robert Koch-Institut (RKI)

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Verbreitung von modernen Lichtquellen mit diskontinuierlichen Lichtspektren hat die Kommission Umweltmedizin (RKI 2015) auf mögliche gesundheitliche Konsequenzen hingewiesen und gibt folgende Empfehlungen:

Eine dem natürlichen Tagesgang entsprechende Lichtführung mit stetig ansteigender Lichtexposition in der ersten Tageshälfte, die um die Mittagszeit helles tageslichtweißes Licht beinhaltet und zum Abend hin zu gedämpftem Licht mit geringem Blauanteil wechselt, wird nicht nur von den meisten Personen als angenehm empfunden; tagsüber ist helles tageslichtweißes Licht von mindestens 250 Lux (gemessen am Auge des Betrachters) und einer Farbtemperatur von 8000 K auch zur Steigerung der Aufmerksamkeit (Vigilanz) sinnvoll (siehe Fachbericht DIN 67600 „Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen“). Darüber hinaus kann die durch die Lichtexposition gesteigerte Vigilanz auch als ein bedeutender Vorsorgeansatz gegen Unfälle in der Umwelt sowie am Arbeitsplatz betrachtet werden. Licht tagsüber steigert den abendlichen Schlafdruck und fördert den Nachtschlaf. Bei der individuellen Lichtexposition tagsüber ist zu berücksichtigen, dass die Augenlinse mit zunehmendem Alter für kurzwelliges Licht immer weniger durchlässig wird. Bei Kindern beträgt die Durchlässigkeit für blaues Licht noch etwa 65 %, bei 25-Jährigen etwa 20 % und bei über 60-Jährigen ist sie noch wesentlich geringer. Eine im höheren Alter auftretende Linsentrübung verringert den Transmissionsgrad der Augenlinse für kurzwelliges Licht zusätzlich. Das bedeutet, dass bei älteren Menschen tagsüber eine höhere Blaulichtexposition als bei jüngeren Personen nötig ist, um eine vergleichbare – tagsüber ja gewünschte – Melatoninsuppression mit dem Ziel eines verbesserten nächtlichen Schlafverhaltens zu erreichen. Im Umkehrschluss müssen Kinder in besonderem Maße in den Abendstunden vor künstlichem Licht mit hohem Blauanteil geschützt werden (Behar-Cohen 2011, Akacem et al. 2018). Da das Lichtfarbspektrum einer Lichtquelle i. d. R. nicht bekannt ist, sollten vorsorglich generell am Abend Lichtquellen mit niedriger Farbtemperatur (3000 K und geringer) und/oder eine Absenkung der Beleuchtungsstärke z. B. durch Dimmen erwogen oder auf eine künstliche Beleuchtung, wenn möglich, verzichtet werden.

Der Einfluss einer längeren abendlichen Arbeit an LED-basierten Computermonitoren, Tablets und Smartphones auf den Melatoninspiegel kann aufgrund der noch unzureichenden Datenlage nicht abschließend beurteilt werden. Es liegen derzeit einige Hinweise auf Schlafstörungen und eine Melatoninsuppression vor. In einigen Geräten besteht die Möglichkeit, mittels einer speziellen „App“ ([https://www.chip.de/downloads/f.lux\\_35258322.html](https://www.chip.de/downloads/f.lux_35258322.html)) oder über die Systemkonfiguration die Farbtemperatur am Display zu reduzieren. Alternativ könnten Brillen getragen werden, die den blauen Spektralbereich filtern. Auch Spielkonsolen,

Spielzeuge, beleuchtete Anzeigetafeln, Nachtbeleuchtungen etc. sollten vorsorglich in die vorgenannten Überlegungen zur unerwünschten abendlichen und nächtlichen Melatoninsuppression einbezogen werden. Das gilt insbesondere auch für das Licht in Schlafräumen, auch das, welches von Außenbeleuchtungen während der Nacht einfällt. Schlafräume sollten entsprechend abgedunkelt werden.

Ausdrücklich unterstützt die Kommission Umweltmedizin die Forderung der französischen „ANSES“, Käufer und Nutzer über mögliche photobiologische Risiken (Gefahr der Blendung und Netzhautschädigung beim direkten Hineinsehen in LED-Strahler) zu informieren. Eine leicht verständliche Beschriftung auf der Verpackung entsprechender Produkte sollte auf die zugehörige Risikogruppe (photobiological safety risk group) dieser Produkte hinweisen. Das gilt insbesondere für LEDs im Haushalt ab einschließlich der Risikogruppe 1, wenn die Gefahr einer direkten Lichtexposition aus weniger als 20 cm Entfernung gegeben ist. Für neue Lichttechnologien (z. B. LED/Laser-basierte Scheinwerfer) sollte die gesundheitliche Verträglichkeit vor Markteinführung geprüft werden.

Weitergehende Empfehlungen für den sicheren Gebrauch künstlicher Lichtquellen, insbesondere solcher mit neuer Technologie, geben ANSES (2010), SCENIHR (2012) und BAuA (2013). Diese betreffen nicht nur die Melatoninsuppression, sondern gehen auch auf die UV-Emission von Kompaktfluoreszenzlampen und die photobiologische Sicherheit von LED ein. SCENIHR (2012) weist u. a. darauf hin, dass sich bei Kompaktfluoreszenzlampen mit einer Doppelhülle die UV-Abstrahlung deutlich vermindern lässt (Wendee 2012). ANSES fordert die Lampenhersteller auf, Käufer und Nutzer über mögliche photobiologische Risiken (Gefahr der Blendung und Netzhautschädigung beim direkten Hineinsehen in LED-Strahler) durch Angabe der zugehörigen Risikogruppe auf den Produkten zu informieren. Für LED im Haushalt ab der Risikogruppe 1 sollten Sicherheitsabstände angegeben werden, wenn die Gefahr einer direkten Lichtexposition aus weniger als 20 cm Entfernung gegeben ist.

