

ELEKTROMAGNETISCHES SPEKTRUM

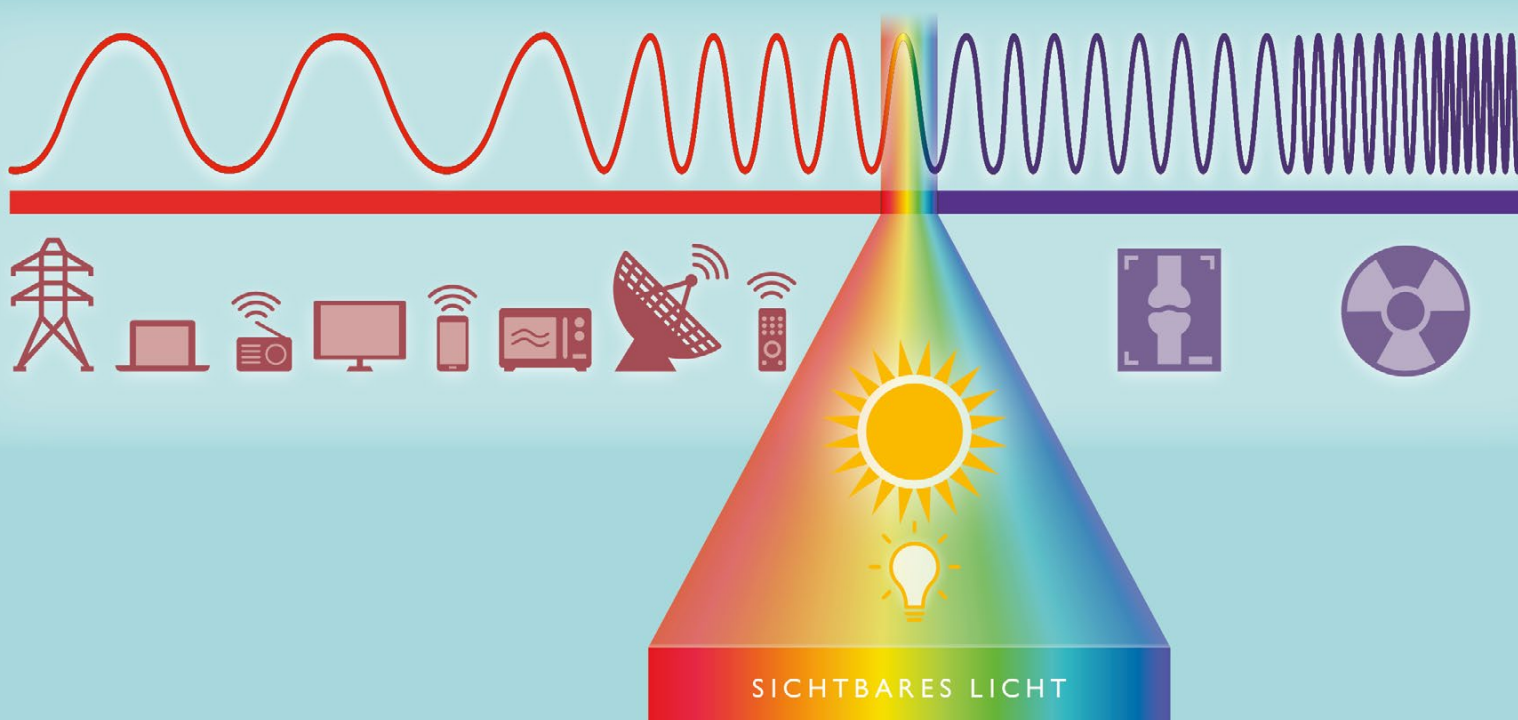
RADIOWELLEN

INFRAROT

ULTRAVIOLETT

RÖNTGEN-STRAHLEN

GAMMA-STRAHLEN



AUS DEM INHALT:

- **STRAHLUNG:
WIRKUNG UND WAHRNEHMUNG**
- FORSCHUNGSPROJEKT FLUSSHYGIENE:
MANAGEMENT KURZZEITIGER
VERSCHMUTZUNGEN AN FLUSSBADEGEWÄSSERN
- DASHBOARD „GESUNDHEIT IN DEUTSCHLAND
AKTUELL“ – ERGEBNISKOMMUNIKATION AM RKI



● UMWELT + MENSCH INFORMATIONSDIENST

NR. 2/2022



UMID IST EIN BEITRAG ZUM „AKTIONSPROGRAMM UMWELT UND GESUNDHEIT“
(APUG) UND TEIL DER ÖFFENTLICHKEITSARBEIT.

IMPRESSUM IMPRINT

UMID – UMWELT + MENSCH
INFORMATIONSDIENST
Nr. 2/2022
November 2022

ISSN 2190-1120 (Print)
ISSN 2190-1147 (Internet)

HERAUSGEBER

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)
Robert Koch-Institut (RKI)
Umweltbundesamt (UBA)

REDAKTION

Dr. Monika Asmuß
Bundesamt für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim (Neuherberg)
E-Mail: masmuss@bfs.de

Dr. Suzan Fiack
Bundesinstitut für Risikobewertung
Max-Dohrn-Str. 8–10
10589 Berlin
E-Mail: pressestelle@bfr.bund.de

Dr. Hildegard Niemann
Robert Koch-Institut
General-Pape-Straße 62–66
12101 Berlin
E-Mail: niemannh@rki.de

Kerstin Gebuhr
Umweltbundesamt
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: kerstin.gebuhr@uba.de

GESAMTKOORDINATION

Denise Köhler
Umweltbundesamt
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: denise.koehler@uba.de

E-MAIL FÜR UMID

umid@uba.de

UMID IM INTERNET

<https://www.umweltbundesamt.de/umid>

EDITORIAL DESIGN

IKONUM Marken- und Webagentur
<https://ikonum.com>

SATZ UND LAYOUT

Odenthal Design

TITELBILD

Odenthal Design mit Elementen von [brgfx/stock.adobe.com](https://www.brgfx/stock.adobe.com), [eleabsl/stock.adobe.com](https://www.eleabsl/stock.adobe.com), [petrroudney/stock.adobe.com](https://www.petrroudney/stock.adobe.com), [dstarky/stock.adobe.com](https://www.dstarky/stock.adobe.com)

Die Zeitschrift „UMID – UMWELT + MENSCH INFORMATIONSDIENST“ erscheint im Rahmen des Aktionsprogramms Umwelt und Gesundheit (APUG) und kann kostenfrei als Online-Ausgabe abonniert werden unter: <http://www.umweltbundesamt.de/service/newsletter>. Sie dient der Information von Behörden und Institutionen, die im Bereich Umwelt und Gesundheit arbeiten, in der Umweltmedizin tätigen Fachkräften sowie interessierten Bürgerinnen und Bürgern.

Die Zeitschrift sowie die in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Jegliche Vervielfältigung, Verbreitung und öffentliche Wiedergabe zu gewerblichen Zwecken ist untersagt. Die Verwertung der Beiträge im Rahmen wissenschaftlicher Arbeiten bedarf der Zitierung des Autors in Verbindung mit den bibliografischen Angaben. Die inhaltliche Verantwortung für einen Beitrag trägt ausschließlich der Autor/die Autorin. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen der Herausgeber übereinstimmen. Die am Ende eines Beitrags angegebene Kurzbezeichnung der Institution verweist auf das für die redaktionelle Betreuung zuständige Redaktionsmitglied.

INHALT CONTENT

STRAHLUNG: WIRKUNG UND WAHRNEHMUNG

5 **Wirkungen anthropogener elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt**

Effects of anthropogenic electromagnetic fields on flora, fauna, and environment

BLANKA POPHOF, JENS KUHNE

15 **Was denkt Deutschland über Strahlung? Ergebnisse einer empirischen Studie**

*What does Germany think about radiation?
Results of an empirical study*

CHRISTIANE PÖLZL-VIOL

25 **Lungenkrebsfrüherkennung mittels Niedrigdosis-Computertomographie**

Lung cancer screening with low-dose computed tomography

EVA R. WANKA-PAIL, ERIK B. MILLE

WEITERE BEITRÄGE

33 **Management kurzzeitiger Verschmutzungen an Flussbadegewässern – Erkenntnisse aus dem BMBF-Forschungsprojekt FLUSSHYGIENE**

Management of short-term pollutions in river bathing waters – Findings of the BMBF research Project FLUSSHYGIENE

ALEXANDRA SCHMIDT, WOLFGANG SEIS,
HANS-CHRISTOPH SELINKA

41 **Europäische Human-Biomonitoring Initiative erfolgreich abgeschlossen**

European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU) successfully completed

PHILIPP WEISE, KIM LAURA PACK, PETRA APEL, ROSA LANGE,
LENA REIBER, MARIKE KOLOSSA-GEHRING

51 **Das Dashboard „Gesundheit in Deutschland aktuell“ – Ein Beispiel für Ergebniskommunikation am Robert Koch-Institut**

The dashboard “Health in Germany up-to-date” – An example of outcome communication at the Robert Koch Institute

JULIA FIEBIG, RONNY KUHNERT, LUKAS REITZLE, LIVIA RYL

Wirkungen anthropogener elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt

Effects of anthropogenic electromagnetic fields on flora, fauna, and environment

ZUSAMMENFASSUNG

Im November 2019 organisierte das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) einen internationalen Workshop, um den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu den Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf Tiere, Pflanzen und Ökosysteme zu erfassen. Solche Felder werden beispielweise von Stromleitungen, Erd- und Seekabeln, drahtlosen Ladestationen und Funkanlagen emittiert und können in Tieren und Pflanzen unterschiedliche Reaktionen hervorrufen. Mögliche Wirkmechanismen bei Frequenzen kleiner als 100 Megahertz sind körperinterne Ströme, der Radikalpaarmechanismus und die Kraftwirkung auf das Mineral Magnetit. Oberhalb von 100 Megahertz ist nur die Wärmewirkung wissenschaftlich belegt. Bei Tieren wurden Verhaltens-, bei Pflanzen Wachstumsänderungen als Reaktion auf statische und niederfrequente Felder beschrieben, wissenschaftliche Nachweise für daraus resultierende Beeinträchtigungen wurden bisher nicht erbracht. Ebenfalls wurden keine negativen Auswirkungen hochfrequenter Felder des Mobilfunks nachgewiesen. Verbleibende offene Fragen können nur durch weiterführende Forschung geklärt werden.

BLANKA POPHOF,
JENS KUHNE

ABSTRACT

In November 2019, the Federal Office for Radiation Protection (BfS) organized an international workshop to sum up the current scientific knowledge on the effects of electric, magnetic and electromagnetic fields on animals, plants and ecosystems. Such fields are emitted for example from power lines, underground and subsea cables, wireless charging systems and broadcast stations and can elicit various reactions in animals and plants. Possible action mechanisms at frequencies lower than 100 megahertz are excitation of nerves and muscles, radical pair mechanism and force acting on the mineral magnetite. Above 100 megahertz only the thermal effect has been scientifically proven. Behavioral reactions in animals and growth changes in plants have been described in response to static and low-frequency fields, but there is no scientific evidence for a resulting impairment. No negative effects of radiofrequency fields from mobile communication have been established. Remaining open questions can only be clarified by further research.

EINLEITUNG

Der Klimawandel und der Ausstieg aus der Kernenergie haben eine zunehmende Nutzung von erneuerbaren Energien zur Folge. Hierfür werden Stromnetze ertüchtigt und

neue Stromtrassen gebaut. Dies wird zu Veränderungen im Auftreten von niederfrequenten und statischen elektrischen und magnetischen Feldern führen. Im Zusammenhang mit der Energiewende und der verstärkten Nutzung der Elektromobilität



Quelle: focusfinder/
stock.adobe.com.

wird ein Ausbau drahtloser Ladestationen, von denen zwischenfrequente Felder ausgehen, erwartet. Der ständige Ausbau mobiler Kommunikationssysteme, wie zum Beispiel die Einführung des Mobilfunkstandards 5G, ist mit Veränderungen von Immissionsmustern hochfrequenter elektromagnetischer Felder verbunden. All diese Felder wirken nicht nur auf den Menschen, sondern auch auf Tiere, Pflanzen und Ökosysteme ein. Die Wirkungen auf den Menschen sind gut untersucht und grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass die zum Schutz des Menschen empfohlenen Begrenzungen der Exposition auch zum Schutz der belebten Umwelt geeignet sind (ICNIRP 2000). Jedoch gelten von diesen Empfehlungen abgeleitete nationale

Grenzwerte typischerweise nur dort, wo sich Menschen aufhalten. Flugfähige Tiere können in die Nähe der Leiterseile oder Sendeanlagen gelangen und Feldern ausgesetzt sein, die deutlich höhere Expositionen zur Folge haben (ABBILDUNG 1).

Weiterhin besitzen bestimmte Organismen teilweise andere Rezeptoren und Signalwege als der Mensch, sodass diese empfindlich auf elektromagnetische Felder reagieren könnten. Um den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu den Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder aller Frequenzbereiche auf Tiere, Pflanzen und Ökosysteme zu erfassen, hat das BfS im November 2019 einen mehrtägigen internationalen Workshop

durchgeführt. Beteiligt waren Forschende aus den Bereichen Strahlenschutz, Physik, Biologie und Ökologie (BfS 2020; Pophof et al. 2022a, b). Im Folgenden werden die Beiträge zusammengefasst und um aktuelle Publikationen (nach 2019) ergänzt. Die Abstracts können unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020050821802> eingesehen werden.

ELEKTROMAGNETISCHE FELDER IN DER UMWELT

Elektromagnetische Felder werden von vielfältigen Quellen in verschiedenen Frequenzbereichen emittiert (siehe auch <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/einfuehrung/einfuehrung.html>). Von den in Deutschland geplanten Gleichstromleitungen werden zukünftig statische elektrische und magnetische Felder ausgehen. In der Umgebung von Wechselstromleitungen treten niederfrequente elektrische und magnetische Felder mit einer Frequenz von 50 Hertz (Haushaltsstrom) und 16,7 Hertz (Bahnstrom) auf. Erdkabel sind nur von statischen oder niederfrequenten magnetischen Feldern umgeben, das

elektrische Feld wird durch Kabelisolation und Erdreich abgeschirmt. Von Seekabeln gehen statische und niederfrequente magnetische Felder aus, die im leitfähigen Meereswasser elektrische Wirbelströme induzieren. Drahtlose Ladestationen für Elektrofahrzeuge emittieren zwischenfrequente Felder im Kilohertzbereich und Radio-, Fernseh- und Mobilfunksendeanlagen senden hochfrequente elektromagnetische Felder vorwiegend im Megahertz- und Gigahertz-Bereich aus.

Die physikalischen Eigenschaften solcher Felder (u.a. Frequenz, Modulation, Polarisation, räumliche Verteilung und Höhe der Feldstärken/Flussdichten) hängen von den Eigenschaften der Quelle und von Topologie und Objekten in der Umgebung der Quelle ab. Deshalb ist der Abstand von der Quelle typischerweise kein guter Schätzer für die Exposition. Für eine verlässliche Expositionsbestimmung sind Messungen und/oder Berechnungen notwendig.

Durch elektromagnetische Induktion oder Influenz werden von Feldern, die sich außerhalb des Körpers eines Lebewesens befinden, Felder und Ströme innerhalb des Körpers verursacht. Die Stärke der entstehenden

ABBILDUNG 1
Tauben, die nahe an Mobilfunksendeanlagen vorbeifliegen, sind hochfrequenten elektromagnetischen Feldern oberhalb der für Menschen gültigen Grenzwerte ausgesetzt.
Quelle: Anucha/stock.adobe.com.



körperinternen Felder hängt von den physikalischen Eigenschaften der externen Felder, der Anatomie (u. a. Größe) und Ausrichtung des Lebewesens und den dielektrischen Gewebeeigenschaften ab.

WIRKMECHANISMEN

Körperinterne elektrische Felder und Ströme können biologische Wirkungen wie Nerven- und Muskelreizung hervorrufen, zusätzlich kann durch Energieabsorption Wärme entstehen. Diese Wirkungen sind gut bekannt und der Mensch ist vor diesen Wirkungen geschützt, wenn die internationalen Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition eingehalten werden (ICNIRP 2009; 2010; 2020)

Demgegenüber besitzen viele Tiere einen Magnetsinn oder spezialisierte Elektrorezeptoren, die weitere, beim Menschen nicht vorhandene Wirkungen ermöglichen. Beim Magnetsinn werden zwei mögliche Mechanismen diskutiert.

RADIKALPAARMECHANISMUS

Der Radikalpaarmechanismus beruht auf einem quantenmechanischen Prozess. Radikale sind Atome, Moleküle oder Ionen, die ein ungepaartes Außenelektron aufweisen. Ein Radikalpaar besteht aus zwei solchen Radikalen, die einem gemeinsamen, durch eine (photo-)chemische Reaktion gespaltenen, Ursprungsmolekül entstammen. Die Spins der beiden Radikale können sich entweder verstärken oder aufheben, sodass der Gesamtelektronenspin des Radikalpaars 1 oder 0 beträgt. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zustand mit Gesamtelektronenspin 1 oder 0 vorliegt, kann durch Richtung und Stärke eines Magnetfeldes, insbesondere des Erdmagnetfeldes, verändert werden. Da abhängig vom Gesamtelektronenspin unterschiedliche biochemische Reaktionen möglich sind, übt das Erdmagnetfeld zugleich einen Einfluss auf den biochemischen Reaktionsverlauf aus. Am besten untersucht ist dieser Mechanismus bei Zugvögeln (Hore, Mouritsen 2022).

Diese haben in der Netzhaut Blaulichtrezeptoren (Cryptochrome), in denen ein Farbstoff (Flavin) gebunden ist. Durch Magnetfelder verursachte Veränderungen in diesem System ermöglichen Zugvögeln die Wahrnehmung des Erdmagnetfeldes. Diese kann durch hochfrequente anthropogene elektromagnetische Felder im Bereich bis 100 Megahertz gestört werden. Bei Pflanzen gibt es ebenfalls deutliche Hinweise auf veränderte biochemische Prozesse durch Magnetfelder aufgrund des Radikalpaarmechanismus, bei Insekten und Säugetieren wird es vermutet.

MAGNETIT

Das eisenhaltige Mineral Magnetit wurde in vielen Lebewesen nachgewiesen. Wenn ein Magnetfeld eine Kraftwirkung auf Magnetitpartikel ausübt, können sich diese im Magnetfeld bewegen und mittels Mechanorezeptoren eine Signalwirkung in Nervenzellen zur Folge haben, die dann zur Wahrnehmung des Magnetfeldes führt (Winklhofer, Kirschvink 2010). Bei magnetotaktischen Bakterien aus der Tiefsee ist dieser Mechanismus wissenschaftlich belegt. Vermutet wird er auch bei Insekten, Vögeln und Säugetieren, ein entsprechender Rezeptor und ein neuronaler Signalweg wurden bisher jedoch nicht entdeckt.

ELEKTROREZEPTION

Viele Fische haben Elektrorezeptoren, mit denen sie die im Meereswasser induzierten elektrischen Felder wahrnehmen können. Vor allem Haie und Rochen haben hierfür besonders empfindliche Organe, die Lorenzini-Ampullen. Sie können damit die durch das Erdmagnetfeld induzierten Felder wahrnehmen und sich danach orientieren, oder die biogenen elektrischen Felder von Beutetieren wahrnehmen (Kalmijn et al. 2002).

Insekten nehmen elektrische Felder als Vibration wahr – entweder durch das Johnston Organ (ein Mechanorezeptor in der Antenne), oder über die Körperbehaarung, wie zum Beispiel Bienen und Hummeln (Clarke et al. 2019).

MEERESTIERE

Im Zusammenhang mit der Energiewende werden vermehrt Offshore-Windenergieanlagen gebaut. Dies hat einen verstärkten Ausbau von Seekabeln zur Folge, von denen statische oder niederfrequente magnetische Felder ausgehen. Viele Fischarten, wie Lachse oder Aale, wandern regelmäßig über große Strecken und nutzen dabei das Erdmagnetfeld zur Orientierung. Daher können sie die von Seekabeln ausgehenden Felder wahrnehmen. Wenn sie über ein Kabel schwimmen, stocken sie kurz oder verändern ihre Route geringfügig. Eine Barrierefunktion haben Seekabel für diese Arten nicht.

Haie und Rochen können sehr schwache elektrische Felder ab etwa 5 Nanovolt pro Zentimeter wahrnehmen, sich danach orientieren oder nach Beute suchen. Es kommt vor, dass sie Seekabel mit Beute verwechseln und sogar in Kabel beißen. Sie sind aber lernfähig und lernen unter experimentellen Bedingungen schnell zwischen Feldern mit und ohne Belohnung zu unterscheiden.

Insgesamt haben Felder von Seekabeln keine direkten negativen physiologischen Wirkungen auf Wirbeltiere oder Wirbellose. Bisher sind nur Verhaltensreaktionen bekannt. Solange Begegnungen mit Kabeln selten sind, hat das auf der Populationsebene keine Folgen. Sollte mit zunehmender Anzahl der Kabel das Verhalten zu häufig gestört werden, kann es den Energieaufwand der Tiere erhöhen und möglicherweise Folgen für die Verteilung und Zusammensetzung von Arten haben. Deswegen muss die Situation weiter durch Forschung begleitet werden (Gill, Desender 2020).

INSEKTEN

Bienen können elektrische Felder wahrnehmen und nutzen sie unter anderem zur sozialen Kommunikation während des Bientanzes (Greggers et al. 2013). Bienen und Hummeln nehmen auch die elektrische Aufladung von Blumen wahr und können

diese Information nutzen, um den Nektargehalt von Blumen abzuschätzen (Clarke et al. 2019).

Starke elektrische Felder unterhalb von Stromleitungen können in Bienenstöcken elektrische Felder verursachen, die bei Bienen Kontaktströme und Elektroschocks hervorrufen können. Dies kann das Verhalten der Bienen so weit stören, dass die Vermehrungsrate und die Menge des gesammelten Honigs sinkt und die Überlebensrate der Bienenstöcke beeinträchtigt wird (Bindokas et al. 1988). Solche Untersuchungen wurden oberhalb der derzeit gültigen Grenzwerte durchgeführt und die Ströme und Felder gezielt in die Bienenstöcke eingebracht, beziehungsweise maximiert. Ob derartige Effekte unter heutigen realistischen Bedingungen auftreten können, ist nicht untersucht.

Bienen können das Erdmagnetfeld wahrnehmen und sich danach orientieren (Kirschvink, Kobayashi-Kirschvink 1991). Niederfrequente Magnetfelder nehmen sie ebenfalls wahr, aber mit einer geringeren Empfindlichkeit.