Visuelle Experimente haben gezeigt, dass der Farbwiedergabeindex (Ra) die wahrgenommene Farbwiedergabe unterschiedlicher Lichtquellen nicht immer einwandfrei beschreibt und von der subjektiv wahrgenommenen Farbwiedergabe abweicht. Deswegen befindet sich das derzeitige Farbwiedergabekonzept in einer Überarbeitungsphase. Die bisherigen Ra-Werte, zum Teil auf den Verpackungen der Lampen angegeben, bilden nur grobe Anhaltspunkte für die Verbraucher in puncto Farbwiedergabe.

### 4 Zusammenfassung

Der Mensch ist in der heutigen Zeit mit den künstlichen Lichtquellen überwiegend einem Licht ausgesetzt, welches sich von der Beleuchtungsstärke und dem Farbspektrum

wesentlich vom Licht der Sonne unterscheidet. Während tagsüber helles tageslichtweißes Licht nicht zuletzt zur Steigerung der Vigilanz und zur Unfallverhütung wichtig ist, kann eine abendliche oder nächtliche Lichtexposition mit einem hohen Blaulichtanteil konsekutiv zu einer unerwünschten Melatoninsuppression führen. Wiederholen sich solche Episoden und halten diese länger an wie z. B. bei Schichtarbeit, so kann eine Desynchronisation des circadianen Systems, eine sog. Chronodisruption, die Folge sein. Schichtarbeit in Verbindung mit einer Chronodisruption wurde im Jahr 2007 in die Gruppe 2A („wahrscheinlich karzinogen für Menschen“) eingestuft. Zunehmend verdichten sich die Hinweise, dass nicht nur die Chronodisruption, sondern auch die durch Licht verursachte Melatoninsuppression bei der Entwicklung bzw. Progression zahlreicher chronischer Krankheiten und Krebs eine bedeutende Rolle spielt. Eine dem natürlichen Tagesgang entsprechende Lichtführung (mit aufeinander abgestimmten natürlichen und künstlichen Lichtquellen) mit stetig ansteigender Lichtexposition in der ersten Tageshälfte, die um die Mittagszeit helles tageslichtweißes Licht beinhaltet und zum Abend hin zu gedämpftem Licht mit geringem Blauanteil wechselt, wird nicht nur von den meisten Personen als angenehm empfunden, sondern auch in Fachkreisen als bedeutende Präventivmaßnahme gegen Beeinträchtigungen bzw. Erkrankungen des Menschen infolge einer ungünstigen Exposition gegenüber künstlichem Licht empfohlen.

## 5 Literatur

- Akacem LD, Wright KP Jr, LeBourgeois MK (2018). Sensitivity of the circadian system to evening bright light in preschool-age children. *Physiological Reports* 6 (5): e13617. DOI: 10.14814/phy2.13617
- Al-Naggar RA, Anil S. (2016). Artificial Light at Night and Cancer: Global Study. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP* 17 (10): 4661–4664. doi: 10.22034/APJCP.2016.17.10.4661
- Anderson JL, Glod CA, Dai J, Cao Y, Lockley SW (2009). Lux versus wavelength in light treatment of Seasonal Affective Disorder. *Acta Psychiatr Scand* 120: 203–212
- ANSES (2010). Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED). <https://www.anses.fr/sites/default/files/documents/AP2008sa0408.pdf>, zit. nach Behar-Cohen et al. 2011
- Antle MC, Smith VM, Sterniczuk R, Yamakawa GR, Rakai BD (2009). Physiological responses of the circadian clock to acute light exposure at night. *Rev Endocr Metab Disord* 10: 279–291
- Arendt J, Rajaratnam SM (2008). Melatonin and its agonists: an update. *Br J Psychiatry* 193: 267–269
- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) (2013). Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED)“. Udovicic L et al. Abschlussbericht. [http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2115.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2115.pdf?__blob=publicationFile&v=4)
- Behar-Cohen F, Martinsons C, Viénot F, Zissis G, Barlier-Salsi A, Cesarini JP, Enouf O, Garcia M, Picaud S, Attia D (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? *Prog Retin Eye Res* 30 (4): 239–257
- Berlien H-P, Brose M, Franek J, Graf M-J, Halbritter W, Janßen W, Ott G, Reidenbach H-D, Romanus E, Schmitz B, Siekmann H, Udovičič L, Weiskopf D (2016). Statement on ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent optical radiation; baua-focus, Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA), Dortmund (baua: Fokus). DOI: 10.21934/baua: focus20160509
- Berson DM, Dunn FA, Takao M (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* 295: 1070–1073
- BlmSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz) (2013). Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge; 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274)
- Bjorvatn B, Pallesen S (2009). A practical approach to circadian rhythm sleep disorders. *Sleep Med Rev* 13: 47–60
- Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci* 21 (16): 6405–6412
- Brainard GC, Sliney D, Hanifin JP, Glickman G, Byrne B, Greeson JM, et al. (2008). Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420 nm) light. *J Biol Rhythms* 23: 379–386
- Cajochen C, Kräuchi K, Danilenko KV, Wirz-Justice A (1998). Evening administration of melatonin and bright light: interactions on the EEG during sleep and wakefulness. *J Sleep Res* 7: 145–157
- Cajochen C, Münch M, Kobiakka S, Kräuchi K, Steiner R, Oelhafen P, et al. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J Clin Endocrinol Metab* 90: 1311–1316
- Cajochen C (2007). Alerting effects of light. *Sleep Med Rev* 11 (6): 453–464. Epub 2007 Nov 1. Review
- Cajochen C, Frey S, Anders D, et al. (2011). Evening exposure to alight-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol* 110: 1432–1438
- Cardinali DP (2016). *Ma Vie en Noir: Fifty Years with Melatonin and the Stone of Madness*. ISBN 978-3-319-41678-6, Springer
- Carter HV (o.A.). Gray's Anatomy of the Human Body, modifiziert via wikipedia, Gray715.png. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray715.png>
- Chamorro E, Bonnin-Arias C, Pérez-Carrasco MJ, Muñoz de Luna J, Vázquez D, Sánchez-Ramos C (2013). Effects of Light-emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelial Cells In Vitro. *Photochem Photobiol* 89 (2): 468–473
- Chellappa SL, Steiner R, Blattner P, Oelhafen P, Götz T, Cajochen C (2011). Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert? *PLoS ONE* 6: e16429
- Chellappa SL, Steiner R, Oelhafen D, Lang, TH Götz, J Krebs, Cajochen C (2013). Acute exposure to evening blue-enriched light impacts on human sleep. *J Sleep Res* 22 (5): 573–580. DOI: 10.1111/jsr.12050
- Czeisler CA, Gooley JJ (2007). Sleep and circadian rhythms in humans. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 72: 579–597
- Dauchy RT, Xiang S, Mao L, et al. (2014). Circadian and Melatonin Disruption by Exposure to Light at Night Drives Intrinsic Resistance to Tamoxifen Therapy in Breast Cancer. *Cancer Res* 74 (15): 4099–4110
- Deng N, Kohn TP, Lipshultz LI, Pastuszak AW (2018). The Relationship between Shift Work and Men's Health. *Sex Med Rev* 6 (3): 446–456. doi: 10.1016/j.sxmr.2017.11.009
- Dijk DJ, Neri DF, Wyatt JK, Ronda JM, Riel E, Ritz-de CA, et al. (2001). Sleep, performance, circadian rhythms, and light-dark cycles during two space shuttle flights. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 281: R1647–1664
- DIN EN 62471: 2009–03 (VDE0837-471: 2009–03). Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471: 2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471: 2008
- DIN EN 62471-5: 2017–02 (VDE0837-471-5: 2017–02). Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen-Teil 5: Photobiologische Sicherheit von Lampensystemen für Bildprojektoren (IEC 62471–5: 2015); Deutsche Fassung EN 62471–5: 2015
- DIN SPEC 67600. Fachbericht Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen (Ausgabe April 2013) Beuth-Verlag, Berlin
- Erren TC, Reiter RJ (2009a). Defining chronodisruption. *J Pineal Res* 46 (3): 245–247. doi: 10.1111/j.1600-079X.2009.00665
- Erren TC, Reiter RJ (2009b). Preventing cancers caused by chronodisruption: Blocking blue light align is unlikely to do the trick. *Medical Hypotheses* 73 (4): 537–541
- Figueiro MG, Bullough JD, Parsons RH, Rea MS (2004). Preliminary evidence for spectral opponency in the suppression of melatonin by light in humans. *Neuroreport* 5: 313–316
- Figueiro MG, Bullough JD, Parsons RH, Rea MS (2005). Preliminary evidence for a change in spectral sensitivity of the circadian system at night, *Journal of Circadian Rhythms* 3: 14
- Figueiro MG, Bierman A, Plitnick B, Rea MS (2009). Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. *BMC Neurosci* 10: 105
- Figueiro MG, Wood B, Plitnick B, Rea MS (2013). The Impact of Watching Television on Evening Melatonin Levels. *SID* 21 (10): 417–421. DOI: 10.1002/j.2168-0159.2013.tb06297.x
- Foster RG, Wulff K (2005). The rhythm of rest and excess. *Nat Rev Neurosci* 6 (5): 407–414