Unterhalb von Stromleitungen können Bienen magnetischen Flussdichten von bis zu 100 Mikrottesla ausgesetzt sein, in unmittelbarer Nähe der Leiterseile auch einigen Millitesla. Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass Felder dieser Größenordnung die Lernfähigkeit, das Flugverhalten und die Nahrungsaufnahme von Bienen stören können (Shepherd et al. 2018). Im Freiland wurden in der Nähe von Stromleitungen die Auswirkungen von Pestiziden und Magnetfeldern und deren Kombination auf Bienen untersucht (Lupi et al. 2021). Am Standort mit Magnetfeldern zeigten Bienen eine erhöhte Aktivität. Die Vitalparameter der Bienenstöcke und die Überlebensrate waren an dem Standort mit kombinierter Belastung am schlechtesten.

In unmittelbarer Nähe von Mobilfunksendeanlagen können Insekten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern oberhalb der für Menschen geltenden Grenzwerte ausgesetzt sein. Die damit verbundene höhere Energieaufnahme kann zur

Gewebeerwärmung führen. Zusätzlich wird Energie am effizientesten aufgenommen, wenn die halbe Wellenlänge in etwa der Körperlänge des Tieres entspricht. Für Insekten wird dies vor allem nach der Einführung von höheren Mobilfunkfrequenzen für den Mobilfunkstandard der fünften Generation (5G) zutreffen. Berechnungen haben für verschiedene Insektenarten, unter anderem Bienen, gezeigt, dass die Energieaufnahme bei Frequenzen oberhalb von 3 Gigahertz deutlich ansteigt (Thielens et al. 2020).

In bisherigen Freilandstudien zum Einfluss hochfrequenter Felder auf Bienen wurden vereinzelt negative Auswirkungen beobachtet, überwiegend waren diese Studien aber von mangelhafter Qualität: Es wurden beispielsweise Endgeräte wie Schnurlostelefone oder Handys genutzt, um Aussagen über Wirkungen von durch Mobilfunksendeanlagen verursachten Immissionen zu treffen, die Expositionsbestimmung war somit mangelhaft. Zusätzlich waren die Studien nicht verblindet, die Forschenden wussten also, welche Bienenstöcke exponiert sind und welche nicht. Das kann auch unbewusst zu Fehlern bei der Auswertung führen. Aus diesen Studien lassen sich daher keine belastbaren Aussagen ableiten.

Hochfrequente Felder von Basisstationen hatten unter realistischen Bedingungen im Freiland keinen Einfluss auf die Reproduktion von mehreren Insektenarten. Untersucht wurden Springschwänze, Wanzen, Wespen und Fruchtfliegen (Vijver et al. 2014). Eine Freilandstudie zum Vorkommen von Bienen und anderen Bestäubern (Wespen, Fliegen) wurde in der Umgebung von mehreren Basisstationen durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen hochfrequenten Feldern und dem Vorkommen bestimmter Arten war komplex, einige nahmen mit steigender Feldstärke zu, andere ab. Die Artenvielfalt änderte sich insgesamt nicht (Lázaro et al. 2016).

In einer Übersichtsarbeit haben Vanbergen et al. (2019) die Wirkungen elektromagnetischer Felder unterschiedlicher Frequenzen (inklusive sichtbares Licht) auf Bestäuber zusammengefasst: Die stärksten negativen

Auswirkungen gehen von sichtbarem Licht in der Nacht aus, beispielsweise von Straßen- und Gebäudebeleuchtung. Das statische Erdmagnetfeld dient vor allem der Orientierung. Niederfrequente Felder von Stromleitungen können das Verhalten und die Orientierung beeinträchtigen. Ergebnisse zu hochfrequenten Feldern sind widersprüchlich und zeigen keine eindeutige Tendenz.

Insgesamt ist der Wissensstand unzureichend und vor allem qualitativ hochwertige Freilandstudien an Stromleitungen und Sendeanlagen sind nötig, um die ökologischen Folgen der zunehmenden anthropogenen Felder in der freien Natur beurteilen zu können.

VÖGEL

Zugvögel können das Erdmagnetfeld wahrnehmen und sich danach orientieren (Hore, Mouritsen 2022). Die Wahrnehmung erfolgt über den Blaulichtrezeptor Cryptochrom in der Netzhaut und basiert wahrscheinlich auf dem Radikalpaarmechanismus. Diese Reaktion kann durch schwache Wechselfelder im Frequenzbereich von 0,1 bis 100 Megahertz gestört werden, was unter Laborbedingungen zu einer Desorientierung der Vögel führt (Engels et al. 2014). Dieser Frequenzbereich betrifft weder Stromleitungen noch Mobilfunk, sondern ausschließlich Felder starker Radiosender und Hintergrundfelder von elektrischen und elektronischen Geräten. Störungen des Vogelzugs sind aufgrund dieser Ergebnisse nicht zu erwarten, da sich Vögel auch nach Sonne, Sternen oder Landmarken orientieren können. Freilanduntersuchungen zu diesem Thema liegen nicht vor.

SÄUGETIERE

Der Magnetsinn bei Säugetieren ist bei weitem nicht so gut untersucht wie bei Vögeln (Burda et al. 2020). Fledermäuse nutzen nachweislich das Erdmagnetfeld zur Orientierung, der Wirkmechanismus basiert

vermutlich auf Magnetit (Holland et al. 2008). Bei vielen Nagetieren ist ebenfalls ein Magnetsinn nachgewiesen (Burda et al. 2020). Bei unterirdisch in Dunkelheit lebenden Nagern wie Blindmullen beruht der Wirkmechanismus vermutlich auf Magnetit. Oberirdisch lebende Nager mit gut entwickelten Augen, wie Hausmäuse, Waldmäuse und Rötelmäuse nutzen vermutlich ähnlich wie Vögel den Blaulichtrezeptor Cryptochrom in der Netzhaut, sodass der Magnetsinn durch hochfrequente Felder im Megahertzbereich gestört werden kann. Dies erschwert die Erforschung der Wirkmechanismen im Labor, da solche Felder von elektrischen und elektronischen Geräten, die in Laboren genutzt werden, ausgehen (Phillips et al. 2022).

Bei weiteren Säugetierarten, wie Rindern, Rehen, Wildschweinen, aber auch Hunden und Füchsen wurde beobachtet, dass sie sich bei bestimmten Aktivitäten bevorzugt in der Nord-Süd Richtung ausrichten. Bei Rindern und Rehen fiel dabei auf, dass dieses Verhalten möglicherweise durch Stromleitungen gestört wird (Burda et al. 2020) (ABBILDUNG 2). Ein zugrundeliegender Wirkmechanismus oder ein entsprechendes Sinnesorgan sind bei diesen Arten nicht bekannt. Da es sich ausschließlich um Beobachtungsstudien

handelt, sind diese Ergebnisse bisher nicht experimentell verifiziert.

Durch den Ausbau der Elektromobilität gibt es vermehrt drahtlose Ladestationen für Fahrzeuge. Diese emittieren Magnetfelder im Kilohertz-Bereich. Kleine Säugetiere, wie Mäuse, Ratten und Marder, aber auch Haustiere wie Katzen oder kleine Hunde, können unter die Autos geraten und in unmittelbarer Nähe der Spulen vergleichsweise starken Feldern ausgesetzt sein. Berechnungen haben gezeigt, dass der Schwellenwert für eine mögliche Nervenreizung nicht erreicht wird (Wang et al. 2019). Nur wenn Haustiere metallische Implantate im Körper tragen, besteht die Gefahr einer Erhitzung, die zu Gewebeschäden führen kann.

Aufgrund einzelner Berichte wurde postuliert, dass hochfrequente Felder von Basisstationen landwirtschaftlichen Nutztieren schaden. Ein ursächlicher Zusammenhang konnte jedoch nicht nachgewiesen werden und wird auch mechanistisch nicht gestützt. Der einzige wissenschaftlich nachgewiesene Wirkmechanismus hochfrequenter Felder ist Erwärmung infolge von Energieaufnahme, jedoch sind die Felder von Mobilfunkbasisstationen in Bodennähe zu schwach, um eine nennenswerte Körpererwärmung zu

ABBILDUNG 2
Rehe unter Stromleitungen sind niederfrequenten Magnetfeldern ausgesetzt, die möglicherweise ihren Magnetsinn stören.
Quelle: [jojo64/stock.adobe.com](https://www.jojo64.com/).



verursachen. Lediglich Fledermäuse können sich Sendeanlagen annähern und oberhalb der Grenzwerte exponiert werden. Bei Fledermäusen wurde beobachtet, dass sie leistungsstarke Radaranlagen meiden (Nicholls, Racey 2009), aber nicht Basisstationen.

PFLANZEN

Von Pflanzen ist bekannt, dass sie unter Laborbedingungen auf das Erdmagnetfeld und vor allem auf dessen Fehlen mit Veränderungen im Wachstum reagieren (Maffei 2014). Die Wirkung wird vermutlich über den Radikalpaarmechanismus in verschiedenen pflanzlichen Lichtrezeptoren – Phytochromen und Cryptochromen – vermittelt. Das Erdmagnetfeld und dessen Umpolarisation in der geologischen Vergangenheit hat möglicherweise auch zur Evolution von Pflanzen beigetragen.

Eine ältere Studie (Soja et al. 2003) zeigt, dass das Wachstum von Getreide unter Stromleitungen nicht beeinträchtigt ist und es auch sonst keine belastbaren Hinweise auf negative Auswirkungen von Stromleitungen auf Pflanzen gibt.

In Frankreich werden seit über 15 Jahren kurzfristige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der Grenzwerte an Tomaten und Rosen untersucht (Vian et al. 2006). Es zeigten sich geringfügige Effekte, die als Stressreaktion interpretiert werden können. Die Expression einiger Gene und Proteine unterschied sich zwischen exponierter und nicht exponierter Gruppe. Die Antwort ist systemisch, das bedeutet, die gesamte Pflanze reagiert, auch wenn nur einige Blätter den Feldern ausgesetzt waren. Das erinnert an Reaktionen auf Verletzungen oder Fraß durch Schädlinge. Die Reaktion der Pflanzen klingt innerhalb weniger Stunden ab, eine Beeinträchtigung der Pflanze bedeutet sie nicht. Welche Wirkmechanismen beteiligt sind, bleibt unklar, es scheint der Kalziumhaushalt beeinflusst und reaktive Sauerstoffspezies beteiligt zu sein, epigenetische Mechanismen werden ebenfalls diskutiert (Kaur et al. 2021). Sollten diese

Ergebnisse reproduziert werden können, wäre dies ein Hinweis auf einen nicht-thermischen Effekt bei Frequenzen oberhalb von 100 Megahertz. Nicht-thermische Effekte bei diesen Frequenzen sind auch für Pflanzen bisher wissenschaftlich nicht nachgewiesen.

Baumschäden in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen wurden vereinzelt berichtet und überwiegend durch Fotodokumentationen belegt. Wegen fehlender Zufallsauswahl und Berücksichtigung von bekannten anderen Einflussfaktoren sind solche Studien jedoch ungeeignet, um einen ursächlichen Zusammenhang zu untersuchen. Die bereits beschriebenen, unter kontrollierten Laborbedingungen beobachteten Effekte (Vian et al. 2006, Kaur et al. 2021) sind deutlich kleiner und es ist unklar, ob sie unter natürlichen Bedingungen mit vielen weiteren Einflüssen wie Hitze und Wassermangel infolge des Klimawandels überhaupt bemerkbar wären.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Tiere, Pflanzen und Ökosysteme werden zunehmend anthropogenen elektromagnetischen Feldern aller Frequenzbereiche ausgesetzt. In einigen Bereichen sind die Wirkungen gut untersucht, in anderen gibt es Wissenslücken, vor allem durch einzelne, bisher nicht reproduzierte Studien und durch Ergebnisse im Labor, deren Bedeutung im Freiland unter vielfältigen Einflüssen nicht bekannt ist. Aus Sicht des Strahlenschutzes werden Freilandstudien an Insekten, insbesondere Bestäubern/Bienen empfohlen. Weiterhin sind Labor- und Freilandstudien an Pflanzen notwendig, um bisher nicht reproduzierte Effekte zu bestätigen oder zu widerlegen. Zu möglichen Wirkmechanismen stehen insbesondere der Radikalpaarmechanismus und die etwaige Beteiligung reaktiver Sauerstoffspezies im Fokus. Das BfS plant in diesen Bereichen weitere Forschung. ●

LITERATURVERZEICHNIS

- Bindokas VP, Gauger JR, Greenberg B (1988): Mechanism of biological effects observed in honey bees (*Apis mellifera*, L.) hived under extra-high-voltage transmission lines: implications derived from bee exposure to simulated intense electric fields and shocks. *Bioelectromagnetics* 9 (3): 285–301. DOI: 10.1002/bem.2250090310.
- BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.) (2020): Internationaler Workshop zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt – Vorhaben 3619102420. urn:nbn:de:0221-2020050821802.
- Burda H, Begall S, Hart V (2020): Magnetoreception in Mammals. In: Fritzsche B (Hrsg.): *The Senses: A Comprehensive Reference* (Second Edition). Amsterdam: Elsevier: 421–444. DOI: 10.1016/B978-0-12-809324-5.24131-X.
- Clarke D, Morley E, Robert D (2019): The bee, the flower, and the electric field: Electric ecology and aerial electroreception. *J Comp Physiol A* 203: 737–748. DOI: 10.1007/s00359-017-1176-6.
- Engels S, Schneider NL, Lefeldt N et al. (2014): Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature* 509 (7500): 353–356. DOI: 10.1038/nature13290.
- Gill A, Desender M (2020): Risk to animals from electromagnetic fields emitted by electric cables and marine renewable energy devices. In: OES-Environmental (Hrsg.): *State of the science report*, Chapter 5. United States: Pacific Northwest National Lab: 87–103. DOI: 10.2172/1633088.
- Greggers U, Koch G, Schmidt V et al. (2013): Reception and learning of electric fields in bees. *Proc Biol Sci* 280: 20130528. DOI: 10.1098/rspb.2013.0528.
- Holland RA, Kirschvink JL, Doak TG et al. (2008): Bats use magnetite to detect the earth's magnetic field. *PLoS One* 3 (2): e1676. DOI: 10.1371/journal.pone.0001676.
- Hore PJ, Mouritsen H (2022): How Migrating Birds Use Quantum Effects to Navigate. *Sci Am* 326 (4): 26–31. DOI: 10.1038/scientificamerican0422-26.
- ICNIRP – International Commission on Non-ionizing radiation protection (2020): Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 KHz to 300 GHz). *Health Phys* 118: 483–524. DOI: 10.1097/HP.0000000000001210.
- ICNIRP – International Commission on Non-ionizing radiation protection (2010): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 KHz). *Health Phys* 99: 818–836. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181f06c86.
- ICNIRP – International Commission on Non-ionizing radiation protection (2009): Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Phys* 96: 504–514. DOI: 10.1097/01.HP.0000343164.27920.4a.
- ICNIRP – International Commission on Non-ionizing radiation protection (2000): Effects of electromagnetic fields on the living environment. In: Matthes R, Bernhardt JH, Repacholi MH (Hrsg.): *Proceedings of the International Seminar on Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment*. Ismaning, Germany, October 4 and 5 1999.
- Kalmijn AJ, Gonzalez IF, McClune MC (2002): The physical nature of life. *J Physiol Paris* 96 (5–6): 355–362. DOI: 10.1016/S0928-4257(03)00014-7.
- Kaur S, Vian A, Chandel S et al. (2021): Sensitivity of plants to high frequency electromagnetic radiation: Cellular mechanisms and morphological changes. *Rev Environ Sci Biotechnol* 20: 55–74. DOI: 10.1007/s11157-020-09563-9.
- Kirschvink JL, Kobayashi-Kirschvink A (1991): Is geomagnetic sensitivity real? Replication of the Walker-Bitterman conditioning experiment in honey bees. *Am Zool* 31 (1): 169–185.
- Lázaro A, Chroni A, Tscheulin T et al. (2016): Electromagnetic radiation of mobile telecommunication antennas affects the abundance and composition of wild pollinators. *J Insect Conserv* 20: 315–324. DOI: 10.1007/s10841-016-9868-8.
- Lupi D, Mesiano MP, Adani A et al. (2021): Combined effects of pesticides and electromagnetic-fields on honeybees: Multi-stress exposure. *Insects* 12 (8): 716. DOI: 10.3390/insects12080716.
- Maffei ME (2014): Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Front Plant Sci* 5: 445. DOI: 10.3389/fpls.2014.00445.
- Nicholls B, Racey PA (2009): The aversive effect of electromagnetic radiation on foraging bats: A possible means of discouraging bats from approaching wind turbines. *PLoS One* 4 (7): e6246. DOI: 10.1371/journal.pone.0006246.
- Phillips J, Muheim R, Painter M et al. (2022): Why is it so difficult to study magnetic compass orientation in murine rodents? *J Comp Physiol* 208 (1): 197–212 A. DOI: 10.1007/s00359-021-01532-z.
- Pophof B, Henschenmacher B, Kattnig DR et al. (2022a): Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora. Workshop Report. *Health Phys* (in press).
- Pophof B, Henschenmacher B, Kattnig DR et al. (2022b): Biological effects of radiofrequency electromagnetic fields above 100 MHz on fauna and flora. Workshop report. *Health Phys* (in press).

Shepherd S, Lima MAP, Oliveira EE et al. (2018): Extremely low frequency electromagnetic fields impair the cognitive and motor abilities of honey bees. *Sci Rep* 8 (1): 7932. DOI: 10.1038/s41598-018-26185-y.

Soja G, Kunsch B, Gerzabek M et al. (2003): Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line. *Bioelectromagnetics* 24 (2): 91–102. DOI: 10.1002/bem.10069.

Thielens A, Greco MK, Verloock L et al. (2020): Radio-frequency electromagnetic field exposure of western honey bees. *Sci Rep* 10: (1): 461. DOI: 10.1038/s41598-019-56948-0.

Vanbergen AJ, Potts SG, Vian A (2019): Risk to pollinators from anthropogenic electro-magnetic radiation (EMR): Evidence and knowledge gaps. *Sci Total Environ* 695: 133833. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.133833.

Vian A, Roux D, Girard S, Bonne P et al. (2006): Microwave irradiation affects gene expression in plants. *Plant Signal Behav* 1 (2): 67–70. DOI: 10.4161/psb.1.2.2434.

Vijver M, Bolte J, Evans T et al. (2014): Investigating short-term exposure to electromagnetic fields on reproductive capacity of invertebrates in the field situation. *Electromagn Biol Med* 33 (1): 21–28. DOI: 10.3109/15368378.2013.783846.

Wang Q, Li W, Kang J et al. (2019): Electromagnetic safety evaluation and protection methods for a wireless charging system in an electric vehicle. *IEEE Trans Electromagn Compat* 61 (6): 1913–1925. DOI: 10.1109/TEM.2018.2875903.

Winklhofer M, Kirschvink JL (2010): A quantitative assessment of torque-transducer models for magneto-reception. *J Roy Soc Interface* 7 (Suppl 2): S273–S289. DOI: 10.1098/rsif.2009.0435.focus.

KONTAKT

Dr. habil. Blanka Pophof
Bundesamt für Strahlenschutz
Kompetenzzentrum elektromagnetische Felder
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: bpophof@bfs.de

[BfS]

Was denkt Deutschland über Strahlung? Ergebnisse einer empirischen Studie

What does Germany think about radiation? Results of an empirical study

ZUSAMMENFASSUNG

Strahlenschutz ist ein wichtiger Aspekt des Gesundheitsschutzes. Neben Maßnahmen, die staatlicherseits ergriffen werden, um die Bevölkerung vor zu hohen Strahlenexpositionen zu schützen (z. B. Grenz- oder Referenzwerte), liegt es in der Möglichkeit jedes Einzelnen, in Bezug auf bestimmte Strahlenarten Schutzmaßnahmen zu ergreifen, wie bei UV-Strahlung oder Radon. Um Kommunikationsmaßnahmen und Strahlenschutzkonzepte besser auf den gesellschaftlichen Umgang mit Strahlung ausrichten zu können, gibt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) neben strahlenthemenspezifischen Untersuchungen seit 2019 die übergreifende Studie „Was denkt Deutschland über Strahlung“ in Auftrag. Der Artikel beschreibt die wichtigsten Erkenntnisse der Studie.

CHRISTIANE
PÖLZL-VIOL

ABSTRACT

Radiation protection is an important aspect of health protection. In addition to measures taken by the state to protect the population from radiation exposure (e. g. limit values or reference values), it is up to each individual to take protective measures with regard to specific types of radiation, such as UV radiation or radon. In order to better align communication measures and radiation protection concepts with how society deals with radiation, the Federal Office for Radiation Protection (BfS) has commissioned the overarching study “What does Germany think about radiation” since 2019, in addition to radiation topic-specific studies. The article describes the study’s most important findings.

EINLEITUNG

Neben der Forschung zu den Wirkungen von ionisierender und nichtionisierender Strahlung und der Bewertung der sich daraus ergebenden gesundheitlichen Risiken für die Menschen, hat das BfS die Aufgabe, die Bevölkerung über diese Erkenntnisse und die entsprechenden Schutzmaßnahmen sowie über die Möglichkeiten, sich selber zu schützen, zu informieren. Informations- und Kommunikationsmaßnahmen sind dabei für die Zielgruppen verständlich und nachvollziehbar zu gestalten und müssen die bestehenden Einstellungen, das Wissen und die Risikowahr-

nehmung der Rezipierenden berücksichtigen, um besser aufgenommen und verstanden werden zu können. Um diese Einstellungen und Risikowahrnehmungen der Bevölkerung in Deutschland in Bezug auf Strahlung und Strahlenschutz zu erheben, gibt das BfS seit vielen Jahren sozialwissenschaftliche Studien in Auftrag, die sich mit dem Umgang der Gesellschaft mit spezifischen Strahlenthemen befassen. Seit 2019 wird darüber hinaus auch die Studie „Was denkt Deutschland über Strahlung“ durchgeführt. Diese untersucht auf einer übergreifenden Ebene, wie verschiedene Themen des Strahlenschutzes in der Gesellschaft verankert sind, welche Kenntnisse,



Quelle: rclassenlayouts /
iStock.