- García-Saenz A, Sánchez de Miguel A, Espinosa A, Valentin A, Aragonés N, Llorca J, Amiano P, Martín Sánchez V, Guevara M, Capelo R, Tardón A, Peiró-Pérez R, Jiménez-Moleón JJ, Roca-Barceló A, Pérez-Gómez B, Dierssen-Sotos T, Fernández-Villa T, Moreno-Iribas C, Moreno V, García-Pérez J, Castaño-Vinyals G, Pollán M, Aubé M, Kogevinas M (2018). Evaluating the Association between Artificial Light-at-Night Exposure and Breast and Prostate Cancer Risk in Spain (MCC-Spain Study). *Environ Health Perspect* 126 (4): 047011. doi: 10.1289/EHP1837
- Glickman G, Byrne B, Pineda C, Hauck WW, Brainard GC (2006). Light therapy for seasonal affective disorder with blue narrow-band light-emitting diodes (LEDs). *Biol Psychiatry* 59: 502–507
- Gooley JJ, Lu J, Fischer D, Saper CB (2003). A broad role for melatonin in non-visual photoreception. *J Neurosci* 23: 7093–7106
- Gooley JJ, Rajaratnam SM, Brainard GC, Kronauer RE, Czeisler CA, Lockley SW (2010). Spectral responses of the human circadian system depend on the irradiance and duration of exposure to light. *Sci Transl Med* 2: 31ra33
- Gooley JJ, Chamberlain K, Smith KA, Khalsa SB, Rajaratnam SM, Van Reen E, et al. (2011). Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 96: E463–472
- Gordijn MCM, 't Mannetje D, Meesters Y (2012). The effects of blue-enriched light treatment compared to standard light treatment in Seasonal Affective Disorder. *J Affect Disord* 136 (1–2): 72–80. doi: 10.1016/j.jad.2011.08.016. Epub 2011 Sep 10
- Hanford N, Figueiro M (2013). Light therapy and Alzheimer's disease and related dementia: past, present, and future. *J Alzheimer's Dis* 33: 913–922
- Harmer SL, Panda S, Kay SA (2001). Molecular bases of circadian rhythms. *Annu Rev Cell Dev Biol* 17: 215–253
- Hartmann P (o. A.). Peter Hartmann at de.wikipedia, edited by Marc Gabriel Schmid Creating SVG version by I-OkataH – Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27237061>
- Hattar S, Lucas RJ, Mrosovsky N, Thompson S, Douglas RH, Hankins MW, et al. (2003). Melanopsin and rod-cone photoreceptive systems account for all major accessory visual functions in mice. *Nature* 424: 76–81
- Heo JY, Kim K, Fava M, Mischoulon D, Papakostas GI, Kim MJ, Kim DJ, Chang KJ, Oh Y, Yu BH, Jeon HJ (2017). Effects of smartphone use with and without blue light at night in healthy adults: A randomized, double-blind, cross-over, placebo-controlled comparison. *J Psychiatr Res* 87: 61–70
- Howland RH (2009). An overview of seasonal affective disorder and its treatment options. *Phys Sportsmed* 37: 104–115
- IARC (International Agency for Research on Cancer) (2007). Press release No. 180 – Programme finds cancer hazards associated with shiftwork, painting and firefighting
- IARC (International Agency for Research on Cancer) (2010). Painting, Firefighting, and Shiftwork. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 98. Lyon: IARC Press
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (1997). Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 µm). *Health Phys* 73: 539–554
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). (2013). Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Phys* 105 (1): 74–96
- James P, Bertrand KA, Hart JE, Schernhammer E, Tamimi RM, Laden F (2017). Outdoor Light at Night and Breast Cancer Incidence in the Nurses' Health Study II. *Environmental Health Perspectives* 125 (8): 087010. doi: 10.1289/EHP935
- Jehan S, Zizi F, Pandi-Perumal SR, et al. (2017). Shift Work and Sleep: Medical Implications and Management. *Sleep medicine and disorders: international journal* 1 (2): 00008
- Keshet-Sitton A, Or-Chen K, Huber E, Haim A (2017). Illuminating a Risk for Breast Cancer: A Preliminary Ecological Study on the Association Between Streetlight and Breast Cancer. *Integr Cancer Ther* 16 (4): 451–463. doi: 10.1177/1534735416678983
- Kubatka P, Zubor P, Busselberg D, Kwon TK, Adamek M, Petrovic D, Opatrilova R, Gazdikova K, Caprnda M, Rodrigo L, Danko J, Kruzliak P (2018). Melatonin and breast cancer: Evidences from preclinical and human studies. *Crit Rev Oncol Hematol* 122: 133–143
- Kyba CCM, Ruhtz T, Fischer J, Hölker F (2012). Red is the new black: how the colour of urban skyglow varies with cloud cover. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 425 (1): 701–708
- Kyba CCM, Hänel A, Hölker F (2014). Redefining efficiency for outdoor lighting. *Energy Environ Sci* 7: 1806–1809. DOI: 10.1039/C4EE00566J
- Lerchl A (2002). Biological rhythms in the context of light at night (LAN). *Neuro Endocrinol Lett* 23 (Suppl 2): 23–27
- Lockley SW, Evans EE, Scheer FA, Brainard GC, Czeisler CA, Aeschbach D (2006). Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep* 29: 161–168
- Lovato N, Lack L (2013). The Role of Bright Light Therapy in Managing Insomnia. *Sleep Medicine Clinics* 8 (3): 351–359. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1556407X13000593>
- Lucas RJ, Peirson SN, Berson DM, Brown TM, Cooper HM, Czeisler CA, Figueiro MG, Gamlin PD, Lockley SW, O'Hagan JB, Price LL, Provencio I, Skene DJ, Brainard GC (2014). Measuring and using light in the melatonin age. *Trends Neurosci* 37 (1): 1–9
- Lurie SJ, Gawinski B, Pierce D, Rousseau SJ (2006). Seasonal affective disorder. *Am Fam Physician* 74: 1521–1524
- Mewborn C, Renzi LM, Hammond BR, Miller LS (2015). Critical Flicker Fusion Predicts Executive Function in Younger and Older Adults. *Archives of Clinical Neuropsychology* 30 (7): 605–610. <https://doi.org/10.1093/arclin/acv054>
- Monteleone P, Martiadis V, Maj M (2010). Circadian rhythms and treatment implications in depression. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 35 (7): 1569–1574
- Mottram V, Middleton B, Williams P, Arendt J (2011). The impact of bright artificial white and 'blue-enriched' light on sleep and circadian phase during the polar winter. *J Sleep Res* 20 (1 Pt 2): 154–161
- Münch M, Kobialka S, Steiner R, Oelhafen P, Wirz-Justice A, Cajochen C (2006). Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 290: R1421–1428
- Mure LS, Cornut PL, Rieux C, Drouyer E, Denis P, Gronfier C, Cooper HM (2009). Melanopsin bistability: a fly's eye technology in the human retina. *PLoS One* 4: e5991
- Oldham MA, Ciraulo DA (2014). Bright light therapy for depression: A review of its effects on chronobiology and the autonomic nervous system. *Chronobiol Int* 31 (3): 305–319
- Rajaratnam SM, Arendt J (2001). Health in a 24-h society. *Lancet* 358: 999–1005
- Rea MS, Bullough JD, Figueiro MG, Bierman A (2004). Spectral Opponency in Human Circadian Phototransduction: Implications for Lighting Practice. *Proc Symp „Light & Health“ CIE x027: 111–115*
- Rea MS, Bullough JD, Bierman A, Figueiro MG (2006). Implications for White Light Sources of Different Correlated Color Temperatures. *CIE Proc Symp „Lighting & Health“ Ottawa CIE x032: 33–38*
- Rea MS, Figueiro MG, Bierman A, Bullough JD (2010). Circadian light. *J Circadian Rhythms* 8 (1): 2. doi: 10.1186/1740-3391-8-2
- Reidenbach H-D (2002). Einordnung von LEDs in Risikogruppen nach DIN EN 62471. In: *Handbuch für Beleuchtung* (Hrsg.: Lange H), ecomed Verlag, Landsberg; 45. Erg.-Lfg. 09/09, Kap. X – 2.20.35
- Reidenbach H-D (2009). Local susceptibility of the retina, formation and duration of after images in the case of Class 1 laser products and disability glare arising from high-brightness light emitting diodes. *J Las Appl* 21: 46–56
- Reidenbach H-D (2014). Temporary Blinding Limits versus Maximum Permissible Exposure – A Paradigm Change in Risk Assessment for Visible Optical Radiation. *Physics Procedia* 56: 1366–1376
- Reidenbach H-D, Beckmann D, Al Ghouz I, Dollinger K, Ott G, Brose M (2013). Is There an Unknown Risk for Short-Wavelength Visible Laser Radiation? *Strahlenschutzpraxis* 3: 45–53
- Reidenbach H-D, Dollinger K (2002). LED-Taschenlampen – Einsatzmöglichkeiten und potenzielle photobiologische Gefahren; In: *Handbuch für Beleuchtung* (Hrsg.: Lange H), ecomed Verlag, Landsberg; 46. Erg.-Lfg. 12/09, Kap. I-6.13.10, S. 1–22
- Reidenbach H-D, Dollinger K, Beckmann D, Al Ghouz I, Ott G, Brose M (2014). Blendung durch künstliche optische Strahlung unter Dämmerungsbedingungen. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2014. ISBN: 978-3-88261-024-6, 407 Seiten, Projektnummer: F 2310. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Berichte/F2310.html>
- Reidenbach H-D, Dollinger K, Ott G, Janßen M, Brose M (2008). Blendung durch optische Strahlungsquellen; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden. <http://www.baua.de/de/Publicationen/Fachbeitraege/F2185.html>
- Reiter RJ, Rosales-Corral SA, Tan D-X, et al. (2017). Melatonin, a Full Service Anti-Cancer Agent: Inhibition of Initiation, Progression and Metastasis. (ed.: Slominski A) *International Journal of Molecular Sciences* 18 (4): 843. doi: 10.3390/ijms18040843
- Revell VL, Arendt J, Fogg LF, Skene DJ (2006). Alerting effects of light are sensitive to very short wavelengths. *Neurosci Lett* 399: 96–100