Wahrnehmung und Informationsbedürfnisse es gibt und an welcher Stelle sich daraus Informations- und Kommunikationsaufgaben für den Staat ergeben. Diese Befragung ergänzt damit die spezifischen Untersuchungen des BfS in anderen Strahlenthemenfeldern und hilft dabei, den gesellschaftlichen Umgang mit Strahlenthemen vergleichend einordnen zu können. Zudem soll die Studie, die alle zwei Jahre durchgeführt werden soll, ermöglichen, Veränderungen im Zeitlauf festzustellen, Schwerpunktthemen aufzunehmen und aktuelle gesellschaftliche Debatten zu berücksichtigen. Sie gibt damit Impulse für die Wissenschafts- und Risikokommunikation des BfS sowie für die Ausgestaltung von Strahlenschutzkonzepten. Der vorliegende Beitrag stellt die Ergebnisse der aktuellen Befragung vor (Jerković et al. 2022).

UNTERSUCHUNGS- METHODE

Die Studie bestand aus zwei Erhebungsschritten: Im ersten Schritt, einer qualitativen Vorstudie, wurden Denkmuster und Logiken bei der Wahrnehmung von und im Umgang mit Strahlung untersucht. Im Fokus standen dabei die generelle Betrachtung des Stellenwerts von Strahlung, die Risikowahrnehmung unterschiedlicher Strahlenarten beziehungsweise Strahlenthemen, das Wissen über Schutzverhalten und Schutzlogiken sowie die Nutzung relevanter Informationskanäle zum Thema Strahlung. Es wurden 40 Einzelinterviews an vier Erhebungsorten sowie zwei Gruppendiskussionen durchgeführt. So konnten sowohl die individuelle als auch die kollektive Perspektive im Kontext Strahlung und Strahlenschutz ermittelt werden. Die interviewten Personen wurden

mithilfe eines umfassenden Screening-Fragebogens zusammengestellt, um ein möglichst heterogenes Meinungsbild sicherzustellen. Kriterien für die Auswahl waren zum Beispiel Geschlecht, Alter, Stadt-/Landbevölkerung, unterschiedliche Technikaffinität und Gesundheitsbewusstsein. Insbesondere in den individuellen Interviews wurden Barrieren, Motive, Ängste, individuelles Wissen und (Fehl-)Konzeptionen sowie der individuelle Umgang mit Risiken vertiefend diskutiert. Zentrale Themen waren:

- Freie Assoziationen in den Bereichen Emotionen, Wahrnehmung und Semantik zum Stichwort Strahlung,
- Wissen und die Wahrnehmung sowie Mythen und Ängste in der Bevölkerung in Bezug auf Strahlung allgemein und bezogen auf einzelne Strahlenschutzthemen,
- Relevanz der verschiedenen Strahlenthemen im Vergleich,
- Relevanz des Themas Strahlenschutz im Kontext des Gesundheitsschutzes,
- Strahlenschutzverhalten beziehungsweise Verhaltensabsicht,
- Genutzte Informationsquellen zum Thema Strahlung.

Im zweiten Schritt, einer quantitativen telefonischen Befragung, wurden im März/April 2022 Interviews mit 2.000 Personen durchgeführt. Die Telefoninterviews wurden auf Basis einer Dual-Frame-Stichprobe (kombinierte Festnetz- und Mobilfunkstichprobe) durchgeführt. Auf diese Weise wurde ein bevölkerungsrepräsentativer Querschnitt der deutschsprachigen Wohnbevölkerung ab 16 Jahren befragt. Die Kernfragen der Vorgängerbefragung aus dem Jahr 2019 wurden fortgeschrieben und um neue Aspekte und Fragestellungen ergänzt. Die Ergebnisse aus der qualitativen Vorbefragung wurden genutzt, um den Fragebogen entsprechend anzupassen. Dabei wurde darauf geachtet, dass ein Vergleich mit der Vorgängerbefragung möglich blieb. Bei der Auswertung wurden die Ergebnisse in Zusammenhang mit den Ergebnissen aus der Vorgängerstudie betrachtet.

Folgende Strahlenthemen wurden in der Befragung erfasst:

- Radioaktivität in der Umwelt,
- hoch- und niederfrequente elektromagnetische Felder,
- optische Strahlung,
- radiologische Notfälle, radiologischer Notfallschutz.

Folgende Fragestellungen standen im Fokus der quantitativen Befragung:

- Wissen und Wahrnehmung in der Bevölkerung in Bezug auf Strahlung allgemein und bezogen auf einzelne Strahlenschutzthemen,
- Relevanz des Themas Strahlenschutz im Kontext des Gesundheitsschutzes; Strahlenschutzverhalten beziehungsweise Verhaltensabsicht,
- Bekanntheit von und Vertrauen in staatliche Stellen des Strahlenschutzes.

ERGEBNISSE

Ein Fünftel der Befragten gab an, sich vor der Befragung noch nie mit Strahlung beschäftigt zu haben. Dagegen gaben 12 Prozent der Befragten an, sich viel damit beschäftigt zu haben (ABBILDUNG 1). Dies lässt erkennen, dass Themen rund um Strahlung nur für einen kleinen Teil der Bevölkerung eine Rolle im täglichen Leben spielen.

SPONTANE ASSOZIATION MIT STRAHLUNG

Auf die Frage „Was fällt Ihnen spontan ein, wenn Sie den Begriff Strahlung hören?“, nannten in der quantitativen Befragung über die Hälfte der Befragten Begriffe, die mit dem Themenkomplex Radioaktivität zu tun haben (z.B. Kernkraftwerk, Kernenergie, Radioaktivität/Strahlung), aber auch Begriffe rund um die Kernkraftwerksunglücke Tschernobyl und Fukushima, sowie rund um nukleare Bedrohung und Atomwaffen. Ein Drittel der

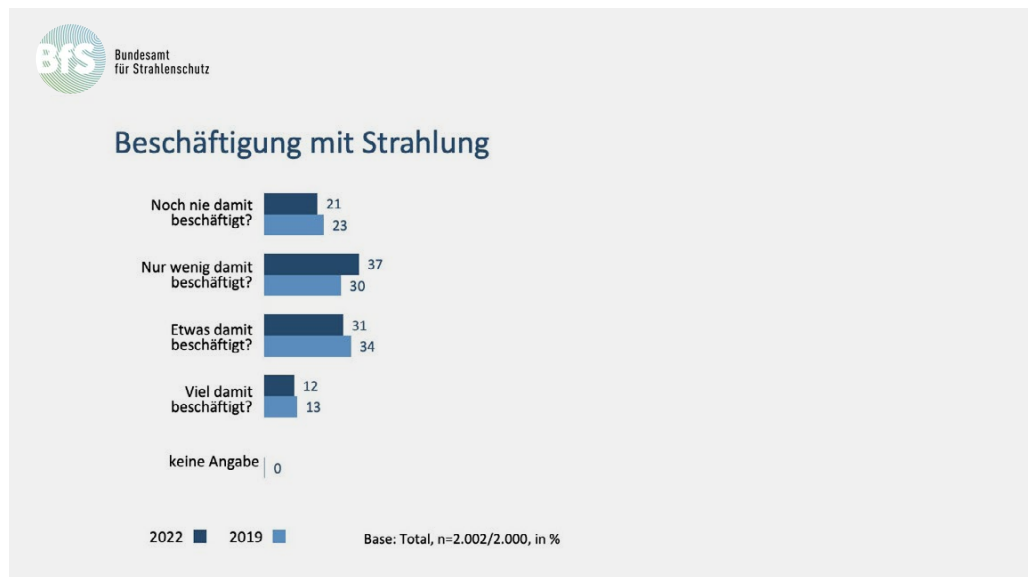
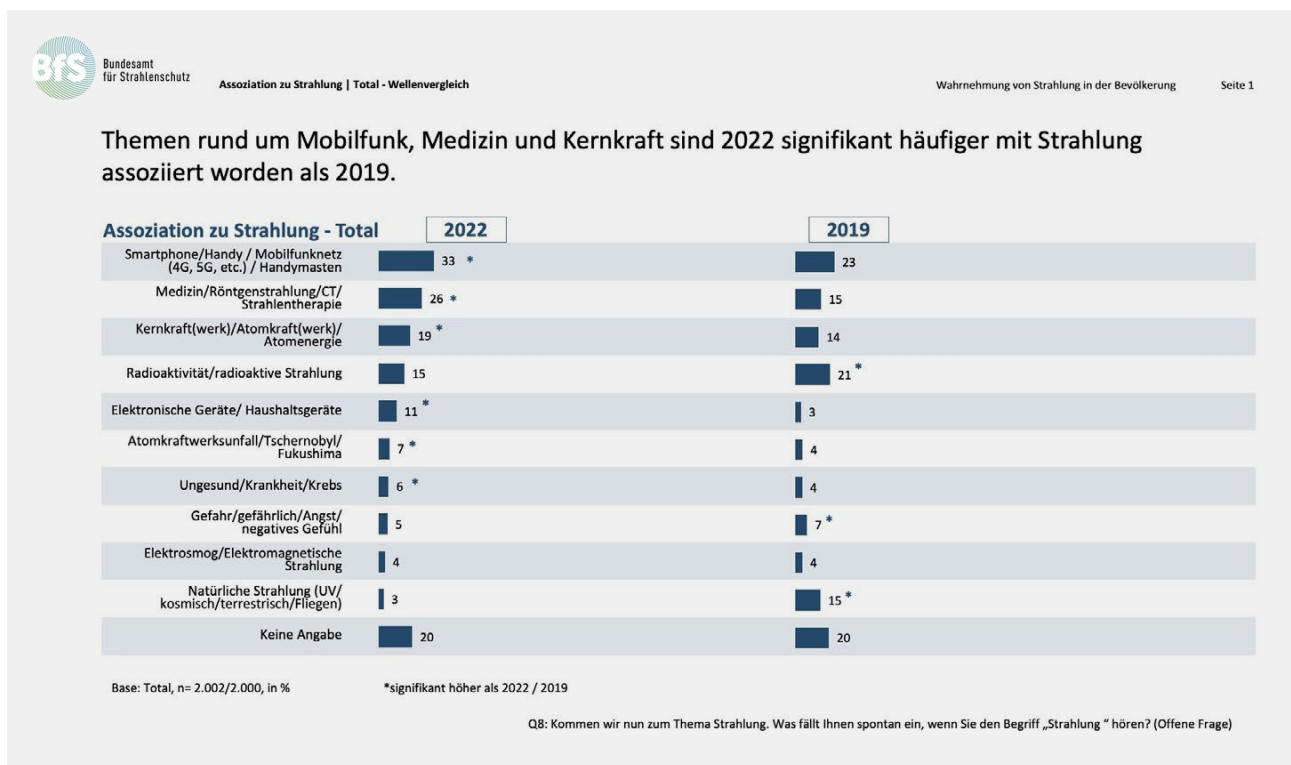


ABBILDUNG 1
Beschäftigung mit Strahlung; Angaben in Prozent der Befragten.

ABBILDUNG 2
Assoziation zu Strahlung; Angaben in Prozent der Befragten.

Befragten nannte spontan Begriffe rund um den Mobilfunk, ein weiteres Drittel rund um optische Strahlung, Sonne und Licht. Röntgenstrahlung wurde von einem Fünftel der Befragten spontan mit Strahlung in Verbindung gebracht (ABBILDUNG 2).

Die qualitativen Ergebnisse zeigen ein sehr heterogenes Spektrum bei den spontanen Assoziationen. Wissen, Bewertungen und assoziierte Emotionen streuten sehr stark zwischen den Befragten. Aber auch hinsichtlich des Vergleichs von Strahlenarten gibt es eine

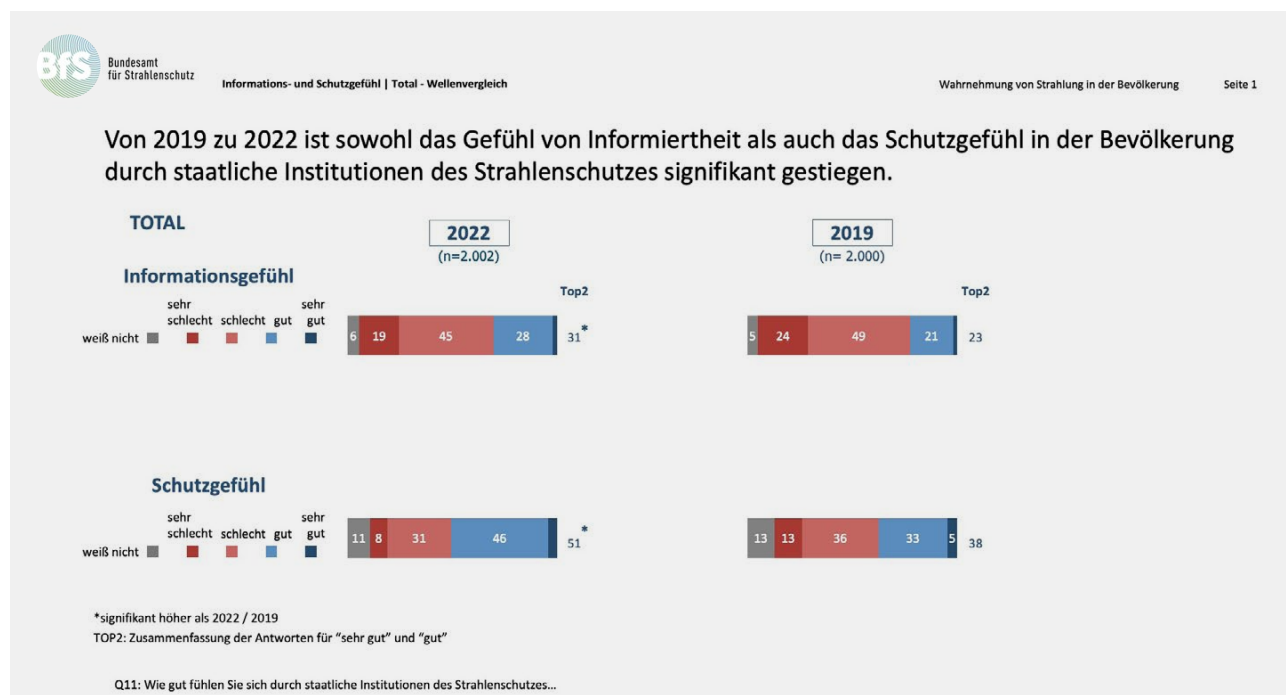


große Heterogenität bei einzelnen Individuen. Diese Heterogenität lässt sich anhand einer Reihe von Faktoren erklären, wie zum Beispiel persönliche Betroffenheit (medizinische Untersuchungen, UV-Strahlung), allgemeine Informiertheit, Risikoaffinität, allgemeine Lebenseinstellung, geographische Nähe zu potenziellen Strahlungsquellen, Kontrollierbarkeit der Exposition, Kosten-Nutzen-Analyse, Wahrnehmbarkeit der Strahlung,

Wissen um Schutzmaßnahmen sowie mediale Präsenz des jeweiligen Strahlenthemas.

INFORMIERTHEIT, INFORMATIONSVERHALTEN

Die Menschen fühlen sich durch staatliche Institutionen des Strahlenschutzes besser informiert und geschützt als noch 2019 (ABBILDUNG 3).



Dabei sind die bekanntesten staatlichen Institutionen im Bereich Strahlenschutz das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (83 %), das BfS (71 %) und die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) (68 %). Allerdings ist den Befragten dabei mehrheitlich nur der Name bekannt, ein kleinerer Teil kennt auch die Aufgaben, und nur ein geringer Teil der Befragten gab an, bereits die Webseite der jeweiligen Institution besucht zu haben. Die qualitativen Gespräche zeigen, dass das BfS ein inhaltlich nachvollziehbarer Absender ist, dem als öffentliche Behörde und aufgrund seines Namens hohe

Sachkompetenz und hohe Glaubwürdigkeit zugeschrieben wird.

Das Informationsverhalten in Bezug auf Strahlung verläuft meist passiv. In der Regel besteht kein Informationsinteresse und -bedürfnis, insbesondere bei Strahlenarten, die weder als besonders riskant noch als besonders relevant für den eigenen Alltag erlebt werden oder die als lange bekannte Strahlenarten mit ihren jeweiligen Risiken gelten. Insbesondere aber, wenn ein Strahlenthema unmittelbare Relevanz für den Alltag der Personen hat, wie zum Beispiel durch berufliche Kontakte, oder medizinische Behandlungen, oder wenn aktuelle gesellschaftliche

ABBILDUNG 3
Informations- und
Schutzgefühl, Angaben in
Prozent der Befragten.

Ereignisse die öffentliche Aufmerksamkeit auf sich ziehen, kann das Informationsinteresse und die Aufmerksamkeit durchaus steigen, wie das Beispiel des Ukraine-Kriegs im folgenden Abschnitt zeigt.

UMGANG MIT NUKLEAREN NOTFÄLLEN

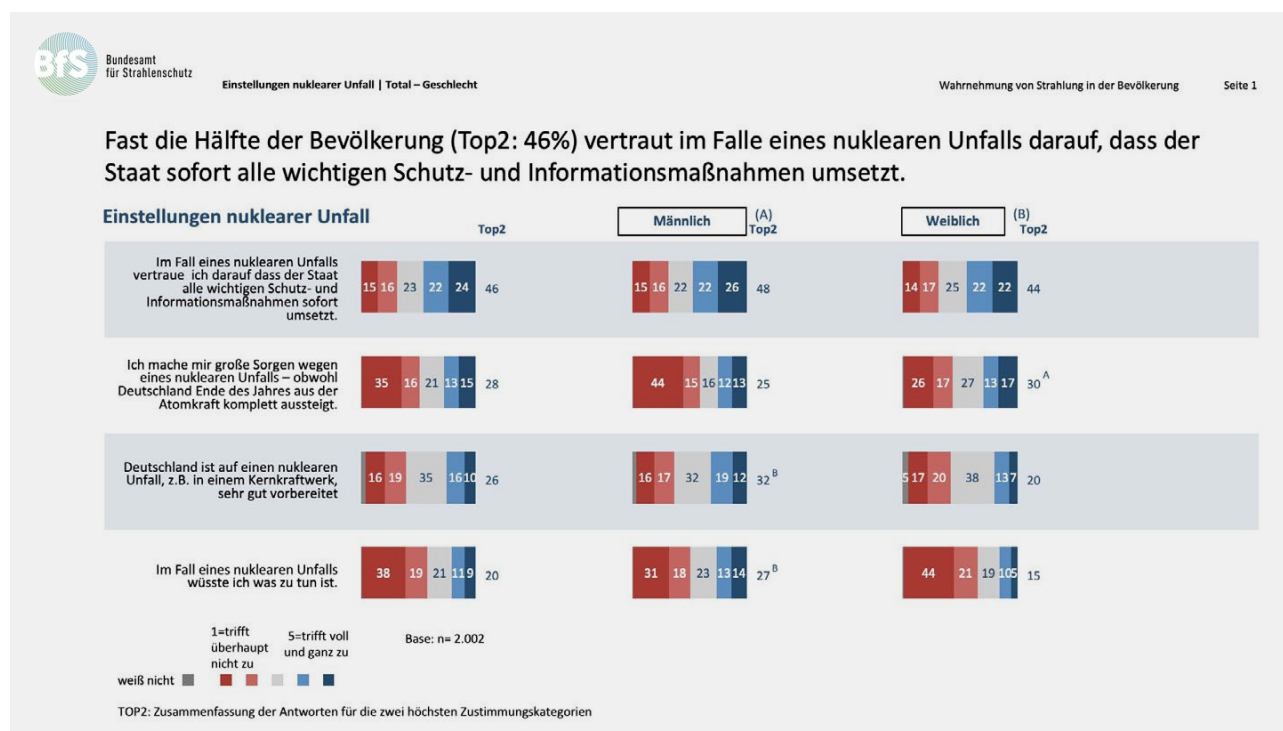
Anlässlich der aktuellen politischen Situation rund um den Ukraine-Krieg mit dem Risiko eines nuklearen Notfalls und den Meldungen rund um einen möglichen Atomkrieg stand dieses Thema bei dieser Befragung stärker im Fokus. Spontan würden sich, im Falle eines nuklearen Unfalls, rund 13 Prozent der Befragten beim Bundesamt für Strahlenschutz informieren, 66 Prozent gaben ganz allgemein das Internet an. Auffallend ist, dass viele Menschen im Falle eines nuklearen Unfalls keine Anlaufstelle für Informationen kennen oder nicht wüssten, was zu tun wäre. Allerdings vertraut fast die Hälfte der Bevölkerung darauf, dass der Staat im Fall eines nuklearen Unfalls alle wichtigen Schutz- und Informationsmaßnahmen sofort umsetzt (ABBILDUNG 4).

Dieser Vertrauensvorschluss, der auch in der Frage nach dem allgemeinen Schutzgefühl deutlich wird, ist ein wichtiges Grundpotenzial und muss durch entsprechende Maßnahmen der transparenten und verständlichen Information aufrechterhalten werden.

BEKANNTHEIT VON BEGRIFFEN UND STRAHLENARTEN

Bürgerinnen und Bürger nehmen Strahlung in ihren jeweiligen Lebenskontexten und Anwendungsfeldern wahr. Begriffe wie „optische Strahlung“ und „ionisierende Strahlung“ sind unbekannt und entsprechen nicht der Denklage der Bürgerinnen und Bürger. Viele Objekte oder Situationen, die mit einer Strahlenexposition verbunden sind, wurden von den Befragten nicht als solche erkannt, wie zum Beispiel Flugreisen, Baumaterial, oder elektrische Geräte. Aus Sicht der Bürgerinnen und Bürger gibt es bekanntere beziehungsweise präsentere Themen (z. B. UV-Strahlung, Radioaktivität, Röntgenstrahlung, „Mobilfunkstrahlung“, „Elektromog“) sowie weniger bekannte beziehungsweise

ABBILDUNG 4
Einstellungen zu einem nuklearen Unfall, Angaben in Prozent der Befragten.



präsente (z. B. Laserstrahlung, Infrarotstrahlung, Hochspannungsleitungen, Radon). Für Informations- und Kommunikationsmaßnahmen bedeutet das die Herausforderung, stärker den Blickwinkel der Rezipierenden einzunehmen und aus der fachlichen Perspektive herauszutreten.

RISIKOWAHRNEHMUNG UND INFORMATIONSBEDÜRFNIS ZU VERSCHIEDENEN STRAHLENTHEMEN

Auch in der quantitativen Untersuchung zeigt sich, dass vor allem abhängig von Informiertheit, Geschlecht und Alter unterschiedliche Wahrnehmungen beim Thema Strahlung vorhanden sind. Daneben wurde untersucht, wieviel Kontakt die Befragten mit dem betreffenden Strahlenschutzthema haben, inwieweit man sich selbst schützen kann beziehungsweise inwiefern sich die Befragten durch staatliche Institutionen vor der betreffenden Strahlungsart geschützt fühlen.

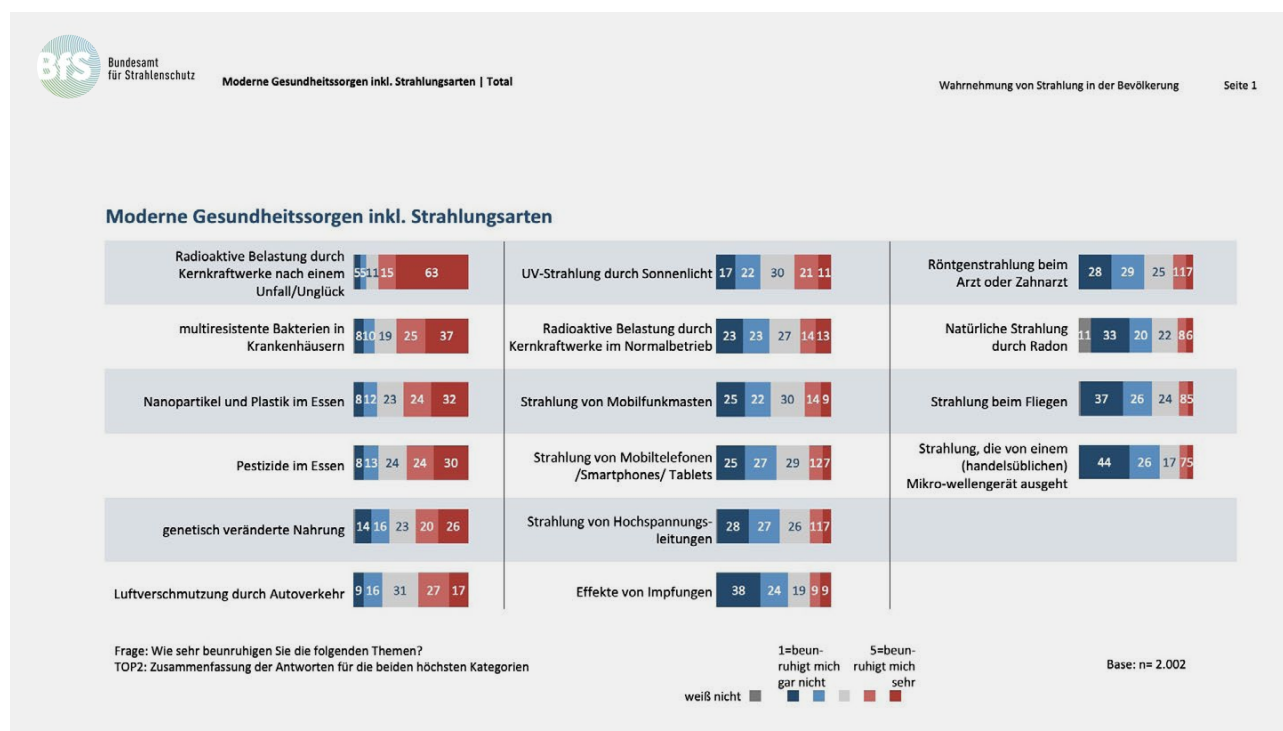
Wie auch in der Befragung 2019 und bei anderen Befragungen des BfS, in der diese

vergleichende Besorgniszuschreibung erhoben wurde, fällt auf, dass viele andere für das Leben relevante Themenbereiche mehr Beunruhigung auf sich ziehen, als mit Strahlung verbundene Themen (mit Ausnahme der „Radioaktiven Belastung durch Kernkraftwerke nach einem Unfall“) (ABBILDUNG 5). Auffallend ist der deutliche Anteil von Personen, die in Bezug auf die Beunruhigung durch Radon „Weiß nicht“ angaben. Dies deutet darauf hin, dass Radon nach wie vor vielen Menschen unbekannt ist.

UV-STRALUNG

Insgesamt gab nur rund ein Drittel der Befragten an, besorgt wegen der UV-Strahlung zu sein. Dies könnte damit zusammenhängen, dass auch nur rund ein Drittel der Befragten angab, hier viel Kontakt zu haben. Rund zwei Drittel der Befragten gehen davon aus, dass sie sich gut selbst vor UV-Strahlung schützen können. Die häufigsten Maßnahmen, die hier mehrheitlich ergriffen wurden – und zwar öfter von Frauen als von Männern –, sind Sonnenschutzcreme/-spray zu verwenden (46 %

ABBILDUNG 5
Gesundheitssorgen im Vergleich



„immer“), langen Aufenthalt in der Sonne zu vermeiden (36 % „immer“) und eine entsprechend geeignete Sonnenbrille zu tragen. Zwar gaben insgesamt 75 Prozent der Befragten an, mindestens eine Maßnahme zum Schutz vor UV-Strahlung „immer“ anzuwenden. Allerdings fällt hier auch das Tragen einer Sonnenbrille darunter, die zwar für den Schutz der Augen wichtig ist, aber auch aus anderen Gründen getragen wird. Die Befragung bestätigt, dass das Risiko durch UV-Strahlung sowie mögliche Schutzmaßnahmen allgemein bekannt sind, aber nach wie vor zu wenig konsequent UV-Schutz betrieben wird. Die qualitativen Interviews zeigen in diesem Zusammenhang deutlich, dass Fehlkonzeptionen vorhanden sind (z. B. vorgebräunte Haut benötige keinen UV-Schutz) und dass persönliche Einstellungen (wie z. B. gebräunte Haut ist attraktiv, man sieht gesund aus) dem Ergreifen von Schutzmaßnahmen entgegenstehen. Hier besteht weiterhin Aufklärungsbedarf. Allerdings ist der Wunsch nach mehr Informationen niedrig ausgeprägt. Nur 5 Prozent der Befragten gaben hier an, Interesse an weiteren Informationen zu haben. Auffallend ist, dass formal höher gebildete Personen öfter angaben, viel in der Sonne gewesen zu sein.

MOBILFUNK

Die qualitativen Gespräche zeigen, dass im Vergleich der verschiedenen Strahlungsarten ein Informationsbedürfnis und die meisten Unsicherheiten vor allem in Bezug auf das Thema Mobilfunkstrahlung im Allgemeinen sowie 5G im Speziellen besteht. In der Bevölkerung entspricht dies gut rund 59 Prozent, die sich zum Thema Strahlung von Mobiltelefonen bereits informiert haben und rund 13 Prozent die weitere Informationen wünschen (16 % in Bezug auf Mobilfunkanlagen). Interessanterweise gaben nur knapp zwei Drittel der Befragten an, in letzter Zeit (viel) Kontakt zur Strahlung von mobilen Geräten gehabt zu haben – und nur 20 Prozent gaben das für die Strahlung von Mobilfunkmasten an. Insgesamt beunruhigt das Thema Mobilfunkstrah-

lung eher weniger (7 % sind sehr beunruhigt in Bezug auf die Strahlung von Mobiltelefonen, 9 % in Bezug auf die Strahlung von Mobilfunkmasten). Das deutet darauf hin, dass das Informationsbedürfnis nicht unbedingt mit einer erhöhten Besorgnis einhergeht.

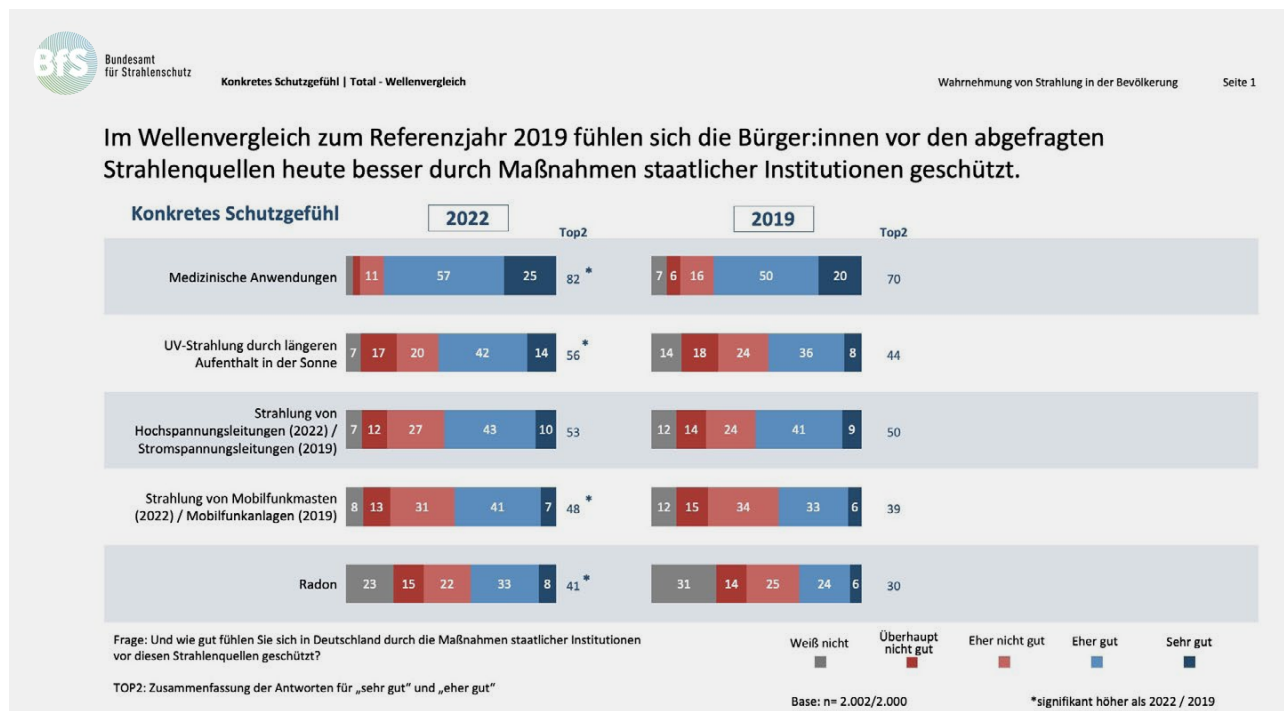
In Bezug auf das Wissen rund um die Strahlenexposition beim Mobilfunk geht zwar über die Hälfte der Befragten korrekterweise davon aus, dass die Strahlenbelastung durch das Handy stärker ist als durch Mobilfunksendeanlagen. Allerdings glauben umgekehrt auch 40 Prozent der Befragten, dass die Strahlenbelastung durch diese beiden Quellen gleich stark ist beziehungsweise durch die Mobilfunkmasten höher. 38 Prozent der Befragten gehen fälschlicherweise davon aus, dass die Strahlung eines Handys das Erbgut schädigen kann.

HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN

Im Vergleich dazu haben sich nur 28 Prozent der Befragten bereits über die Strahlung von Hochspannungsleitungen informiert. Interessiert an weiteren Informationen sind mit 16 Prozent vergleichbar viele wie beim Mobilfunk.

INTERESSE UND BESORGNIS IN BEZUG AUF WEITERE STRAHLENTHEMEN

Themen, bei denen weniger Besorgnis besteht und auch weniger Möglichkeiten gesehen werden, sich selbst zu schützen, sind zum einen die Strahlung im medizinischen Bereich, zum anderen Strahlung durch Hochspannungsleitungen und Strahlung beim Fliegen. Gleichzeitig besteht hier auch das wenigste Interesse an Informationen. Strahlung im Bereich der Medizin wurde eher selten bei den spontanen Assoziationen genannt. Rund 70 Prozent der Befragten denken, dass sie hier (eher) wenig Kontakt haben. Der Strahlenschutz in der Medizin genießt sehr großes Vertrauen: Über 80 Prozent der Befragten fühlen sich hier (sehr) gut durch staatliche Institutionen geschützt – mit deutlichem



Abstand zu allen anderen Strahlenschutzthemen (ABBILDUNG 6).

Zu den Themen, bei denen eine hohe Notwendigkeit von Schutz empfunden wird, zählen Radioaktivität, Röntgenstrahlung, Laserstrahlung und Hochspannungsleitungen.

Dass vor allem mit Blick auf Röntgenstrahlung und Hochspannungsleitungen die Besorgnis in der Bevölkerung auf niedrigem Niveau liegt, ist auch auf das Empfinden, durch staatliche Institutionen gut geschützt zu sein, zurückzuführen. Ebenso spielt hier eine Rolle, dass die Nähe zu Hochspannungsleitungen nur für einen kleinen Teil der Bevölkerung eine dauerhafte Rolle in ihrem Leben spielt.

Zu den Strahlenarten, bei denen die Notwendigkeit von Schutz als (sehr) niedrig empfunden wird, zählen Mikrowellen-, Infrarot-, und atmosphärische Strahlung. Darüber hinaus gibt es Strahlenarten, bei denen die empfundene Schutznotwendigkeit polarisiert beziehungsweise je nach Kontext variiert. Dies sind UV-Strahlung und Mobilfunkstrahlung, wobei sich hier zeigt, dass die beiden Strahlungsarten, vielleicht bedingt durch

ihre kontinuierliche Präsenz im Alltag, dann doch zu einer relativ niedrigen Besorgnis in der Bevölkerung führen. Allerdings zeigt sich in den qualitativen Interviews, dass die teilweise öffentlich geführte Diskussion um die Schädlichkeit von Mobilfunkstrahlung zu Verunsicherung führen kann.

FAZIT

Die Befragung zeigt anhand des differenzierten Fragebogens auf, dass Strahlenthemen, Wissen und Strahlenschutzverhalten einen eher geringen „aktiven“ Stellenwert in der Bevölkerung haben – mit Ausnahme von Themen, die durch aktuelle Ereignisse (z.B. Ukraine-Krieg) oder technologische Entwicklungen (Mobilfunk) präsent sind. Die Kombination aus längeren persönlichen Einzelinterviews und der telefonischen repräsentativen Befragung ermöglichte es, Sinn- und Wertungszusammenhänge zum Strahlenschutz aufzuzeigen. Dabei wird die Komplexität des individuellen und gesellschaftlichen Umgangs mit Strahlung deutlich und dass

ABBILDUNG 6

Konkretes Schutzgefühl, Angaben in Prozent der Befragten.

verschiedene Themen des Strahlenschutzes eine heterogene Präsenz und Bedeutung haben. Außer in Bezug auf die UV-Strahlung gab nur ein sehr geringer Anteil der Befragten an, selbst Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Zusammen mit den Ergebnissen rund um Informiertheit und Informationsinteresse zeigt dies, dass Strahlenschutz in den meisten Fällen nicht als persönliche Aufgabe gesehen wird. In Bezug auf die Rolle des Staates zeigt die Befragung, dass sich etwa die Hälfte der Befragten gut oder sehr gut durch staatliche Institutionen des Strahlenschutzes geschützt fühlt. Diejenigen, die angeben, sich schlecht informiert oder geschützt zu fühlen, werden als Auftrag verstanden, Informations- und Kommunikationsmaßnahmen noch transparenter, verständlicher zu gestalten und, wo aus Strahlenschutzsicht erforderlich, noch näher am Alltag der Bevölkerung zu verorten.

KONTAKT

Christiane Pözl-Viol
Bundesamt für Strahlenschutz
Referat DO 4 Risikokommunikation und
Wissensmanagement
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim-Neuherberg
E-Mail: cpoelzl@bfs.de

[BfS]

LITERATUR

Jerković T, Renner S, Wieners-Schlupkoth S et al.
(2022): Was denkt Deutschland über Strahlung?
Ergebnisse 2022. Vorhaben 3621S72210. Im Auftrag des
Bundesamtes für Strahlenschutz. Ressortforschungs-
berichte zum Strahlenschutz 201/22, Salzgitter.
urn:nbn:de:0221-2022081833825.

Lungenkrebsfrüherkennung mittels Niedrigdosis-Computertomographie

Lung cancer screening with low-dose computed tomography

ZUSAMMENFASSUNG

Lungenkrebs ist eine der führenden Krebstodesursachen in Deutschland, die besonders bei (Ex-)Rauchenden auftritt. Bei Entdeckung des Tumors in einem fortgeschrittenen Stadium ist die Prognose schlecht, während Frühstadien gut behandelbar sind. Zur Früherkennung kann die Niedrigdosis-Computertomographie (LDCT) verwendet werden. Strahlenschutzrechtlich muss eine Anwendung von Röntgenstrahlung zur Früherkennung – wie die LDCT – mittels Rechtsverordnung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zugelassen werden. Die wissenschaftliche Basis dafür bildet die Nutzen-Risiko-Bewertung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Damit der notwendige Nutzen erreicht wird, bedarf es sowohl einer genauen Festlegung der Zielgruppe als auch der Bedingungen und Anforderungen an die Früherkennung sowie einer strikten Qualitätssicherung.

EVA R. WANKA-PAIL,
ERIK B. MILLE

ABSTRACT

Lung cancer is a leading cause of cancer death in Germany that affects predominantly (ex-)smokers. Diagnoses in late stages have poor prognoses, whereas early tumour stages are well treatable. Low-dose computed tomography (LDCT) is usable for lung cancer screening. Under the German radiation protection law, the application of X-rays to purpose of screening – such as LDCT – has to be approved on a generic level in a statutory ordinance by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection (BMUV). The scientific basis is given by a benefit-risk-analysis of the German Federal Office for Radiation Protection (BfS). For reaching the necessary benefit, both a precise definition of the target population and of the requirements and conditions for the screening are required as well as strict quality assurance.

HINTERGRUND

Der mit Abstand bedeutendste Risikofaktor für Lungenkrebs ist Tabakrauchexposition. Bis zu 90 Prozent aller an Lungenkrebs erkrankten Männer und mindestens 60 Prozent der an Lungenkrebs erkrankten Frauen sind (Ex-)Rauchende (RKI 2021). Im Jahr 2018 erkrankten in Deutschland 35.290 Männer und 21.930 Frauen an Lungenkrebs (RKI 2021).

Sinngemäß übersetzt versteht die Weltgesundheitsorganisation (WHO) unter Krebsfrüherkennung Folgendes: Der Zweck von Tests zur Früherkennung ist, Krebsvorstufen oder frühe Krebsstadien bei asymptomatischen Individuen zu finden, sodass eine rechtzeitige Diagnose und ein frühzeitiger Behandlungsbeginn ermöglicht werden,



Quelle: REB Images /
Gettyimages.

wobei diese frühzeitige Behandlung zu einem besseren Ergebnis (Outcome) für manche Menschen führen kann (WHO 2022).

Aufgrund der in den letzten Jahren erzielten technologischen Fortschritte bietet insbesondere die Niedrigdosis-Computertomographie (low-dose computed tomography, LDCT) gute Voraussetzungen für die Lungenkrebsfrüherkennung. Sie hat sich als sensitiv genug erwiesen, um auch kleine Tumoren von wenigen Millimetern Durchmesser zu detektieren (Yau et al. 2007).

GESETZLICHER AUFTRAG DES BfS

Da es sich bei der LDCT um eine Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen handelt, unterliegt sie den Regelungen des deutschen Strahlenschutzrechts. Nach § 84 Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) ist die

Früherkennung nicht übertragbarer Krankheiten mittels ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe nur zulässig, wenn das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) sie durch eine Rechtsverordnung zugelassen hat. Derzeit ist dies nur für die Brustkrebsfrüherkennung mittels Mammographie gegeben.

Als Grundlage für die Zulassung von Früherkennungsuntersuchungen durch das BMUV bewertet das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) Früherkennungsuntersuchungen unter Abwägung von Nutzen und Risiken. Diese wissenschaftliche Bewertung wird im Detail durch die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur wissenschaftlichen Bewertung von Früherkennungsuntersuchungen zur Ermittlung nicht übertragbarer Krankheiten (StrlSchGVwV-Früherkennung) geregelt. Danach nimmt das BfS seinen gesetzlichen Auftrag in zwei Schritten wahr.

Im ersten Schritt erfolgt eine jährliche Vorprüfung, „welche Untersuchungen bestimmte grundlegende Voraussetzungen erfüllen, um als mögliche Früherkennungsuntersuchung in Betracht gezogen zu werden“ (Nummer 3 StrlSchGVwV-Früherkennung). Sind die grundlegenden Voraussetzungen erfüllt, so erfolgt im zweiten Teilschritt eine ausführliche Begutachtung. Diese umfasst insbesondere eine Nutzen-Risiko-Bewertung nach den Prinzipien der evidenzbasierten Medizin, eine Abschätzung des Strahlenrisikos, die Definition der Zielgruppe und eine Darlegung der Bedingungen und Anforderungen an die Früherkennungsuntersuchung. Hierbei wird das BfS von einer interdisziplinär besetzten Sachverständigengruppe unterstützt. Vor der Veröffentlichung des abschließenden wissenschaftlichen Berichts werden zusätzlich die betroffenen Fachkreise in Form eines schriftlichen Stellungnahmeverfahrens beteiligt (Nummer 5 StrlSchGVwV-Früherkennung).

Damit sich nach § 84 Absatz 2 StrlSchG zugelassene Früherkennungsuntersuchungen stets am aktuellen Stand der Wissenschaft orientieren, überprüft das BfS gemäß Nummer 7 StrlSchGVwV-Früherkennung „mindestens alle fünf Jahre [...] die [...] zugelassenen Früherkennungsuntersuchungen dahingehend, ob sich der Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse weiterentwickelt hat. Ist dies der Fall, entscheidet das BfS, ob eine umfassende Neubewertung und eine Anpassung der Bedingungen und Anforderungen [...] notwendig sind.“

Die Lungenkrebsfrüherkennung mittels LDCT wurde im Rahmen der Vorprüfung 2019 als aussichtsreiches Verfahren identifiziert (BfS 2019). Im selben Jahr wurde die ausführliche Begutachtung begonnen, welche im Jahr 2021 abgeschlossen und durch BMUV im Bundesanzeiger (BAnz AT 06.12.2021 B4) sowie durch das BfS (BfS 2021) veröffentlicht wurde. Bevor die Früherkennung von Lungenkrebs mittels LDCT am Menschen angewendet werden darf, muss das BMUV diese noch durch eine Rechtsverordnung zulassen. Das BMUV legt in dieser Rechtsverordnung

unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Bewertung des BfS fest, unter welchen Voraussetzungen die Früherkennungsuntersuchung für eine besonders betroffene Personengruppe zulässig ist (§ 84 Absatz 2 StrlSchG). Derzeit erarbeitet das BMUV diese Rechtsverordnung und wird hierbei zu fachlichen Aspekten durch das BfS unterstützt.

Die Lungenkrebsfrüherkennung bleibt, auch nach der Zulassung durch eine Rechtsverordnung, eine genehmigungspflichtige Tätigkeit. Der/Die Strahlenschutzverantwortliche einer Einrichtung, welche Lungenkrebsfrüherkennung anbieten möchte, muss daher einen Antrag bei der zuständigen Landesbehörde stellen. Diese kann nach Prüfung des Antrags eine Genehmigung befristet auf fünf Jahre erteilen. Ausführlichere Darlegungen der strahlenschutzrechtlichen Regelungen zur (Lungen-)Krebsfrüherkennung sind in den Artikeln von Brix et al. (2020) und Hunger et al. (2021a) zu finden.