- RKI (Robert Koch-Institut) (2015). Empfehlung der Kommission Umweltmedizin am Robert Koch-Institut zu Moderne Lichtquellen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Bundesgesundheitsbl DOI 10.1007/s00103-015-2215-5
- Rybnikova N, Portnov BA (2018). Population-level study links short-wavelength nighttime illumination with breast cancer incidence in a major metropolitan area. *Chronobiol Int* 35 (9): 1198–1208. doi: 10.1080/07420528.2018.1466802
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). (2008). Opinion on Light Sensitivity. Opinion, 23 September 2008
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) (2012). Health Effects of Artificial Light. Opinion, 19. März 2012. [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_o\\_035.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_035.pdf)
- SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks) (2018). Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs); June 2018. [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/experts/declarations/scheer\\_wg\\_en](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/experts/declarations/scheer_wg_en)
- SCHEER (Scientific Committee on Health and Environmental Risks). Mercury in Certain Energysaving Light Bulbs. Opinion, 18 May 2010
- Schmidt RF, Lang F, Heckmann M (2010). Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie, 31. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg, S. 366, ISBN 978-3-642-01650-9 2.
- Schmidtke H, Bernotat R, Müller-Limmroth W (1993). Ergonomie. 3., Neubearb. und erw. Auflage, Carl Hanser Verlag München, Wien
- Shang YM, Wang GS, Sliney D, Yang CH, Lee LL (2014). White light-emitting diodes 15 (LEDs) at domestic lighting levels and retinal injury in a rat model. *Environ Health Perspect* 122 (3): 269–276
- Shang YM, Wang GS, Sliney D, Yang CH, Lee LL (2017). Light-emitting-diode induced 18 retinal damage and its wavelength dependency in vivo. *Int J Ophthalmol* 10 (2): 191–202
- Sigurdardottir LG, Valdimarsdottir UA, Fall K, Rider JR, Lockley SW, Schernhammer E, Mucci LA (2012). Circadian disruption, sleep loss, and prostate cancer risk: a systematic review of epidemiologic studies. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 21 (7): 1002–1011. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-12-011610
- Sigurdardottir LG, Valdimarsdottir UA, Mucci LA, Fall K, Rider JR, Schernhammer E, Czeisler CA, Launer L, Harris T, Stampfer MJ, Gudnason V, Lockley SW (2013). Sleep disruption among older men and risk of prostate cancer. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 22 (5): 872–879. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-12-1227-T
- Sroykham W, Wongsawat Y (2013). Effects of LED-backlit computer screen and emotional selfregulation on human melatonin production. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2013: 1704–1707
- Strahlenschutzkommission (2006). Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 205. Sitzung der SSK am 16./17.02.2006. [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2006/Blendung\\_Lichtquellen.html](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2006/Blendung_Lichtquellen.html)
- Strahlenschutzkommission (2010). Moderne Lichtquelle, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 242. Sitzung der SSK am 01./02.Juli 2010. [http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2010/Moderne\\_Lichtquellen.html](http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2010/Moderne_Lichtquellen.html)
- Strong RE, Marchant BK, Reimherr FW, Williams E, Soni P, Mestas R (2009). Narrow-band blue-light treatment of seasonal affective disorder in adults and the influence of additional nonseasonal symptoms. *Depress Anxiety* 26: 273–278
- Thapan K, Arendt J, Skene DJ (2001). An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *caj. In: J. Physiol. (Lond.)* 1 (535.1): 261–267
- Touitou Y, Reinberg A, Touitou D (2017). Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption. *Life Sci* 173: 94–106. doi: 10.1016/j.lfs.2017.02.008
- Vandewalle G, Gais S, Schabus M, Baletau E, Carrier J, Darsaud A, et al. (2007). Wavelength-dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. *Cereb Cortex* 17: 2788–2795
- Viola AU, James LM, Schlangen LJ, Dijk DJ (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J Work Environ Health* 34: 297–306
- Vitaterna MH, Takahashi JS, Turek FW (2001). Overview of circadian rhythms. *Alcohol Res Health* 25 (2): 85–93
- Wams EJ, Woelders T, Marring I, et al. (2017). Linking Light Exposure and Subsequent Sleep: A Field Polysomnography Study in Humans. *Sleep* 40 (12)
- Wegrzyn LR, Tamimi RM, Rosner BA, Brown SB, Stevens RG, Eliassen AH, Laden F, Willett WC, Hankinson SE, Schernhammer ES (2017). Rotating Night-Shift Work and the Risk of Breast Cancer in the Nurses' Health Studies. *Am J Epidemiol* 186 (5): 532–540
- Wendee N (2012). Nonionizing radiation. Ultraviolet Leaks from CFLs. *Environmental Health Perspectives* 120 (10): A 387
- Westrin A, Lam RW (2007). Seasonal affective disorder: a clinical update. *Ann Clin Psychiatry* 19: 239–246