NUTZEN DER LUNGEN- KREBSFRÜHERKENNUNG MITTELS LDCT

Im Rahmen der vom BfS durchgeführten systematischen Literaturübersicht wurden Publikationen zu Studien der höchsten Evidenzstufe, also randomisierte kontrollierte Studien (randomized controlled studies, RCT), recherchiert und ausgewertet (BfS 2021). Nur auf Basis methodisch hochwertiger Studien lassen sich Aussagen zum kausalen Zusammenhang von Früherkennung und gesundheitlichen Auswirkungen treffen. Als Zielparame-ter hinsichtlich des Nutzens gelten die Verringerung der krankheitsspezifischen Sterblichkeit, die Verringerung der Krankheitsschwere sowie der Gewinn an gesundheitsbezogener Lebensqualität. Für die Bewertung der Lungenkrebsfrüherkennung standen Ergebnisse von zehn RCT aus den USA und Europa zur Verfügung, an denen stark Rauchende und Ex-Rauchende teilgenommen haben. Eine weitere, aktualisierte Metaanalyse des BfS (Hunger et al. 2021b)

ergab, dass von den Teilnehmenden der Lungenkrebsfrüherkennung 2,3 Prozent an Lungenkrebs sterben, in der Kontrollgruppe ohne Lungenkrebsfrüherkennung 2,9 Prozent. Das bedeutet eine statistisch signifikante relative Reduktion der Lungenkrebsmortalität von 20 Prozent (risk ratio (RR) = 0,80; 95 % Konfidenzintervall (KI) 0,70–0,92). Eine nach Geschlecht stratifizierte Analyse von drei Studien zeigte, dass der Effekt der Lungenkrebsfrüherkennung und die damit verbundene Reduktion der lungenkrebspezifischen Sterblichkeit für Frauen größer zu sein scheint als für Männer (Frauen: RR = 0,71; 95 % KI 0,60–0,86; Männer: RR = 0,87; 95 % KI 0,77–0,97) (Hunger et al. 2021b). Einige Studien liefern Informationen zu den Tumorstadien. Die Auswertungen dieser Studien ergab, dass es zu einer Verringerung der Krankheitsschwere kommt, da die Verteilung der Tumorstadien nach der Abklärungsdiagnostik eine Verschiebung hin zu früheren Stadien in der Früherkennungsgruppe zeigt (BfS 2021). Insgesamt wurden in dieser Gruppe 44 Prozent der Tumoren im Stadium I diagnostiziert und 29 Prozent im Stadium IV, während in der Kontrollgruppe ohne Lungenkrebsfrüherkennung 26 Prozent der Tumoren im Stadium I und 41 Prozent im Stadium IV diagnostiziert wurden.

RISIKEN DER LUNGENKREBSFRÜHERKENNUNG MITTELS LDCT

Prinzipiell muss hier unterschieden werden zwischen den nicht zu vernachlässigenden allgemeinen Risiken und unerwünschten Wirkungen der Früherkennung, welche unabhängig von der Art der Früherkennungsuntersuchung auftreten, und den Strahlenrisiken, welche sich aus der Anwendung von Röntgenstrahlung ergeben.

ALLGEMEINE RISIKEN

Die Fähigkeit eines Reihentests, kranke von gesunden Menschen zu unterscheiden, ist

essentiell für eine erfolgreiche Früherkennung. Idealerweise zeigt er mit hoher Wahrscheinlichkeit ein positives Testergebnis bei Kranken (hohe Sensitivität) und mit hoher Wahrscheinlichkeit ein negatives Testergebnis bei Gesunden (hohe Spezifität) an. Allerdings ist kein Test perfekt, und so gibt es bei Früherkennungsuntersuchungen immer auch falsch-positive und falsch-negative Ergebnisse. Falsch-negative Ergebnisse fallen zunächst nicht auf, führen aber im ungünstigsten Fall dazu, dass danach eventuell auftretende Symptome ignoriert werden und die Krankheit spät diagnostiziert wird. Positive LDCT-Befunde müssen diagnostisch abgeklärt werden. Dies kann einerseits psychisch belastend für die Betroffenen sein, insbesondere, wenn ein Zeitverzug entsteht. Darüber hinaus kann dies aber auch zu unnötigen Folgeuntersuchungen im Rahmen der Abklärung führen, die bis hin zu invasiven Eingriffen (z. B. Biopsien) reichen, welche wiederum mit einem Komplikationsrisiko verbunden sind.

Auch wenn eine Erkrankung, zum Beispiel ein bösartiger Tumor, korrekt durch eine Früherkennungsuntersuchung entdeckt und diagnostisch abgesichert wird, muss das kein Vorteil für die teilnehmende Person sein. Es gibt beispielsweise Tumoren, deren Wachstum so langsam fortschreitet, dass sie zu Lebzeiten niemals Beschwerden oder Einschränkungen verursachen. Die Diagnose einer Erkrankung, die zwar richtig erkannt wurde, aber nie klinisch in Erscheinung getreten wäre, wird als Überdiagnose bezeichnet und stellt ebenfalls eine unerwünschte Wirkung dar. Das Risiko für eine Überdiagnose ist umso größer, je höher das Risiko einer Person ist, an anderen Krankheiten (Komorbiditäten) zu versterben, als durch die von der Früherkennungsuntersuchung gesuchte. Da im Einzelfall nicht bekannt ist, ob es sich um eine Überdiagnose handelt, muss die Erkrankung behandelt werden, was dann eine Form von Übertherapie und somit ein weiteres allgemeines Risiko darstellt. Der Person werden belastende Behandlungen wie Operationen, Strahlen- und/oder Chemotherapie empfohlen, von denen sie jedoch keinen Nutzen hat.

Die Analyse der RCT hat gezeigt, dass die Lungenkrebsfrüherkennung mittels LDCT mit einer hohen Rate falsch-positiver Ergebnisse verbunden ist, aus denen teilweise Abklärungsuntersuchungen gegebenenfalls auch mit invasiven Eingriffen resultieren. Der Anteil falsch-positiver Befunde aller auffälligen LDCT betrug zum Beispiel in der NLST-Studie (National Lung Screening Trial) 96,4 Prozent (NLST Research Team 2011). Für die NELSON-Studie (Nederlands Leuvens Longkanker ScreeningsONderzoek) wurde beispielsweise abgeschätzt, dass es sich bei knapp 20 Prozent der diagnostizierten Lungenkarzinome um Überdiagnosen handelte (de Koning et al. 2020).

Bei der Lungenkrebsfrüherkennung mittels LDCT können auch Zufallsbefunde auftreten. Die frühe Abklärung von Zufallsbefunden kann den Teilnehmenden zugutekommen, andererseits aber auch Beunruhigung und unnötige Untersuchungen mit sich bringen. Dies stellt eine ethische Frage dar, welche mit den Teilnehmenden bereits vor der ersten Untersuchung erörtert werden muss und einer schriftlichen Vereinbarung über den weiteren Umgang mit solchen Zufallsbefunden bedarf. In einer Subgruppe der NELSON-Studie wurde bei 6,7 Prozent der Teilnehmenden ein klinisch bedeutsamer Zufallsbefund ohne Lungenkrebsverdacht entdeckt (van de Wiel et al. 2007).

STRAHLENRISIKO

Da CT-basierte Früherkennungsuntersuchungen mit einer Strahlenexposition einhergehen, sind sie mit einem gewissen – wenn auch geringen – Strahlenrisiko assoziiert. Sie sind daher so zu optimieren, dass die Strahlenexposition so niedrig wie möglich, aber – bezüglich der diagnostischen Bildqualität – so hoch wie nötig ist. Um Früherkennungsteilnehmende möglichst gut zu schützen, wird im wissenschaftlichen Bericht des BfS gefordert, dass ihre Strahlenexposition einen festgelegten Wert unterschreiten muss (Volumen-CT-Dosisindex < 1,3 mGy).

Die Abschätzung des strahlenbedingten Risikos infolge einer solch geringen Strahlen-

exposition ist mit größeren Unsicherheiten behaftet. Denn strahlenepidemiologisch ist eine signifikante Erhöhung des Krebsrisikos erst bei Dosiswerten nachzuweisen, die sehr viel höher sind als die mit den meisten Röntgenuntersuchungen verbundenen Strahldosen. Selbst für eine große Anzahl von Personen, die geringen Dosen von nur einigen Millisievert ausgesetzt sind, sind stochastische Strahlenwirkungen statistisch nicht direkt belegbar (Land 1981). Im praktischen Strahlenschutz wird vorsorglich davon ausgegangen, dass auch geringe Dosen mit einem Strahlenrisiko einhergehen, und davon, dass auch hier der für höhere Dosen beobachtete proportionale Zusammenhang zwischen Dosis und Strahlenrisiko ohne Schwellendosis besteht (sogenanntes „linear non threshold model“, LNT-Modell).

Das Strahlenrisiko, welches aus einer Früherkennung resultiert, schätzt das BfS ausgehend von der mit der Untersuchung verbundenen Strahlenexposition unter Anwendung aktueller strahlenepidemiologischer Modelle ab (Nekolla et al. 2022). Diese Modelle stammen aus Beobachtungen an großen Kollektiven zumeist höher strahlenexponierter Personen, deren Krebsraten über einen langen Zeitraum hinweg mit denen nicht-exponierter Personen verglichen wurden. Die wichtigste strahlenepidemiologische Studie in diesem Zusammenhang ist die sogenannte Life Span Study der japanischen Atombombenüberlebenden (Ozasa et al. 2018).

Da die Früherkennung von Lungenkrebs keine einmalige Untersuchung mittels LDCT ist, sondern in regelmäßigen Abständen wiederholt wird, sind die vom BfS abgeschätzten Strahlenrisiken nicht zu vernachlässigen (Nekolla et al. 2022). Dies gilt insbesondere dann, wenn die LDCT-Untersuchungen bereits in jüngeren Jahren erfolgen, da das strahlenbedingte Lebenszeitrisko für niedrige Expositionsalter größer ist als für höhere. Zudem ist das zusätzliche Lebenszeitrisko für Frauen höher als für Männer, da nicht nur die Lunge, sondern auch die weibliche Brust im Strahlenfeld liegt und diese zu den strahlenempfindlichen Organen zählt.

Das Strahlenrisiko muss daher aus Strahlenschutzsicht grundsätzlich in den Entscheidungsprozess miteinbezogen werden. Auch durch die Abklärungsdiagnostik, die im Rahmen einer LDCT-Früherkennung stattfindet, erhöht sich für einige Teilnehmende die Dosis und somit auch das Strahlenrisiko.

ZIELGRUPPE DER LUNGENKREBSFRÜHERKENNUNG MITTELS LDCT

Einen unmittelbaren Nutzen aus der Teilnahme an einer Lungenkrebsfrüherkennung mittels LDCT haben nur Personen, bei denen auch tatsächlich erkannt wird, dass sie an Lungenkrebs erkrankt sind. Demgegenüber betrifft das Strahlenrisiko alle Teilnehmenden. Andererseits haben erkrankte Personen jedoch einen unmittelbaren Nutzen durch die Initiierung einer Therapie, während eine strahlenbedingte Krebserkrankung von hypothetischem Charakter ist und gegebenenfalls erst nach einer Latenzzeit von vielen Jahren auftreten würde. Der Nutzen der Lungenkrebsfrüherkennung muss abgewogen werden gegenüber den oben beschriebenen potenziellen Risiken und Schäden. Um sicherzustellen, dass der erwartete Nutzen das Risiko potenzieller Schäden überwiegt, muss die Früherkennung auf Personen beschränkt werden, bei denen eine ausreichend hohe Prävalenz oder eine ausreichend hohe Wahrscheinlichkeit für die klinische Manifestation eines Lungentumors zu erwarten ist. Diesbezüglich liegt derzeit eine ausreichende Evidenz nur für Personen mit hohem Zigarettenkonsum vor. An einer jährlichen Lungenkrebsfrüherkennung sollten deshalb nur Ex-Rauchende, deren Zigarettenkonsum noch nicht zu lange zurück liegt, und aktiv Zigarettenrauchende teilnehmen. Anhand der analysierten Studien sind dies (Ex-)Rauchende im Alter zwischen 50 und 75 Jahren, die nach den Einschlusskriterien der NELSON- und LUSI-Studie (Lung Cancer Screening and Intervention Trial) mindestens 25 Jahre lang mehr als 15 Zigaretten pro

Tag oder mindestens 30 Jahre lang mehr als 10 Zigaretten pro Tag geraucht haben. Die Zigarettenabstinenz muss weniger als 10 Jahre betragen.

Anders als in den RCT ist in bevölkerungsbezogenen Früherkennungsmaßnahmen nicht immer damit zu rechnen, dass eine hohe Teilnahmerate und eine konsequente Teilnahme über viele Jahre hinweg gegeben sind. Am deutschen Mammographie-Screening-Programm (MSP) beispielsweise nehmen nur circa 50 Prozent der eingeladenen Frauen teil. Verwendet man die oben genannten Einschlusskriterien, so wären für die Lungenkrebsfrüherkennung circa 5,5 Millionen Personen in Deutschland teilnahmeberechtigt, wobei etwa 47 Prozent der gesamten Inzidenz von Lungenkrebs in Deutschland in dieser Risikogruppe auftreten würde (Hüsing, Kaaks 2020). Wie viele Personen tatsächlich an einer Früherkennungsmaßnahme teilnehmen würden, ist derzeit nicht seriös abschätzbar.

Nicht zu rauchen oder mit dem Rauchen aufzuhören ist der effektivste Schutz vor einem Lungenkarzinom (Taylor et al. 2002; Fucito et al. 2016). Mit zunehmender Dauer der Abstinenz wird das durch das Rauchen erhöhte Lungenkrebsrisiko geringer. Zur Reduktion des Lungenkrebsrisikos sollte den Teilnehmenden daher zwingend eine Rauchentwöhnung angeboten werden. Sollte die Teilnahme an der Rauchentwöhnung erfolgreich sein, reduziert sich dadurch zusätzlich auch die Strahlenexposition, da die Teilnehmenden entsprechend der oben genannten Kriterien nach 10 Jahren Zigarettenabstinenz nicht mehr die Teilnahmebedingungen erfüllen würden.

NOTWENDIGKEIT VON QUALITÄTSSICHERUNGSMASSNAHMEN

An die Früherkennungsuntersuchung selbst sind hohe Anforderungen bezüglich Sicherheit und Genauigkeit zu stellen, da asymptotische Personen untersucht werden, von denen nur ein sehr kleiner Teil einen indivi-

duellen Nutzen aus der Untersuchung zieht. Wie das Beispiel der Brustkrebsfrüherkennung gezeigt hat, setzt dies nicht nur eine geeignete technische Ausstattung sowie eine

vertiefte Ausbildung und Schulung des Personals voraus, sondern auch eine kontinuierliche Überprüfung der Prozess- und Ergebnisqualität (siehe INFOBOX).

INFOBOX

MAMMOGRAPHIE-SCREENING-PROGRAMM (MSP) IN DEUTSCHLAND

In Deutschland ist bislang nur die Brustkrebsfrüherkennung mittels Röntgen-Mammographie nach § 84 StrlSchG als strukturiertes Krebsfrüherkennungsprogramm durch Rechtsverordnung (Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung – BrKrFrühErkV) zugelassen. Der Gemeinsame Bundesausschuss hat in seiner Richtlinie über die Früherkennung von Krebserkrankungen die Rand- und Rahmenbedingungen für die Früherkennung von Brustkrebs festgelegt. Ebenso ist das MSP in Anlage 9.2 Bundesmantelvertrag – Ärzte geregelt. Bevor das MSP in Deutschland implementiert wurde, konnte in der Deutschen Mammographie-Studie gezeigt werden, dass durch die Umsetzung von strengen Qualitätssicherungsmaßnahmen die Häufigkeit von Zusatz- und vorgezogenen Kontrolluntersuchungen reduziert und der positive Vorhersagewert der Indikationsstellung zur Biopsie gesteigert werden konnte (Swart et al. 1995). Für eine adäquate Umsetzung des MSP wurden auch Maßnahmen für die Koordination, Qualitätssicherung und Evaluation eingeführt, die durch die Kooperationsgemeinschaft Mammographie (KoopG) organisiert werden. Die KoopG wird vom Spitzenverband der gesetzlichen Krankenkassen und der Kassenärztlichen Bundesvereinigung getragen. Es hat sich gezeigt, dass durch stringente Qualitätssicherungsmaßnahmen (regelmäßige Zertifizierungen aller Screening-Einheiten, umfassende Evaluation der Abläufe und Ergebnisse des Programms) die hohen Qualitätsstandards nach europäischen Leitlinien (Perry et al. 2006) eingehalten werden.

Bei der Übertragung der Studienergebnisse der RCT zur Lungenkrebsfrüherkennung auf die Bevölkerung und Versorgungslandschaft in Deutschland ist zu bedenken, dass diese Studien unter optimalen, streng kontrollierten Bedingungen durchgeführt wurden. Die Zulassung der Lungenkrebsfrüherkennung in Deutschland ist daher nur zu rechtfertigen, wenn das Qualitätsniveau der analysierten Studien erreicht und die Sicherheit der Teilnehmenden gewährleistet wird. Daher sind strenge Anforderungen an die Durchführung der Lungenkrebsfrüherkennung sowie an die Qualitätssicherung zu stellen und deren Einhaltung zu kontrollieren. Die für die Lungenkrebsfrüherkennung in einer Rechtsverordnung festzulegenden Bedingungen und Anforderungen gelten unabhängig von der Finanzierung (gesetzliche oder private Krankenversicherung, Selbstzahler).

LDCT in Kraft getreten ist, hat der Gemeinsame Bundesausschuss (G-BA) 18 Monate Zeit, eine Richtlinie zu erlassen, in welcher die Anspruchsvoraussetzungen sowie Bedingungen und Anforderungen für die Früherkennungsuntersuchung mittels LDCT für gesetzlich Krankenversicherte festgeschrieben sind. Auch über die Erstattung der Kosten im Rahmen der gesetzlichen Krankenversicherung entscheidet der G-BA.

Eine Herausforderung bleibt es, auch für diejenigen Teilnehmenden an der Lungenkrebsfrüherkennung, welche nicht der Regelungskompetenz des G-BA unterliegen (z. B. privat Versicherte oder Selbstzahler), ein ausreichend hohes Qualitätsniveau zu gewährleisten. ●

NÄCHSTE SCHRITTE

Sobald eine Rechtsverordnung des BMUV zur Früherkennung von Lungenkrebs mittels

LITERATUR

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.) (2021): Lungenkrebsfrüherkennung mittels Niedrigdosis-Computertomographie - Wissenschaftliche Bewertung des Bundesamtes für Strahlenschutz gemäß § 84 Absatz 3 Strahlenschutzgesetz. urn:nbn:de: 0221-2021082028027.

- BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.) (2019): Vorprüfung 2019 gemäß Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur wissenschaftlichen Bewertung von Früherkennungsuntersuchungen zur Ermittlung nicht übertragbarer Krankheiten. https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/frueherkennung/vorpruefungen/vorpruefungen_node.html (Zugriff am: 17.08.2022).
- Brix G, Nekolla EA, Griebel J (2020): Früherkennung von Krankheiten mittels radiologischer Bildgebung: Neue Rechtslage und Bewertung von Leistungsangeboten am Beispiel von CT-Untersuchungen. *Rofo*. 192 (2): 139–149. DOI: 10.1055/a-0989-2621.
- BrKrFrühErkV – Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung vom 17. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2660).
- de Koning HJ, van der Aalst CM, de Jong PA et al. (2020): Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial. *N Engl J Med*. 382 (6): 503–513. DOI: 10.1056/NEJMoa1911793.
- Fucito LM, Czabafy S, Hendricks PS et al. (2016): Pairing smoking-cessation services with lung cancer screening: A clinical guideline from the Association for the Treatment of Tobacco Use and Dependence and the Society for Research on Nicotine and Tobacco. *Cancer*. 122 (8): 1150–1159. DOI: 10.1002/cncr.29926.
- Hüsing A, Kaaks R (2020): Risk prediction models versus simplified selection criteria to determine eligibility for lung cancer screening: an analysis of German federal-wide survey and incidence data. *Eur J Epidemiol*. 35 (10): 899–912. DOI: 10.1007/s10654-020-00657-w.
- Hunger T, Nekolla E, Griebel J et al. (2021a): Wissenschaftliche Bewertung und rechtliche Zulassung von radiologischen Früherkennungsuntersuchungen in Deutschland. *Der Radiologe*. 61 (1): 21–27. DOI: 10.1007/s00117-020-00758-3.
- Hunger T, Wanka-Pail E, Brix G et al. (2021b): Lung cancer screening with low-dose CT in smokers: A systematic review and meta-analysis. *Diagnostics*. 11 (6): 1040. DOI: 10.3390/diagnostics11061040.
- Land CE (1981): Statistical limitations in relation to sample size. *Environ Health Perspect*. 42: 15–21. DOI: 10.1289/ehp.814215.
- National Lung Screening Trial (NLST) Research Team (2011): Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med*. 365 (5): 395–409. DOI: 10.1056/NEJMoa1102873.
- Nekolla EA, Brix G, Griebel J (2022): Lung cancer screening with low-dose CT: Radiation risk and benefit-risk assessment for different screening scenarios. *Diagnostics*. 12 (2): 364. DOI: 10.3390/diagnostics12020364.
- Ozasa K, Grant EJ, Kodama K (2018): Japanese Legacy Cohorts: The life span study atomic bomb survivor cohort and survivors' offspring. *J Epidemiol*. 28 (4): 162–169. DOI: 10.2188/jea.JE20170321.
- Perry N, Broeders M, de Wolf C et al. (Hrsg.) (2006): European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis. Fourth Edition.
- Robert Koch-Institut (RKI) und Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (Hrsg.) (2021): Krebs in Deutschland für 2017/2018. Berlin. https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs_in_Deutschland/krebs_in_deutschland_inhalt.html (Zugriff am: 17.08.2022).
- StrlSchG – Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert durch Bekanntmachung vom 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15).
- StrlSchGVwV-Früherkennung – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur wissenschaftlichen Bewertung von Früherkennungsuntersuchungen zur Ermittlung nicht übertragbarer Krankheiten vom 12. Dezember 2018 (BAz AT 14.12.2018 B6).
- Swart E, Robra BP, Dierks ML et al. (1995): Qualitätssicherung durch bessere Kooperationsstrukturen Das Beispiel der dezentralen Früherkennungs-Mammographie. *Geburtshilfe Frauenheilkd*. 55 (10): 559–565. DOI: 10.1055/s-2007-1023524.
- Taylor Jr DH, Hasselblad V, Henley SJ et al. (2002): Benefits of smoking cessation for longevity. *Am J Public Health*. 92 (6): 990–996. DOI: 10.2105/ajph.92.6.990.
- van de Wiel JC, Wang Y, Xu DM et al. (2007): Neglectable benefit of searching for incidental findings in the Dutch-Belgian lung cancer screening trial (NELSON) using low-dose multidetector CT. *Eur Radiol*. 17 (6): 1474–1482. DOI: 10.1007/s00330-006-0532-7.
- WHO – World Health Organization – Regional Office for Europe (2022): A short guide to cancer screening: increase effectiveness, maximize benefits and minimize harm. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/351396> (Zugriff am: 17.08.2022).
- Yau G, Lock M, Rodrigues G (2007): Systematic review of baseline low-dose CT lung cancer screening. *Lung Cancer*. 58 (2): 161–170. DOI: 10.1016/j.lungcan.2007.07.006.