**Herausgeber:****Prof. Dr. Thomas Eikmann**

Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Justus-Liebig-Universität Gießen, 35385 Gießen  
Tel.: 0641-99-41450, E-Mail: [thomas.eikmann@hygiene.med.uni-giessen.de](mailto:thomas.eikmann@hygiene.med.uni-giessen.de)

**Prof. Dr. med. Caroline W. Herr**

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL), 80538 München  
Tel.: 09131-6808-4202, E-Mail: [Caroline.Herr@lgl.bayern.de](mailto:Caroline.Herr@lgl.bayern.de)

**Prof. Dr. med. Dennis Nowak**

Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, WHO Collaborating Centre for Occupational Health, Klinikum der Universität München, 80336 München  
Tel.: 089-4400-52301, E-Mail: [Dennis.Nowak@med.uni-muenchen.de](mailto:Dennis.Nowak@med.uni-muenchen.de)

**Dr. med. Wolfgang Panter**

Verband Deutscher Betriebs- und Werksärzte e.V. (VDBW e.V.), 76227 Karlsruhe  
Tel.: 0721-933-8184, E-Mail: [wolfgang.panter@vdbw.de](mailto:wolfgang.panter@vdbw.de)

**Prof. Dr. med. Jörg Steinmann**

Institut für Klinikhygiene, Medizinische Mikrobiologie und Klinische Infektiologie Paracelsus Medizinische Privatuniversität Klinikum Nürnberg  
Tel.: 0911-398-2520, E-Mail: [joerg.steinmann@klinikum-nuernberg.de](mailto:joerg.steinmann@klinikum-nuernberg.de)

**Redaktion:**

Stefanie Mock, ecomed MEDIZIN, ecomed-Storck GmbH, 86899 Landsberg am Lech  
Tel.: 08191-125-531, Fax: 08191-125-292, E-Mail: [s.mock@ecomед-storck.de](mailto:s.mock@ecomед-storck.de)

### 1. ALLGEMEINES

„Umweltmedizin – Hygiene – Arbeitsmedizin“ veröffentlicht von den Herausgebern angeforderte Themenbeiträge sowie unaufgefordert eingereichte Originalbeiträge. Jede eingereichte Arbeit wird von mindestens zwei qualifizierten Gutachtern geprüft.

Die Beiträge müssen so abgefasst sein, dass eine sprachliche Überarbeitung seitens der Redaktion nicht erforderlich ist. Es ist besonders auf eine übersichtliche Gliederung (Überschriftenhierarchien durch Zahlen kennzeichnen!) und eine verständliche Darstellung zu achten.

Das Manuskript muss von allen beteiligten Autoren genehmigt sein. Bereits anderweitig veröffentlichte Texte, Tabellen oder Abbildungen sind mit genauer Quellenangabe zu versehen. Die Nachdruckgenehmigung des betreffenden Verlages bzw. Urhebers muss vorliegen (Copyright!).

### 2. OPEN-ACCESS-VERÖFFENTLICHUNGEN

Die Zeitschrift bietet den Autoren, Herausgebern, Lesern oder Pharmafirmen die Möglichkeit, Artikel/Beiträge gegen Gebühr für die allgemeine Nutzung frei zugänglich zu machen. Bei Interesse wenden Sie sich bitte an: [f.neumair@ecomед-storck.de](mailto:f.neumair@ecomед-storck.de).

### 3. MANUSKRIFTUMFANG UND -INHALT

Die Länge des Beitrags muss dem Inhalt angemessen sein. Die Beiträge sollen straff abgefasst sein; auf bekannte Tatsachen soll nur durch Literaturzitate verwiesen werden. Die Literatur zum Thema (insbesondere die internationale!) muss dazu aktuell und kritisch ausgewertet werden. Wissenschaftliche Originalarbeiten, Fallstudien und Statusberichte sollten maximal 6-8 Druckseiten lang sein und maximal 10 Abbildungen inkl. Tabellen umfassen. Literaturstudien und Übersichtsarbeiten können auch länger sein; im Zweifelsfall wenden Sie sich bitte an die Redaktion. Eine Druckseite enthält ca. 5 000 Zeichen (inkl. Leerzeichen) und entspricht etwa 2,5 Manuskriptseiten. Die Zeichenzahl ermitteln Sie in Word mithilfe der Funktion: Extras → Wörter zählen.

Die Arbeit ist als Datei per E-Mail oder auf Diskette (bitte alle Dateien eindeutig benennen!) beim Herausgeber oder der Redaktion einzureichen. Die Zusendung eines Ausdrucks ist zunächst nicht notwendig; die Redaktion fordert ihn bei Bedarf an.

Jeder wissenschaftliche Beitrag muss folgende Teile enthalten: Beitragsüberschrift, alle Autorennamen inkl. Vornamen und vollständigen Institutsadressen, Korrespondenzautor mit Telefon- und Faxnummer und E-Mail-Adresse, Zusammenfassung mit max. 1 500 Zeichen, 3-6 Schlagwörter in deutscher Sprache, englischer Abstract mit max. 1 500 Zeichen mit Überschrift, 3-5 englische Keywords. Zusammenfassung und Abstract sollten möglichst folgendermaßen gegliedert sein: Hintergrund/Background, Methode/Method, Ergebnisse/Results, Schlussfolgerungen/Conclusions. Alle englischen Teile des Manuskripts sollen von einem native speaker kontrolliert werden; für deren Qualität sind ausschließlich die Autoren verantwortlich!

Bevorzugtes Dateiformat für Texte ist das DOC- (für Microsoft Word) oder das RTF-Format. Bitte formatieren Sie den Text so wenig wie möglich; die Gestaltung des Layouts übernimmt der Verlag.

Wir verwenden die gemäßigte neue Rechtschreibung. Informationen dazu finden Sie z.B. im Internet unter [www.neue-rechtschreibung.de](http://www.neue-rechtschreibung.de).

Bitte bei Dezimalzahlen keine Punkte, sondern Kommata verwenden. Die Schreibweisemedizinischer Fachausdrücke richtet sich nach dem Roche-Lexikon Medizin (Verlag Urban und Fischer).

### 4. LITERATUR

Das Literaturverzeichnis enthält nur die im Text zitierte Literatur. Im Text ist die Zitierweise bei einem Autor (Müller 2003), bei zwei Autoren (Müller und Schmidt 2003) und bei drei und mehr Autoren (Müller et al. 2003). Im Literaturverzeichnis erfolgt die Aufzählung alphabetisch. Die Zitierweise orientiert sich an der „Vancouver-Konvention“ (N Engl J Med 1997: 336, 309-315):

- Bis zu sechs Autoren alle auflisten, bei mehr als 6 Autoren 3 auflisten, dann mit et al. abkürzen.
- Die Vornameninitialen werden den Familiennamen nachgestellt; keine Punkte hinter den Vornameninitialen und keine Leerzeichen zwischen den Vornameninitialen.
- Die Autorennamen werden durch Kommata voneinander getrennt.
- Zeitschriftennamen werden abgekürzt (nach Medline, wenn möglich).

Weitere Einzelheiten ergeben sich aus den folgenden Beispielen:

*Zeitschriftenartikel (die Heftangabe in runden Klammern kann auch entfallen):* Kralj N, Beie M, Hofmann F (1999): Chirurgische Handschuhe – wie gut schützen sie vor Infektionen? Gesundheitswesen 61 (5), 398-403

*Bücher und andere Monographien:*

Strubelt O (1996): Gifte in Natur und Umwelt. Spektrum Verlag, Heidelberg, S. 33

*Buchkapitel/Beiträge in Sammelwerken oder Loseblattwerken:*

Babisch W (2003): Lärm. In: Wichmann HE, Schlipkötter HW, Fülgraff G, Hrsg.: Handbuch der Umweltmedizin. 26. Ergänzungslieferung 4/03. ecomed, Landsberg

Die Angaben für hier nicht genannte Textarten (Gesetze, Tagungsberichte, Leitlinien etc.) müssen möglichst vollständig und nachvollziehbar sein. Bei Internetadressen ist das Datum des letzten Abrufs anzugeben.

### 5. ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Abbildung sollen möglichst in digitaler Form eingereicht werden. Die Auflösung muss mindestens 300 dpi betragen. Es können TIF, JPG, Excel, Powerpoint und andere Dateiformate verwendet werden; im Zweifelsfall setzen Sie sich bitte mit der Redaktion in Verbindung. Die Linienstärke in Strichzeichnungen muss mindestens 0,5 pt (0,2 mm) betragen.

Tabellen *müssen* mit einem Tabellen-Editor (z.B. in Word) oder in einem Tabellenprogramm (z.B. Excel) erstellt werden; Tabellen in PowerPoint sind ungeeignet! Zur Einrichtung von Tabellenspalten keinesfalls Tabulatoren oder Leerzeichen benutzen.