KONTAKT

Dr. Eva R. Wanka-Pail
Bundesamt für Strahlenschutz
Abteilung für medizinischen und beruflichen Strahlenschutz
MBI – Generelle Aspekte des medizinischen Strahlenschutzes und Notfallmanagements
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: ewanka-pail@bfs.de

[BfS]

Management kurzzeitiger Verschmutzungen an Flussbadegewässern – Erkenntnisse aus dem BMBF-Forschungsprojekt FLUSSHYGIENE

Management of short-term pollutions in river bathing waters – Findings of the BMBF research Project FLUSSHYGIENE

ZUSAMMENFASSUNG

Flüsse sind komplexe ökologische Systeme, die eine unterschiedliche Nutzung erfahren. Einerseits bilden sie den Lebensraum vieler Tier- und Pflanzenarten, andererseits gehören sie zu den wichtigsten ökonomischen und infrastrukturellen Einheiten. An Fließgewässer werden somit unterschiedliche Nutzungsansprüche gestellt – mit entsprechenden Auswirkungen. Badegewässer an Flüssen einzurichten und zu managen, stellt daher in mehrfacher Hinsicht eine Herausforderung dar. Strömungen und die Schifffahrt bergen physische Risiken für das Baden im Fluss. Zudem müssen Vorsorge-maßnahmen ergriffen werden, um die Gesundheit der Badenden auch bei einer stark schwankenden hygienischen Wasserqualität zu schützen. Die daraus resultierenden Bemühungen, um ein sicheres Baden in Fließgewässern zu gewährleisten, können sich aber insbesondere für Städte und Metropolregionen lohnen, in denen Seen und Talsperren kaum vorhanden sind oder sich diese nur mit erhöhtem Aufwand für die Bevölkerung erreichen lassen. Vor diesem Hintergrund entstand aus dem BMBF-geförderten Projekt FLUSSHYGIENE (2017–2020) nicht nur ein unterstützender thematischer Leitfaden, sondern es konnte im Zuge dessen auch ein Frühwarnsystem an fünf Berliner Flussbadegewässern erfolgreich eingerichtet und betrieben werden.

ABSTRACT

Rivers are complex, ecological systems with various functions. On the one hand, they play a crucial role in providing habitats for countless animals and plant species. On the other hand, rivers have always been irreplaceable economical and infrastructural essential components. This results into different (human) use, and comes with expectable consequences. Therefore, to install and maintain river bathing waters can be challenging. Stream currents and shipping may pose physical risks for bathers. Moreover, the fluctuating hygienic water quality cannot be underestimated to protect the bather's health, and preventative measures have to be taken. Nonetheless, focused efforts to support river bathing can be rewarding, especially for cities and metropolitan areas that lack of lakes or water reservoirs approved for bathing. In the light of these challenges, the project FLUSSHYGIENE (2017–2020) published guidelines with information and knowledge on management of short-term pollutions, and successfully helped to establish an early-warning system on five bathing waters in Berlin.

ALEXANDRA
SCHMIDT¹,
WOLFGANG SEIS²,
HANS-CHRISTOPH
SELINKA¹

¹ Umweltbundesamt,
² Kompetenzzentrum
Wasser Berlin gGmbH

EINLEITUNG

Flüsse bilden ökologisch wichtige, oberirdische Süßwasseradern. Sie erfahren in Deutschland eine sehr vielfältige Nutzung

und oft handelt es sich, wie zum Beispiel bei Spree oder Rhein, um ökologisch komplexe, multifunktionale Gewässer mit besonders hohem ökonomischen Stellenwert. Flüsse sind wichtige Transportwege der Schifffahrt,



Quelle: Thomas Barwick /
Gettyimages.

über sie erfolgt die Ableitung des geklärten Abwassers aus den Kläranlagen und einige Flüsse dienen sogar der Trinkwassergewinnung. Gleichzeitig sind Flüsse aber auch beliebte Naherholungsgebiete und bedürfen einer guten hygienischen Wasserqualität, um einen höchstmöglichen Gesundheitsschutz für die Bevölkerung zu gewährleisten, insbesondere als Badegewässer.

Die Wasserqualität von Flüssen schwankt jedoch stark und unterliegt einer stetigen Dynamik. Neben Erosionsprozessen im Einzugsgebiet wird sie vor allen Dingen geprägt durch punktuelle Einleitungen von Ab- und Niederschlagswasser, diffuse Stoffeinträge, wie zum Beispiel aus der Landwirtschaft, und gewässerinterne Prozesse. Dazu zählen Sedimentation, biologischer Abbau organischer Substanzen oder Nitrifikation (Grohmann et al. 2011). Zusätzlich verändern physikalische Faktoren wie Abfluss, Zuflüsse und Strömungen den chemischen und mikrobiologischen Stofftransport. Besonders aber

Quantität und Qualität von Einleitungen aus Kläranlagen sowie die Anzahl und Entlastungshäufigkeit der Mischwasserüberläufe im Einzugsgebiet, die im Falle von Starkniederschlägen ungeklärtes Mischwasser in die Flüsse ableiten (TABELLE 1), führen häufig zu kurzzeitigen Verschmutzungen und damit zu Zeiträumen, in denen das Baden in Flüssen ein nicht zu unterschätzendes mikrobiologisches Gesundheitsrisiko darstellt (Kistemann et al. 2016; Mouchel et al. 2020).

BADEGEWÄSSER IN DEUTSCHLAND

Im Jahr 2021 gab es in Deutschland 2.291 EU-Badegewässer (EEA 2022). Badegewässer sind als Oberflächengewässer oder ein Abschnitt davon definiert, „bei dem die zuständige Behörde mit einer großen Zahl von

EINTRAGSPFADE	BAKTERIEN*		HUMANE VIREN*		BAKTERIOPHAGEN*	
	E.coli (MPN / 100 ml)	Intestinale Enterokokken (MPN / 100 ml)	Adenoviren (PCR-Kopien / 100 ml)	Noroviren (PCR-Kopien / 100 ml)	Som.Phagen (PFU / 100 ml)	F+Phagen (PFU / 100 ml)
ZULAUF KLÄRANLAGE	10 ⁶ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁷	10 ⁴ –10 ⁷	10 ⁶ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁶
ABLAUF KLÄRANLAGE (KONVENTIONELL)	10 ³ –10 ⁵	10 ² –10 ⁴	10 ³ –10 ⁴	10 ² –10 ⁵	10 ⁴ –10 ⁵	10 ² –10 ³
ABLAUF KLÄRANLAGE (NACH UV-BEHANDLUNG)	10 ¹ –10 ²	10 ¹ –10 ²	–**	–**	< 10 ¹ –10 ³	< 10 ¹ –10 ²
MISCHWASSERÜBERLÄUFE IN FLUSS (NACH STARKREGEN)	10 ⁶ –10 ⁷	10 ⁵ –10 ⁶	10 ³ –10 ⁵	10 ³ –10 ⁵	10 ³ –10 ⁵	10 ² –10 ⁴
REGENWASSEREINLEITUNG (MIT FEHLANSCHLÜSSEN)	10 ⁴ –10 ⁵	10 ³ –10 ⁴	< 10 ¹ –10 ⁵	< 10 ¹ –10 ⁵	< 10 ¹ –10 ⁵	< 10 ¹ –10 ³
REGENWASSEREINLEITUNG (OHNE FEHLANSCHLÜSSE)	10 ¹ –10 ⁴	10 ² –10 ⁴	< 10 ¹	< 10 ¹	< 10 ¹	< 10 ¹

* Mediane der Konzentrationen basierend auf Daten aus dem FLUSSHYGIENE Projekt.

** Der Effekt der UV-Behandlung ist durch PCR nicht nachweisbar.

Badenden rechnet und für den sie kein dauerhaftes Badeverbot erlassen hat oder nicht auf Dauer vom Baden abrät [...]“ (Art. 1 Abs. 3 2006/7/EG). Die zuständige Behörde steht in der Pflicht, das Badegewässer entsprechend der EU-Badegewässerrichtlinie zu überwachen.

Mit 1.895 Badegewässern lag im Jahr 2021 der Großteil der deutschen Badegewässer an Seen, ein wesentlich kleinerer Teil, 363 Badegewässer, lag an den Küsten von Nord- und Ostsee und lediglich 33 Badegewässer befanden sich an Fließgewässern (EEA 2022). Obwohl die Fließlänge aller deutschen Fließgewässer (mit einem Einzugsgebiet über 10 km²) circa 137.000 km umfasst (UBA 2017), macht die Anzahl der Badegewässer an Flüssen einen fast schon vernachlässigbaren Teil aus. Einen Grund für die geringe Anzahl stellen, neben anderen Gründen wie

starke Strömungen, der Schiffsverkehr, oder Gefahren durch Wasserbauwerke, die kurzzeitigen Verschmutzungen und ihr aufwendiges Management dar.

KURZZEITIGE VERSCHMUTZUNGEN

Die aktuelle EU-Badegewässerrichtlinie definiert kurzzeitige Verschmutzungen als eine mikrobiologische Verunreinigung eines Badegewässers mit eindeutig feststellbarer Ursache, die im Normalfall nicht länger als 72 Stunden andauert. Außerdem muss die das Badegewässer beobachtende Behörde Verfahren zur Vorhersage sowie Abhilfemaßnahmen im Vorhinein festgelegt haben (Art. 2 Punkt 8 2006/7/EG). Tritt eine kurzzeitige Verschmutzung im Sinne der Richtlinie auf und

TABELLE I
Einträge von Mikroorganismen in Fließgewässer.

die festgelegten Abhilfemaßnahmen greifen, kann eine reguläre Probe, die in diesen Zeitraum fällt, verworfen und ersetzt werden. Die Definition, insbesondere das Erfordernis eines Vorhersageverfahrens, schränken die möglichen Anwendungsfälle jedoch entsprechend stark ein. Um eine Vorhersage treffen zu können, ob eine kurzzeitige Verschmutzung zu erwarten ist, ist es notwendig, die Ursachen der hygienisch belasteten Einträge herauszufinden. Nicht selten handelt es sich dabei um ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren, wie zum Beispiel Niederschlagsmenge, Ort des Niederschlages, Anzahl der Mischwasserüberläufe in der Nähe oder sonstiger Einleitungen. Aus diesem multifaktoriellen Zusammenspiel ergibt sich einerseits die Schwierigkeit in der Anwendung des Instrumentes der kurzzeitigen Verschmutzung, andererseits die Notwendigkeit einer faktor-basierten Betrachtung, will man diese Art der Einträge verstehen und in der Überwachung den Vorgaben der Richtlinie nachkommen.

Es stellt sich also die Frage nach möglichen Maßnahmen, die das Baden in Flüssen aus hygienischer Sicht sicher gestalten können.

ERGEBNISSE DES FORSCHUNGSPROJEKTS FLUSSHYGIENE

Das BMBF-geförderte Projekt FLUSSHYGIENE (2017–2020) verfolgte das Ziel der systematischen Erfassung, Modellierung und Risikobewertung von kurzzeitigen Verschmutzungen. Im Vordergrund stand dabei, ein besseres Verständnis dieser dynamischen Einträge zu gewinnen und Maßnahmen herauszuarbeiten, um Badegewässer – vor allem Flussbadegewässer – die anfällig für solche kurzzeitigen Verschmutzungen sind, zu managen.

Anhand mehrerer deutscher Flüsse unterschiedlicher Charakteristika wurden Dynamik und Einträge mikrobiologisch relevanter, hygienischer Belastungen untersucht, ausgewertet und verarbeitet.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen des UBA lag auf kurzzeitigen Verschmutzungseignissen in Berlin, die durch starke Regenfälle ausgelöst wurden. Im Gegensatz zu den Routinemessungen in zeitlich definierten Abständen, in denen die Wasserqualität anhand der bakteriellen Qualitätsindikatoren *E. coli* und intestinale Enterokokken bestimmt wird, wurden gleichzeitig auch umfangreiche Messungen von Indikatoren für Viren und Parasiten durchgeführt.

Neben kontinuierlichen Quellen für Verschmutzungen wie Kläranlagenabläufe gibt es eine Reihe von Verschmutzungen, die zeitlich begrenzt auftreten (TABELLE 1). Aufgrund ihrer Eintragspfade ins Gewässer lassen sich zeitlich begrenzte Verschmutzungen in regenassoziierte und nicht-regenassoziierte Einträge einteilen. Zur Bestimmung des Einflusses von Starkregenfällen auf urbane Fließgewässer wurden im Projekt nach Starkregenfällen gezielte Untersuchungen der hygienischen Wasserqualität über mehrere Tage durchgeführt. Die Experimente zeigen, dass Starkregenfälle die hygienische Wasserqualität urbaner Fließgewässer über mehrere Tage massiv beeinträchtigen können. So waren an einem Sommertag im Jahr 2017 im Flusswasser der Spree wenige Stunden nach einem Starkregenereignis und über mehrere Tage hinweg stark erhöhte Konzentrationen an fäkalen Verunreinigungen (Bakterien und Viren) nachweisbar. Durch die Mischwasserüberläufe erhöhten sich die Konzentrationen an *E. coli* um mehr als 4 Log-Stufen, die Konzentrationen an Adenoviren um circa 3–4 Log-Stufen. Der Wasserstand des Flusses zum Zeitpunkt des Regenereignisses hat dabei einen großen Einfluss, da die Mischung und somit Verdünnung des eingetragenen kontaminierten Wassers mit sauberem Flusswasser eine wichtige Rolle bei der Reduktion der Konzentration an Indikatorbakterien und potenziellen Krankheitserregern spielt. Geringere Abflüsse führen dadurch oft zu einer längeren Zeitspanne für die Abbauprozesse und einer zeitlichen Ausdehnung der Kontaminationen. Bei Verschmutzungsquellen,

die weit vom Badegewässer entfernt sind, können diese Kontaminationen das Badegewässer oft erst nach mehreren Stunden oder Tagen erreichen. Die Belastungen solcher Starkregenereignisse sind daher stark standort- und ereignisspezifisch. Bei Verschmutzungsquellen, die sich nahe am Badegewässer befinden und sich schnell auf das Badegewässer auswirken, bringt die Untersuchung auf Viren jedoch keine zusätzlichen Informationen. In diesen Fällen ist die Untersuchung der Indikatorbakterien ausreichend.

Essenziell für die Einschätzung der hygienischen Qualität der Badegewässer nach EU-Badegewässerrichtlinie sind bisher allein die regelmäßigen Messungen der bakteriologischen Parameter (*E. coli* und intestinale Enterokokken), die zwar eine Gesamtaussage über die Langzeitqualität eines Badegewässers geben, aber kurzzeitige Verschmutzungen aufgrund festgelegter Messtage oft nicht frühzeitig genug erfassen.

VORHERSAGE KURZZEITIGER VERSCHMUTZUNGEN

Während der Überwachungs- und Bewertungsansatz der EU-Badegewässerrichtlinie geeignet ist, Badegewässer mit relativ stabiler Wasserqualität zu bewerten, ist die rein formale Umsetzung der Richtlinie an Fließgewässern, vor allem Flüssen, die starken täglichen und jährlichen Schwankungen unterworfen sein können, aus hygienischer Sicht kritisch zu betrachten. Defizite existieren in folgenden Bereichen (Seis et al. 2019):

1 Aufgrund der langen Analysenzeit von 24 bis 48 Stunden sind die aktuell eingesetzten Messmethoden für Indikatororganismen für eine Nutzung als Frühwarnsystem ungeeignet, denn der vorliegende Messwert spiegelt lediglich die Wasserqualität von vor einigen Tagen wider. Warnungen auf Basis dieser Werte kommen folglich zu spät.

2 An Fließgewässern sind Messwerte hinsichtlich der lokalen Wasserbeschaffenheit aufgrund des kontinuierlichen Wasseraustauschs nur für kurze Zeiträume repräsentativ.

3 Da in der Regel nur einmal pro Monat beprobt werden muss, ist davon auszugehen, dass die meisten Verschmutzungsereignisse zwischen zwei Probennahmen stattfinden und somit nur zufällig erfasst werden.

4 Es kann aufgrund der stark ausgeprägten jährlichen Variabilität der Niederschlagsmenge zu deutlichen Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Langzeitbewertung und der tatsächlichen Belastung in der aktuellen Badesaison kommen. So kann bei einem Badegewässer, das nach einigen regenarmen Jahren die Qualitätseinstufung „ausgezeichnet“ erhalten hat, in der nächsten regenreichen Badesaison eine erhöhte fäkale Belastung mit Erkrankungsrisiko für die Badenden auftreten.

Darüber hinaus werden in der aktuellen Fassung der EU-Badegewässerrichtlinie keine einzelwertbezogenen Grenzwerte definiert, die als Warnschwelle für klassische Klassifikationsmodelle herangezogen werden könnten. Die Bewertung der Wasserqualität findet ausschließlich auf Basis berechneter Perzentile einer Lognormalverteilung statt.

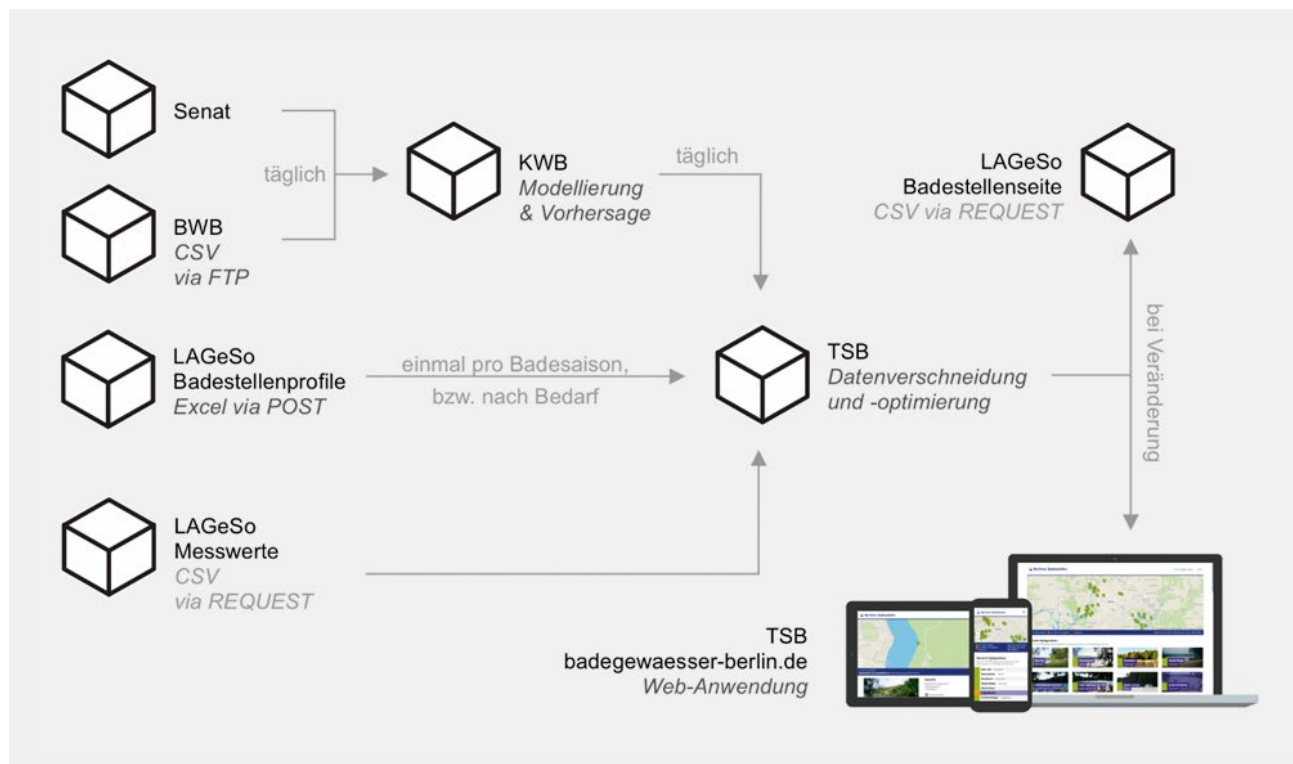
Aufgrund dieser Defizite wurde im Projekt FLUSSHYGIENE eine innovative Methode entwickelt, die den wahrscheinlichkeitsbasierten Bewertungsansatz der Langzeitbewertung auf eine tägliche Vorhersage der Badegewässerqualität überträgt (Seis et al. 2018). Diese Methode beruht auf einem regressionsbasierten Ansatz, mit dem die Perzentile einer Lognormalverteilung vorhergesagt und validiert werden. In Berlin werden hierfür die Vorhersagenvariablen Regen, Durchfluss und entlastetes Regenwettervolumen aus dem Entwässerungssystem genutzt. Diese Eingangsgrößen liegen zeitlich hochaufgelöst vor, sodass die Bevölkerung

zeitnah über kurzzeitige Verschmutzungen informiert werden kann. Der Vorhersageansatz wurde in Berlin über vier Jahre (2016–2019) validiert und wird seitdem vom Berliner Landesamt für Gesundheit und Soziales (LAGeSo) genutzt, um die Berliner Bevölkerung über die aktuelle Badegewässerqualität zu informieren (ABBILDUNG 1, <https://badestellen.berlin.de/>).