Tabellen und Abbildungen müssen so gekennzeichnet sein, dass sie problemlos dem Text zugeordnet werden können. Die Legenden müssen so gestaltet sein, dass deren Inhalt auch ohne Lektüre des Texts verständlich ist.

# Miteinander

gesunde Arbeitsbedingungen schaffen

AdobeStock© Andrey Popov

## Arbeiten im Gesundheitswesen Der neue DGAUM-Band

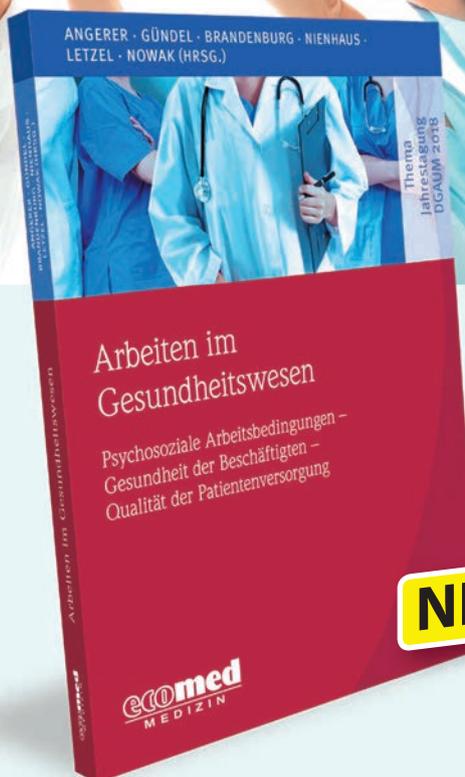
**Gesund bleiben – auch im Gesundheitsberuf!**

Die Arbeitsbedingungen im Gesundheitswesen gelten als besonders herausfordernd und belastend.

Der neue DGAUM-Band beleuchtet die Fakten – und was sich konkret tun lässt:

**Welche psychosozialen Belastungen und gesundheitlichen Beanspruchungen prägen die Arbeit im Gesundheitswesen?**

- **Emotionsarbeit** als besonderes Merkmal im Gesundheitswesen
- **Gewalt** und Gewaltprävention
- Die Rolle der **Führung**
- **Bislang wenig beachtete Gruppen:** medizinische Fachangestellte, Medizinstudierende, ältere Pflegekräfte



Angerer/Gündel/Brandenburg/  
Nienhaus/Letzel/Nowak

**Arbeiten im  
Gesundheitswesen**

Softcover, 462 Seiten  
ISBN 978-3-609-10566-6  
€ 59,99

**NEU!**

**Was muss sich ändern, damit die Arbeitsbedingungen gesundheitsverträglicher werden?**

Fundierte und erprobte **Konzepte** für

- den **Ausbau** der Präventionsforschung im Gesundheitswesen
- die **Verbesserung** der psychosozialen Arbeitsbedingungen
- die **Stärkung** der individuellen Gesundheit der Beschäftigten

Was kann die **Politik** zur Verbesserung der Situation in den Kliniken und Pflegeeinrichtungen tun?

- Konzepte und Stellungnahmen diverser gesundheitspolitischer Akteure

**ecomed**  
MEDIZIN

Service-Tel.: +49 (0) 89/2183-7922

E-Mail: kundenservice@ecomed-storck.de • www.ecomed-storck.de

Daten. Fakten. Analysen.

# Umweltmedizin · Hygiene · Arbeitsmedizin

Journal of Environmental and Occupational Health Sciences

Fundiert. Geprüft. Übersichtlich aufbereitet.

(bis 2012: Umweltmedizin  
in Forschung und Praxis)



## Fundierte, verlässliche Fachinformationen zu brisanten Fragen der Umweltmedizin, Hygiene und Arbeitsmedizin

- Organ der **Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin** (GHUP)/Society of Hygiene, Environmental and Public Health Sciences
- Mit wissenschaftlichen **Originalartikeln** und **Übersichtsbeiträgen**
- Profiliertes Herausgeberteam unter der Leitung von Prof. Dr. Thomas Eikmann und **Gutachtenverfahren (Peer review)** – dadurch hohe Expertise
- Ihr lebendiges **Service-Forum** der Umweltmedizin, Hygiene und Arbeitsmedizin: Leserbrief, Rezensionen, Veranstaltungskalender, Weiterbildung, umweltmedizinische Beratungsstellen ...

Weitere Infos unter  
[www.ecomed-umweltmedizin.de](http://www.ecomed-umweltmedizin.de)

**Jahresabonnement:**  
Print (inkl. Online): € 232,99  
Nur Online: € 195,99

IP-Zugang: € 291,99  
Einzelheft: € 42,-

(zzgl. Versandkosten; Für Mitglieder der GHUP ist das Jahresabo der Zeitschrift im Jahresbeitrag enthalten.)

Eikmann/Herr/Nowak/Panter/Steinmann  
(Hrsg.)

**Umweltmedizin ·  
Hygiene · Arbeitsmedizin**

ISSN 2195-9811

Erscheint sechsmal jährlich

**ecomed**  
MEDIZIN

In  
dieser Form  
konkurrenzlos!  
Einfach nach-  
schlagen, fundiert  
argumentieren!

**Großes  
Online-Archiv  
für  
Abonnenten!**

Hier können Sie die **Umweltmedizin · Hygiene · Arbeitsmedizin** abonnieren und Einzelhefte ordern:

[www.ecomed-umweltmedizin.de](http://www.ecomed-umweltmedizin.de)

Und als Abonnentin/Abonnent das **Online-Archiv** nutzen.