Aufgrund der positiven Erfahrungen wurde der Ansatz von anfangs zwei Berliner Badestellen (kleine Badewiese, Grunewald-

turm) auf mittlerweile fünf (Lieber Bucht, Radfahrerwiese, Breitehorn) ausgeweitet. In den Projekten *iBathWater* und *Digital Water City* wird der Ansatz auf anvisierte Badestellen in der Pariser Seine und dem Berliner Innenstadtbereich übertragen. Kurze erklärende Videos, produziert von den FLUSSHYGIENE-Projektpartnern, über die grundlegende Problematik von kurzzeitigen Verschmutzungen und das neu implementierte Frühwarnsystem sind im Internet verfügbar (<https://youtu.be/G02JLwsBe4A>).

ABBILDUNG 1
Datenfluss des im Projekt FLUSSHYGIENE entwickelten Prototypen des Frühwarnsystems in Berlin. Quelle: Seis et al. 2019



LEITFADEN FLUSSBADEGEWÄSSER

Die wichtigsten Erkenntnisse des 2019 mit dem Berliner AQUA AWARD ausgezeichneten Projekts FLUSSHYGIENE hinsichtlich Maßnahmen zum Umgang mit kurzzeitigen Verschmutzungen an Flussbadegewässern wurden in einem UBA-Leitfaden zusammengefasst (UBA 2020). Darin werden Möglich-

keiten vorgestellt, die Badenden während mikrobiologischer Verschmutzungsereignisse in Flussbadegewässern zu schützen und Maßnahmen beschreiben, um längerfristig eine bessere hygienische Wasserqualität zu erreichen. Der UBA-Leitfaden ergänzt damit den aus dem BMBF-geförderten Vorgängerprojekt SICHERE RUHR (2021–2015) entstandenen Leitfaden (Schoenemann und Jardin 2015) und richtet sich speziell an Behörden

und Institutionen sowie an Interessenverbände, die sich mit dem Thema Flussbaden beschäftigen.

Zum einen werden im UBA-Leitfaden grundlegende Aspekte von (Fluss-)Badegewässern beleuchtet, inklusive der rechtsverbindlichen Systematik, nach denen Badegewässer jährlich anhand der EU-Badegewässerrichtlinie bewertet werden – dies schließt die mitunter teils komplizierte Anwendung der kurzzeitigen Verschmutzung mit ein. Zum anderen werden Methoden der Ursachenerforschung zu hygienisch belasteten Einträgen sowie Maßnahmen, diese zu regulieren, beschrieben. Vorgestellt und miteinander verglichen werden zudem drei derzeit erprobte Vorhersage- beziehungsweise Frühwarnsysteme:

- Frühwarnsysteme auf Basis statistischer Regressionsmodelle,
- Klassifikationsmodelle sowie
- Entscheidungsbäume.

Zusätzlich wurden im Projekt FLUSSHYGIENE ein kurzer Praxisleitfaden mit Beispielen zum formalen Vorgehen zur Eröffnung von Flussbadestellen (Raber et al. 2018) sowie technische Maßnahmensteckbriefe zur Verbesserung der hygienischen Badegewässerqualität in Fließgewässern (Thöne et al. 2018) veröffentlicht.

AUSBLICK

Der Klimawandel mit länger anhaltenden Dürreperioden, gleichzeitig aber der erhöhten Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkniederschlägen sowie die zunehmende Flächenversiegelung in Großstädten, die zu weniger Versickerung und mehr Oberflächenabfluss führt, sind nur zwei Beispiele, die Hinweise darauf geben, dass die Nutzung von Flüssen als Badegewässer eines besonderen Managements bedarf. Vorhersagesysteme, die Badende vor kurzzeitigen Verschmutzungen warnen, sind ein essenzieller Baustein dieses Managements. Zusammen



ABBILDUNG 2

Leitfaden Flussbadegewässer“

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-umgang-kurzzeitigen-verschmutzungen-in>

mit dem aus den Forschungsprojekten aggregierten Wissen sowie der Erfahrung der fünf in ein Vorhersagesystem eingebundenen Berliner Badegewässer, kann interessierten Behörden und Institutionen mittlerweile eine Auswahl an verschiedenen Möglichkeiten zur Verfügung gestellt werden, wie auch Flüsse sichere Badegewässer werden können. Ob und inwieweit die EU-Badegewässerrichtlinie zukünftig die Vorgaben zum Umgang mit kurzfristigen Verschmutzungen und an Vorhersagesysteme konkretisieren wird, bleibt abzuwarten. Die Entwicklung hin zu modellbasierten Frühwarnsystemen nimmt in der Zwischenzeit weiterhin Fahrt auf. ●

LITERATUR

EEA – European Environment Agency (2021): Daten der Europäischen Badegewässer der Jahre 1990–2021. <https://www.eea.europa.eu/themes/water/data-and-maps/data/bathing-water-directive-status-of-bathing-water-14> (Zugriff am: 15.06.2022).

EU – Europäische Union (2006): Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.

Grohmann AN, Jekel M, Szwedzyk R et al. (2011): Wasser. Chemie, Mikrobiologie und nachhaltige Nutzung. De Gruyter. Berlin, Boston.

Kistemann T, Schmidt A, Flemming HC (2016): Post-industrial river water quality—Fit for bathing again? International Journal of Hygiene and Environmental Health 219 (7): 629–642. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.07.007.

Mouchel JM, Lucas FS, Moulin L et al. (2020): Bathing Activities and Microbiological River Water Quality in the Paris Area: A Long-Term Perspective. In: Flipo N, Labadie P, Lestel L (eds): The Seine River Basin. (The Handbook of Environmental Chemistry, Vol 90). Springer. Cham: 323–353. DOI: 10.1007/698_2019_397.

UBA – Umweltbundesamt (2017): Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung. Dessau-Roßlau <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gewaesser-in-deutschland> (Zugriff am: 15.06.2022).

UBA – Umweltbundesamt (2020): Leitfaden zum Umgang mit kurzzeitigen Verschmutzungen in Flussbade-gewässern. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-umgang-kurzzeitigen-verschmutzungen-in> (Zugriff am: 30.08.2022).

Schoenemann B, Jardin N (2015): Baden in Fließgewässern. Ein Handlungsleitfaden am Beispiel des Baldey-sees & der Unteren Ruhr im Rahmen des BMBF-Projekts Sichere Ruhr. Essen. <https://sichere-ruhr.de/category/ueber-das-projekt/presse-downloads/publikationen/> (Zugriff am: 30.08.2022).

Raber W, Bösch U, Schön S (2018): Eröffnung neuer Flussbadestellen – Praxisleitfaden am Beispiel der Berliner Vorstadtpree. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/praxisleitfa-den_eroeffnung_neuer_flussbadestellen-januar_2019.pdf (Zugriff am: 30.08.2022).

Seis W, Zamzow M, Caradot N et al. (2018): On the implementation of reliable early warning systems at European bathing waters using multivariate Bayesian regression modelling. Water Research 143: 301–312. DOI: 10.1016/j.watres.2018.06.057.

Seis W, Meier S, Osaki M et al. (2019): Entwicklung eines Frühwarnsystems für die Berliner Unterhavel. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft September 2019 (9).

Thöne V et al. (2018): Maßnahmensteckbriefe: Maßnahmen zur Verbesserung der hygienischen Badegewässer-qualität in Fließgewässern, BMBF-Forschungsprojekt FLUSSHYGIENE. <https://bmbf.nawam-rewam.de/produkt/massnahmensteckbriefe/> (Zugriff am: 30.08.2022).

KONTAKT

Alexandra Schmidt
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.4 „Mikrobiologische Risiken“
Corrensplatz 1
14915 Berlin
E-Mail: alexandra.schmidt@uba.de

[UBA]

Europäische Human-Biomonitoring Initiative erfolgreich abgeschlossen

European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU) successfully completed

ZUSAMMENFASSUNG

2017 wurde die Europäische Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU) mit dem Ziel gestartet, die Schadstoffbelastung der EU Bevölkerung systematisch zu erfassen. Die Belastungen der europäischen Bevölkerung mit einer Vielzahl von Umweltschadstoffen wurden erstmals vergleichbar ermittelt, bewertet und bereitgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Belastungen der EU-Bevölkerung mit vielen Schadstoffen, wie etwa bestimmten Weichmachern und per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), zu hoch sind, und gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können. Die Erkenntnisse werden an die politischen Entscheidungsträger weitergegeben und sollen bei der Verbesserung der Chemikalien-, Umwelt- und Gesundheitspolitik unterstützen, sodass letztlich gesundheitsrelevante chemische Belastungen minimiert werden. Der folgende Artikel gibt eine Übersicht über die wichtigsten Projektergebnisse.

PHILIPP WEISE,
KIM LAURA PACK,
PETRA APEL, ROSA LANGE,
LENA REIBER,
MARIKE KOLOSSA-GEHRING

ABSTRACT

In 2017, the European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU) was launched to advance human biomonitoring in Europe and to provide better evidence of the actual exposure of citizens to chemicals and its related health effects. The exposure data of the European population to a wide range of environmental pollutants were collected, assessed and made available in a comparable way for the first time. The results show that the exposure of the EU population to many pollutants, such as certain plasticizers and per- and polyfluoro-alkyl substances (PFAS), is too high and health effects cannot be excluded with sufficient certainty. The findings will be shared with policy makers to assist in improving chemical, environmental, and health policies to ultimately minimize chemical exposures that could affect health. The following article provides an overview of the main project findings.

Die europäische Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU) hat seit 2017 die Belastung der Menschen mit Umweltschadstoffen und deren gesundheitliche Auswirkungen erforscht. HBM4EU ist ein gemeinsames Projekt von 30 Ländern, der europäischen Umweltagentur EEA und der europäischen Kommission. Es wird von der EU ko-finanziert, vom Umweltbundesamt (UBA) koordiniert und in diesem Jahr abgeschlossen.

Human-Biomonitoring (HBM) ist ein Werkzeug der gesundheitsbezogenen Umweltbeobachtung, mit dem human-biologisches Material wie Blut oder Urin unter anderem auf seine Belastung mit Schadstoffen untersucht wird (Belastungs-Monitoring). Durch diese Untersuchungen, angewandt an repräsentativen Gruppen der Allgemeinbevölkerung oder bestimmten Berufsgruppen, kann die innere Schadstoffbelastung der Menschen,



Quelle: Susanne Kam-
bor.

die aus verschiedenen Quellen wie zum Beispiel Atemluft, Nahrung oder Alltagsgegenständen stammen kann, abgeschätzt und mit Hilfe von Beurteilungswerten sowie weiteren Informationen zum Beispiel zu Effektmarkern bewertet werden (Angerer et al. 2007).

Die Initiative trägt direkt zur Verbesserung der Gesundheit und des Wohlbefindens der Bevölkerung bei: Sie untersucht, wie die Belastung mit Umweltschadstoffen die Gesundheit verschiedener Gruppen – zum Beispiel von Kindern, Schwangeren und Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern beeinflusst. Bei der Interpretation der Daten werden auch Faktoren wie Verhalten, Lebensstil etc. berücksichtigt, sodass Empfehlungen zu einer Minimierung der Exposition gegenüber bestimmten Stoffen abgeleitet und weitergegeben werden können.

Hauptziel von HBM4EU war es, das Wissen über die Belastung der Bevölkerung und der damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen in verständlicher Form an die politischen Entscheidungsträger weiterzugeben, um sie effektiv bei ihren Bemühungen zu unterstützen, die Chemikaliensicherheit in Europa zu verbessern. Weitere Ziele waren die Harmonisierung der dafür notwendigen Prozesse in den Teilnehmerländern und auf EU-Ebene sowie die Entwicklung von neuen Methoden zur Erfassung von Belastungen des Menschen mit Umweltschadstoffen. Der folgende Artikel gibt eine Übersicht über die Ergebnisse des Projekts. Die vollständige Darstellung der einzelnen Forschungsbereiche und der Ergebnisse finden sich auf der Projekt Website www.hbm4eu.eu.

EINE EUROPÄISCHE INITIATIVE

Obwohl bereits vor 2017 in einigen europäischen Ländern umfangreiche HBM-Daten erhoben wurden, waren die verfügbaren Informationen oft fragmentiert und nicht immer ausreichend vergleichbar. Umwelt-, Chemikalien- und Gesundheitspolitik wird aber in vielen Bereichen länderübergreifend auf EU-Ebene gemacht. Daher ist es notwendig, EU-weit vergleichbare Daten zu erheben. Ein zentrales Ziel von HBM4EU war deshalb, alle relevanten Prozesse und Methoden zu harmonisieren und damit belastbare Daten für die Politikberatung zu liefern.

PRIORISIERUNG ZU UNTERSUCHENDER UMWELTSCHADSTOFFE

Die Auswahl der prioritären Stoffe war eine zentrale Aufgabe, da das gesamte Forschungsprogramm speziell darauf ausgerichtet werden sollte, von Partnerländern und EU-Institutionen festgelegte politikberatungsrelevante Fragen zu beantworten. Dazu wurde zu Beginn des Projekts eine Strategie zur Priorisierung, unter Berücksichtigung des Informationsbedarfs der politisch Verantwortlichen und Risikobewerterinnen und Risikobewerter sowie der gemeinsamen nationalen Anforderungen der teilnehmenden Ländern, erarbeitet (Ougier et al. 2021). Bei den 18 Substanzen und Substanzgruppen der beiden Priorisierungsrunden handelt es sich um Phthalate und den Phthalat-Ersatzstoff Hexamoll® DINCH, Bisphenole, wie Bisphenol A, S und F, Flammschutzmittel, per- und polyfluorierte Verbindungen (PFASs), die Schwermetalle Cadmium und Chrom VI, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), Stoffe der Anilin-Familie wie 4,4'-Methylenbis(2-chloranilin) (MOCA), Acrylamid, aprotische Lösemittel, Arsen, Diisocyanate, Blei, Quecksilber, Mykotoxine, verschiedene Pestizide und chemische UV-Filter. Für jede dieser Substanzen/

Substanzgruppen wurden Berichte (HBM4EU 2022a), sogenannte „Scoping Dokumente“, erstellt, die Informationen über Gefahren, Exposition, rechtlichen Status sowie HBM4EU Aktivitäten zusammenfassen.

HARMONISIERUNG

Einen wichtigen Teil der Projektergebnisse machen die verschiedenen Dokumente aus, die in internationaler Kooperation entwickelt wurden. Neben den Formaten, die im Rahmen des „Wissenszentrums“ für die Öffentlichkeitsarbeit und die Information von Politikverantwortlichen und Interessensvertretungen entwickelt wurden, wurden mit Beiträgen aus den teilnehmenden Ländern unter anderem auch Leitfäden und Vorlagen für die Planung und Durchführung von HBM-Studien erstellt. Dies diente zwei Zielen:

- einen Standard für die Angleichung von bereits vorhandenen HBM Studien zu erstellen wie im Rahmen der sogenannten „Aligned Studies“ geschehen (Gilles et al. 2021),
- einen Beitrag zur Standardisierung von zukünftigen HBM-Studien zu schaffen und deren Daten somit so vergleichbar wie möglich zu machen.

Die entwickelten Materialien umfassen übergreifende Dokumente, wie das Konzept für ein allgemeines Studienprotokoll und die Vorlage für ein Feldarbeitshandbuch, aber auch Fragebögen zu Lebens- und Konsumgewohnheiten für drei Altersgruppen, die die meisten der im Projekt priorisierten Substanzen und Substanzgruppen abdecken, Standardarbeitsanweisungen für die Auswahl von Teilnehmenden, die Qualitätssicherung, die Entnahme von Humanproben und den Austausch beziehungsweise Transport von Proben. Zusätzlich wurden Vorlagen für Kommunikationsmaterialien für die Teilnehmenden entwickelt, so etwa Einladungsbriefe, Erinnerungskarten und Ergebnismitteilungen. Um die Materialien dauerhaft

verfügbar zu machen, wurden sie auf der von der EU-Kommission unterstützten Plattform Zenodo (Zenodo 2022) veröffentlicht.

Ein großer Erfolg von HBM4EU ist der Aufbau eines Labornetzwerks, das höchste Qualitätsanforderungen erfüllt. Im Rahmen von HBM4EU wurde mit Hilfe eines Projektes zur Qualitätssicherung/Qualitätskontrolle (QA/QC) ein Netzwerk europäischer Laboratorien aufgebaut, das Analysedaten von höchster Qualität und Vergleichbarkeit liefert. Das QA/QC-Programm ermöglichte es, Schwierigkeiten bei der HBM-Analyse zu ermitteln und weitestgehend auszuräumen sowie die Analysekapazitäten der europäischen Laboratorien zu identifizieren. Darüber hinaus ist der erste Schritt zum Aufbau eines nachhaltigen europäischen Netzes von HBM-Laboratorien (Esteban López et al. 2021) gemacht.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein beim Aufbau von HBM4EU war die Einrichtung von nationalen HBM-Expertengremien – sogenannte National Hubs – in allen teilnehmenden Ländern. Die National Hubs bilden die Grundlage für ein gesamteuropäisches Human-Biomonitoring, indem sie die Expertise des jeweiligen Landes bündeln und koordinieren. Im Rahmen des Projektes wurden die nationalen Anforderungen in das Projekt eingespeist und gleichzeitig profitierten die National Hubs von den Ergebnissen von HBM4EU. Der deutsche National Hub setzte sich aus der HBM-Kommission, aus Vertreterinnen und Vertretern der deutschen HBM4EU-Partner und weiterer im Bereich der Chemikalienregulierung tätigen Behörden zusammen.

BEREITSTELLUNG DER BELASTUNGSDATEN DER EUROPÄISCHEN BEVÖLKERUNG

Im Rahmen der HBM4EU Aligned Studies wurden im großen Umfang Daten zur Be-

lastung der europäischen Bevölkerung und der damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen erhoben. Die aus der Studie gewonnenen Daten tragen zur Überprüfung bestehender Regulierungen und zur Weiterentwicklung der Umwelt- und Chemikalienpolitik bei (Gilles et al. 2021; Gilles et al. 2022).

Die auf nationaler Ebene gesammelten Daten wurden harmonisiert und über die Informationsplattform der Europäischen Kommission für die Überwachung von Chemikalien (IPCHEM) zur Verfügung gestellt. Für viele der untersuchten Umweltschadstoffe sind die Ergebnisse in Form von peer-reviewed open-access Fachartikeln bereits frei verfügbar oder sie befinden sich derzeit in Finalisierung.

Besonders hervorzuheben ist die Veröffentlichung und Bereitstellung der Daten für interessierte Forscherinnen und Forscher und die interessierte Öffentlichkeit über das HBM4EU Dashboard (HBM4EU 2022b). Über die Website können zusammenfassende Statistiken aus HBM-Datensammlungen, die im Rahmen des HBM4EU-Projekts gewonnen wurden, visualisiert werden, sodass Expositions-niveaus und Trends bei der Chemikalienexposition europäischer Bürgerinnen und Bürger untersucht werden können. Das Interface bietet diverse Filterfunktionen (Substanzgruppe, Biomarker, Matrix, Land, Population und diverse weitere Stratifizierungsoptionen) und ermöglicht eine schnelle Auswahl der gewünschten Belastungsdaten der priorisierten Substanzgruppen.

Die erhobenen Belastungen der Bevölkerung sind teilweise alarmierend: Bei vielen der untersuchten Stoffe, wie beispielsweise polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), Bisphenolen (BPA), Phthalaten, Cadmium, Acrylamid, Mykotoxinen oder Chemikaliengemischen wurden für nennenswerte Teile der untersuchten Bevölkerung aus ganz Europa Belastungen nachgewiesen, die so hoch sind, dass Gesundheitsrisiken nicht mehr sicher ausgeschlossen werden können. Zusätzlich gemessene Belastungen mit

kanzerogenen Substanzen fallen dabei mit einem zusätzlichen Lebenszeitrisko für Krebs besonders ins Gewicht. Die Ergebnisse sprechen für ein nachhaltiges, europaweites Monitoring, welches in die Gesetzgebung integriert werden sollte, um so langfristig die chemische Belastung der europäischen Bürgerinnen und Bürger zu überwachen und damit kontinuierlich den Erfolg ergriffener Minimierungsmaßnahmen und Handlungsbedarf seitens der Politik zu identifizieren.

HBM- BEURTEILUNGSWERTE

Darüber hinaus wurde eine Strategie zur Ableitung von gesundheitsbezogenen Beurteilungswerten, sogenannten HBM guidance values (HBM-GVs), gemeinsam und unter Beteiligung aller Expertinnen und Experten, die die HBM4EU National Hubs einbeziehen wollten, entwickelt (Apel et al. 2020b), so dass nun die toxikologische Beurteilung der erhobenen Daten harmonisiert und anwenderfreundlich erfolgen kann. Zur Bewertung der HBM-Ergebnisse können die Messwerte direkt mit den HBM-GVs verglichen werden. HBM-GVs wurden für die Allgemeinbevölkerung und auch für beruflich exponierte Erwachsene abgeleitet.

Die für die Allgemeinbevölkerung abgeleiteten HBM-GVs (HBM-GV_{GenPop}) stellen die Konzentration eines Stoffes oder seiner spezifischen Metaboliten im human-biologischen Material dar, bei der nach derzeitigem Kenntnisstand für die Wirkung dieses Einzelstoffes kein Risiko einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zu erwarten ist und folglich kein Handlungsbedarf auf Einzelstoffebene besteht. Sie entsprechen den HBM-I-Werten der deutschen Human-Biomonitoring-Kommission (Angerer et al. 2011; Apel et al. 2017). Die für beruflich exponierte Erwachsene abgeleiteten HBM-GVs (HBM-GV_{Worker}) stellen eine Konzentration eines Stoffes oder seiner relevanten Metaboliten im human-biologischen Material dar, die darauf abzielt, Arbeitnehmer, die dem jeweiligen Stoff re-

gelmäßig (an jedem Arbeitstag) und im Laufe eines Arbeitslebens ausgesetzt sind, vor den schädlichen Auswirkungen einer mittel- und langfristigen Exposition zu schützen.

Die abgeleiteten HBM-GVs wurden zunächst im Rahmen des HBM4EU-Projekts angewendet, stehen nun aber allen nationalen, europäischen und internationalen Regulatorischen Behörden und Risikobewertern zur Verfügung.

HBM4EU hat die HBM-GVs auch zur Entwicklung sogenannter Wirkungsindikatoren verwendet, die die körperliche Belastung und mögliche Gesundheitsrisiken auf einfache und leicht zugängliche Weise grafisch darstellen und so zur Information eines breiteren Publikums beitragen. Die Indikatoren für die Auswirkungen auf die Gesundheit nutzen die 95sten Perzentile ausgewählter Studien und vergleichen diese mit den HBM-GVs.

Bis heute wurden HBM-GVs für Phthalate (Lange et al. 2021), Bisphenol A und S (Ougier et al. 2021; Meslin et al. 2022), Cadmium (Lamkarkach et al. 2021) und aprotische Lösemittel (David et al. 2021; Lamkarkach et al. 2022) erarbeitet und veröffentlicht. Abgestimmte HBM-GVs für Deltamethrin und Cyfluthrin werden in Kürze veröffentlicht.

AUSWIRKUNGEN DER BELASTUNG AUF DIE GESUNDHEIT

Neben der Erfassung der EU-weiten Belastung lag ein weiterer Schwerpunkt von HBM4EU auf der Erforschung der gesundheitlichen Auswirkungen der Schadstoffbelastungen, für die noch zu große Wissenslücken bestehen.

Ein Forschungsbereich untersuchte, wie Gesundheitsinformationen und HBM-Studien erfolgreich kombiniert werden können, um so unser Verständnis der Expositions-Wirkungs-Beziehung zu verbessern (Tolonen et al. 2022). Im Rahmen der Arbeiten wurden Leitlinien und standardisierte Instrumente für die Erhebung von HBM- und Gesundheitsdaten erarbeitet.

In einem anderen Bereich wurden HBM-Daten mit Daten aus der Umweltüberwachung und externer Expositionsmodellierung verknüpft, um ein besseres Verständnis des Verhältnisses von innerer Belastung und äußerer Exposition zu gewinnen und mit diesen Informationen das Risikomanagement sinnvoll weiterzuentwickeln (Sarigiannis et al. 2019).

Eine andere Forschungsgruppe untersuchte Zusammenhänge zwischen der Exposition und den gesundheitlichen Auswirkungen für den Menschen mit Hilfe von zwei sich ergänzenden Ansätzen. Zum einen nutzte sie Kohorten, für die sowohl Expositions- als auch Gesundheitsdaten verfügbar sind, um neue Expositions-Gesundheits-Assoziationen zu identifizieren. Zum anderen wurden Adverse Outcome Pathways (AOPs) entwickelt und untersucht, wie beispielsweise für die Flammenschutzmittel (Negi et al. 2021). AOPs sind eine Methode zur Veranschaulichung einer Verkettung von ursächlich zusammenhängenden Ereignissen, die bei molekularen Reaktionen zwischen einem Schadstoff und den natürlich im Körper vorhandenen Molekülen beginnt und über mehrere Schritte eine Verknüpfung mit schädlichen Auswirkungen für Organismen oder die Umwelt herstellt. Die mechanistischen Erkenntnisse können bei der Risikobewertung von Chemikalien unterstützen, insbesondere in Fällen, in denen nur wenige, mit standardisierten Tests erhobene Daten zur Toxizität vorliegen.

Als wertvolle Prädiktoren für unerwünschte gesundheitliche Auswirkungen wurden in HBM4EU eine Reihe von Effekt-Biomarkern erforscht (Zare Jeddi et al. 2021; Mustieles et al. 2022) und in den HBM-Studien, wie den Aligned Studies und den Arbeitsplatzstudien (Occupational Studies) implementiert. Effekt-Biomarker erfassen reproduzierbare und quantifizierbare Veränderungen, die ein objektives Maß für den Gesundheitszustand oder eine Krankheit nach der Exposition darstellen. Mit ihrer Hilfe lassen sich somit Zusammenhänge zwischen der Exposition und den damit verbundenen gesundheitlichen Folgen aufklären. Die untersuchten Effekt-Biomarker für die

priorisierten Umweltschadstoffe umfassen Wirkungen im Zusammenhang mit der neurologischen Entwicklung, Reproduktion, endokrinen Wirkungen, Fettleibigkeit, Stoffwechselkrankheiten und Allergien sowie andere klinisch relevante Ergebnisse.

Ein weiterer Arbeitsbereich beschäftigt sich mit der Untersuchung von Chemikaliengemischen. Die Belastungsdaten zeigen, dass die untersuchten Proben gleichzeitig eine Vielzahl von Umweltschadstoffen enthalten. Welche Auswirkungen die gleichzeitige Belastung mit verschiedenen Substanzen haben, ist Gegenstand aktueller Untersuchungen (Drakvik et al. 2020; Apel et al. 2020a; Socianu et al. 2022). Die Ergebnisse zeigen jedoch deutlich, dass es notwendig ist, die Mischungseffekte stärker in der Chemikalienregulierung zu berücksichtigen.

KOMMUNIKATION DER ERGEBNISSE

Ein wichtiger Erfolg von HBM4EU ist die zielgerichtete Verbreitung der Ergebnisse. Zu Beginn des Projekts wurde dazu das Wissenszentrum (Knowledge Hub) eingerichtet. An der Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Politik und Gesellschaft arbeitete es an der bestmöglichen Nutzung und Aufbereitung der Ergebnisse.

Für die politischen Entscheidungsträger wurden beispielsweise Kurzdarstellungen (Toxizität, Exposition und Regulierung) der priorisierten Substanzen samt politikrelevanter Synthese der Gesamtergebnisse erarbeitet. Diese *Policy Briefs* sind auf spezifische politische Prozesse auf europäischer Ebene und in den Mitgliedstaaten ausgerichtet, einschließlich der europäischen Chemikalienverordnung REACH und relevanter sektoraler Politiken und stellen die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus HBM4EU für die weitere Regulation zusammen.

Hauptsächlich an die Wissenschaft adressiert sind hingegen die *Research Briefs* und *Deliverables*, welche aus Forschungsberichten mit aktuellen Informationen zu bestimmten

Bereichen des HBM4EU-Projekts bestehen. Für die allgemeine Bevölkerung stehen vielfältige Informationsmaterialien auf der Website in der Rubrik „Citizens Corner“ bereit. Hier finden sich zum Beispiel Erklärvideos, Factsheets und Infografiken.

Der zentrale Anlaufpunkt für alle HBM4EU-Materialien ist die Website. Dort findet sich auch die HBM4EU-Online Bibliothek. Sie bietet Zugang zu Leitlinien, Methoden, Protokollen und Forschungsergebnissen. Dazu gehören sowohl Protokolle, die im Rahmen des HBM4EU entwickelt wurden, als auch andere relevante, öffentlich verfügbare Anleitungen und Materialien.

FAZIT

In den fünfeinhalb Jahren der Initiative wurde ein europaweites, komplexes Forschungsnetzwerk aufgebaut. HBM-Daten wurden EU-weit zusammengeführt, neu erhoben und gemeinsam analysiert, Methoden harmonisiert und wo nötig entwickelt. Europäische toxikologisch begründete Beurteilungswerte wurden nach einem festgelegten Ableitungs- und Abstimmungsprozess festgelegt. Diese erlauben zusammen mit den Belastungsdaten nun eine auf einer EU-weiten Beteiligung von Fachleuten beruhenden Beurteilung, ob die Belastung der Menschen in Europa mit den untersuchten Umweltschadstoffen Anlass zur Besorgnis gibt.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass für den Großteil der prioritären Stoffe und Stoffgruppen bei einem Teil der Menschen in Europa die Belastung so hoch ist, dass entweder gesundheitliche Wirkungen nicht mehr mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können oder durch die inneren Belastungen ein zusätzliches Krebsrisiko besteht. Mit den harmonisierten und qualitätsgesicherten Daten liegen nun erstmals belastungsfähige Informationen über die tatsächliche innere Belastung der Menschen in Europa vor. Damit hat HBM4EU auch den Nachweis geführt, dass im Bereich der Chemikalienpolitik noch Verbesserungsbedarf besteht.

Mit den HBM4EU-Daten ist zudem die Basisbelastung erfasst worden, gegen die der Erfolg der im Europäischen Green Deal beschriebenen EU-Strategien zur Chemikalien-Politik gemessen werden kann.

HBM4EU hat die Basis für ein europaweites HBM gelegt, dessen Ergebnisse bereits erfolgreich zur Gestaltung von Gesundheits-, Umwelt- und Chemikalienpolitik beigetragen haben und weiterhin beitragen werden. Das langfristige Ziel der Initiative, aus HBM4EU eine globale Kooperation im Human-Biomonitoring zu etablieren, ist ein großes Stück näher gerückt.

HINWEIS

Der Artikel gibt nur eine Übersicht der Ergebnisse von HBM4EU wieder. Eine vollständige Darstellung der einzelnen Forschungsbereiche findet sich auf der Projekt Website www.hbm4eu.eu. Dort sind auch sämtliche wissenschaftliche Veröffentlichungen verlinkt. Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts, wie zum Beispiel die Belastungsdaten der EU-Bevölkerung und deren toxikologisch-gesundheitliche Bewertung, werden in Form eines HBM4EU – Special Issue im vierten Quartal 2022 veröffentlicht werden. ●

LITERATUR

- Angerer J, Aylward LL, Hays S et al. (2011): Human biomonitoring assessment values: approaches and data requirements. *Int J Hyg Environ Health*. 214 (5): 348–360. DOI: 10.1016/j.ijheh.2011.06.002.
- Angerer J, Ewers U, Wilhelm M (2007): Human biomonitoring: state of the art. *Int J Hyg Environ Health*. 210 (3-4): 201–228. DOI: 10.1016/j.ijheh.2007.01.024.
- Apel P, Angerer J, Wilhelm M (2017): New HBM values for emerging substances, inventory of reference and HBM values in force, and working principles of the German Human Biomonitoring Commission. *Int J Hyg Environ Health*. 220 (2 Pt A): 152–166. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.09.007.
- Apel P, Kortenkamp A, Koch, H et al. (2020a): Time course of phthalate cumulative risks to male developmental health over a 27-year period: Biomonitoring samples of the German Environmental Specimen Bank. *Environment International*. 137: 105467. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105467.
- Apel P, Rousselle C, Lange R et al. (2020b): Human biomonitoring initiative (HBM4EU) - Strategy to derive human biomonitoring guidance values (HBM-GVs) for health risk assessment. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 230: 113622. DOI: 10.1016/j.ijheh.2020.113622.
- David M, Gerofke A, Lange, R et al. (2021): The European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU): Human biomonitoring guidance values (HBM-GVs) for the aprotic solvents N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) and N-ethyl-2-pyrrolidone (NEP). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 238: 113856. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113856.
- Drakvik E, Altenburger R, Aoki Y et al. (2020): Statement on advancing the assessment of chemical mixtures and their risks for human health and the environment. *Environment International*. 134: 105267. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105267.
- Esteban López M, Göen T, Mol H et al. (2021): The European human biomonitoring platform - Design and implementation of a laboratory quality assurance/quality control (QA/QC) programme for selected priority chemicals. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 234: 113740. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113740.
- Gilles L, Govarts E, Rambaud L et al. (2021): HBM4EU combines and harmonises human biomonitoring data across the EU, building on existing capacity – The HBM4EU survey. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 237: 113809. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113809.
- Gilles L, Govarts E, Rodriguez Martin L et al. (2022): Harmonization of Human Biomonitoring Studies in Europe: Characteristics of the HBM4EU-Aligned Studies Participants. *International journal of environmental research and public health*. 19 (11): 6787. DOI: 10.3390/ijerph19116787.
- HBM4EU (2022a): Human HBM4EU Priority Substances. <https://hbm4eu.eu/hbm4eu-substances/hbm4eu-priority-substances/> (Zugriff am: 6.9.2022).
- HBM4EU (2022b): EU HBM Dashboard. <https://www.hbm4eu.eu/what-we-do/european-hbm-platform/eu-hbm-dashboard/> (Zugriff am: 6.9.2022).
- Lamkarkach F, Meslin M, Kolossa-Gehring M et al. (2022): Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU): Human Biomonitoring Guidance Values Derived for Dimethylformamide. *Toxics*. 10 (6): 298. DOI: 10.3390/toxics10060298.
- Lamkarkach F, Ougier E, Garnier R et al. (2021): Human biomonitoring initiative (HBM4EU): Human biomonitoring guidance values (HBM-GVs) derived for cadmium and its compounds. *Environment International*. 147: 106337. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106337.
- Lange R, Apel P, Rousselle C et al. (2021): The European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU): Human biomonitoring guidance values for selected phthalates and a substitute plasticizer. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 234: 113722. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113722.
- Meslin M, Beausoleil C, Zeman FA et al. (2022): Human Biomonitoring Guidance Values (HBM-GVs) for Bisphenol S and Assessment of the Risk Due to the Exposure to Bisphenols A and S, in Europe. *Toxics*. 10 (5): 228. DOI: 10.3390/toxics10050228.
- Mustieles V, Rodríguez-Carrillo A, Vela-Soria F et al. (2022): BDNF as a potential mediator between childhood BPA exposure and behavioral function in adolescent boys from the INMA-Granada cohort. *Science of The Total Environment*. 803: 150014. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150014.
- Negi CK, Bajard L, Kohoutek J et al (2021): An adverse outcome pathway based in vitro characterization of novel flame retardants-induced hepatic steatosis. *Environmental Pollution*. 289: 117855. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117855.
- Ougier E, Ganzleben C, Lecoq P et al. (2021): Chemical prioritisation strategy in the European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU) – Development and results. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 236: 113778. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113778.
- Ougier E, Zeman F, Antignac JP et al. (2021): Human biomonitoring initiative (HBM4EU): Human biomonitoring guidance values (HBM-GVs) derived for bisphenol A. *Environment International*. 154: 106563. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106563.

Sarigiannis DA, Karakitsios S, Dominguez-Romero E et al. (2019): Physiology-based toxicokinetic modelling in the frame of the European Human Biomonitoring Initiative. *Environmental Research*. 172: 216–230. DOI: 10.1016/j.envres.2019.01.045.

Socianu S, Bopp SK, Govarts E et al. (2022): Chemical Mixtures in the EU Population: Composition and Potential Risks. *International journal of environmental research and public health*. 19 (10): 6121. DOI: 10.3390/ijerph19106121.

Tolonen H, Moore S, Lermen D et al. (2022): What is required to combine human biomonitoring and health surveys? *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 242: 113964. DOI: 10.1016/j.ijheh.2022.113964.

Zare Jeddi M, Hopf NB, Viegas S et al. (2021): Towards a systematic use of effect biomarkers in population and occupational biomonitoring. *Environment International*. 146: 106257. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106257.

Zenodo (2022): <https://zenodo.org/search?page=1&size=20&q=hbm4eu&keywords=study%20material> (Zugriff am: 6.9.2022).

KONTAKT

Philipp Weise
Umweltbundesamt
Fachgebiet Toxikologie, gesundheitsbezogene
Umweltbeobachtung
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: philipp.weise@uba.de

[UBA]

Das Dashboard „Gesundheit in Deutschland aktuell“ – Ein Beispiel für Ergebniskommunikation am Robert Koch-Institut

The dashboard “Health in Germany up-to-date” – An example of outcome communication at the Robert Koch Institute

ZUSAMMENFASSUNG

Mit den Ergebnissen aus der Studie Gesundheit in Deutschland aktuell (GEDA) 2019/2020-EHIS wurde ein neuer Publikationsweg eingeschlagen: So wird die Publikation der Ergebnisse in wissenschaftlichen Artikeln begleitet von einem Dashboard, das die Ergebnisse der GEDA-Studie visualisiert und einen schnellen Einstieg in die erhobenen Informationen ermöglicht. In diesem Dashboard sind über 40 Indikatoren zu Gesundheitsverhalten, Gesundheitszustand und Gesundheitsversorgung abgebildet (www.rki.de/geda-dashboard). Die Indikatoren werden nach Geschlecht, Alter, Bildungsgruppe und Bundesland dargestellt. Ergänzende Infotexte zur Methodik und den wichtigsten Erkenntnissen helfen, die Ergebnisse einzuordnen.

JULIA FIEBIG,
RONNY KUHNERT,
LUKAS REITZLE,
LIVIA RYL

ABSTRACT

The results of the study German Health Update (GEDA) 2019/2020-EHIS have been published in a new way: The publication of the results in scientific articles is accompanied by a dashboard that visualises the results of the GEDA study and allows a quick access to the collected information. In this dashboard, more than 40 indicators on health behaviour, health status and health care are displayed (www.rki.de/geda-dashboard). The indicators are presented according to gender, age, education group and federal state. Supplementary information texts on the methodology and the most important findings help to classify the results.

HINTERGRUND

Das Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut (RKI) hat die Aufgabe, kontinuierlich Entwicklungen im Krankheitsgeschehen sowie im Gesundheits- und Risikoverhalten in Deutschland zu beobachten. Ziel des Gesundheitsmonitorings ist, Veränderungen der gesundheitlichen Lage zu identifizieren und diese im Verhältnis zu bisherigen oder zukünftigen Präventionsmaßnahmen zu analysieren. Das Gesundheitsmonitoring findet im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) statt.

Zentraler Bestandteil des Gesundheitsmonitorings am RKI sind die drei Gesundheitsstudien KiGGS (Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland, www.kiggs-studie.de), DEGS (Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland, www.degs-studie.de) und GEDA (Gesundheit in Deutschland aktuell, www.geda-studie.de). Die Studienergebnisse ermöglichen repräsentative Aussagen zur gesundheitlichen Lage in Deutschland. Zusammen mit weiteren Informationsquellen – wie beispielsweise den Krebsregisterdaten – schaffen die Studien des Gesundheitsmonitorings eine



Quelle: RKI.

umfassende Daten- und Informationsgrundlage für Gesundheitspolitik und Forschung (Kurth 2012).

Die erhobenen Daten werden auf vielfältige Weise verarbeitet und publiziert. Im Zentrum stehen dabei Publikationen im Journal of Health Monitoring und anderen wissenschaftlichen Fachzeitschriften sowie in Berichten der Gesundheitsberichterstattung (Ziese et al. 2020). Vor dem Hintergrund neuer technischer Entwicklungen und der Verschiebung des Nutzungsverhaltens hin zu digitalen Formaten sowie der Pandemie wurde neben der Publikation der Ergebnisse der GEDA-Studie im Journal of Health Monitoring

ein Dashboard zur Visualisierung der Ergebnisse entwickelt. Mit einem Dashboard besteht die Möglichkeit die Daten schnell einem breiten Publikum zur Verfügung zu stellen.

DAS DASHBOARD

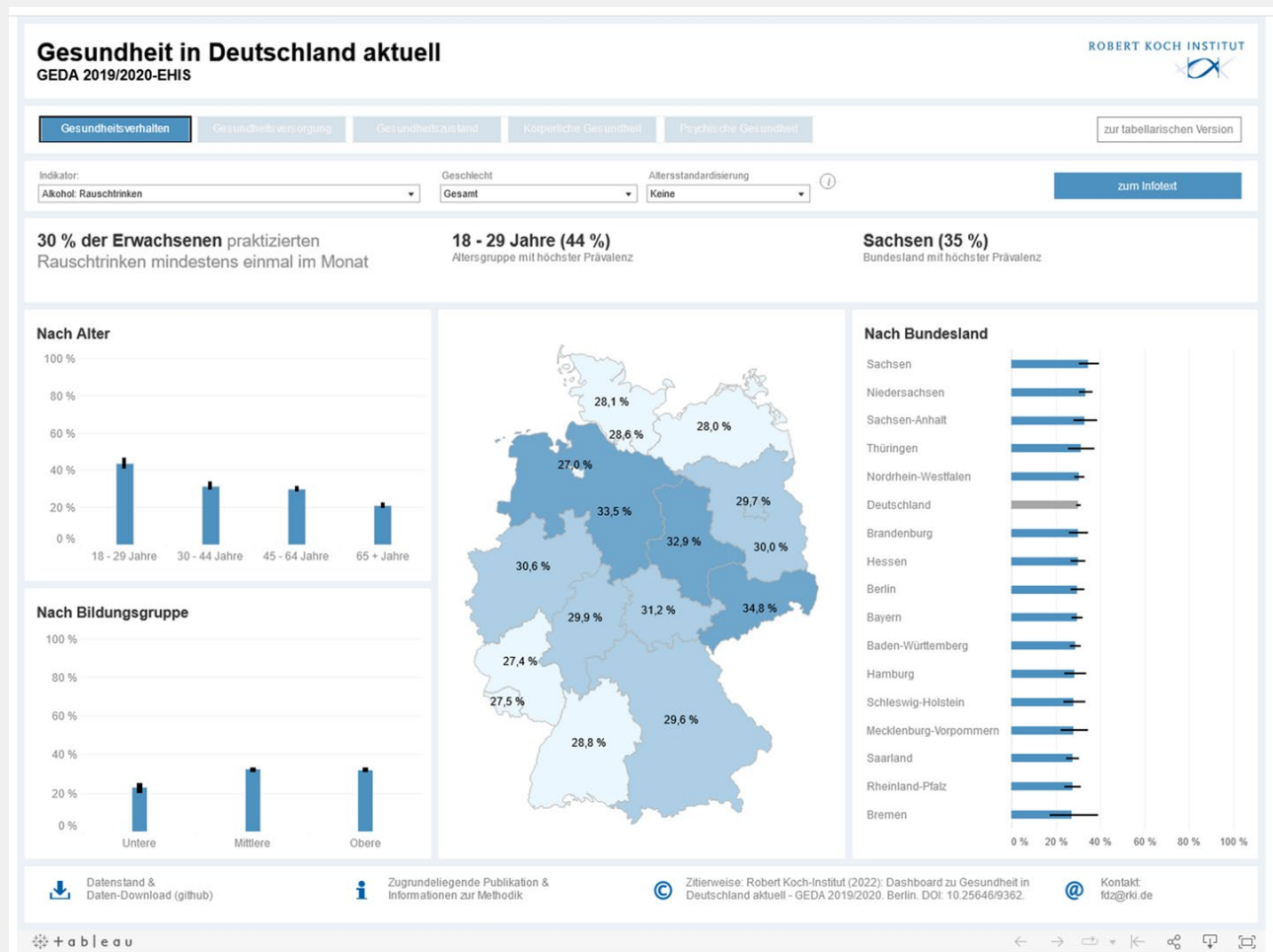
Im *Dashboard Gesundheit in Deutschland aktuell* (GEDA 2019/2020-EHIS) werden über 40 Indikatoren aus den Bereichen Gesundheitsverhalten, Gesundheitsstatus und Gesundheitsversorgung visualisiert. Für das **Gesundheitsverhalten** sind dies Indikatoren zu Alkoholkonsum, Rauchen, Ernährung,

körperliche Aktivität und Körpergewicht. Zum **Gesundheitsstatus** werden Indikatoren zum Thema Körperliche Gesundheit, beispielsweise Allergien, Asthma oder Diabetes berichtet. Zum Thema Psychische Gesundheit wird der Indikator Depressive Symptomatik und zum Gesundheitszustand unter anderem die Indikatoren Subjektive Gesundheit und Einschränkungen durch Krankheit dargestellt. Aus dem Bereich **Gesundheitsversorgung** sind Indikatoren zur Inanspruchnahme allgemeinärztlicher, fachärztlicher und psychologisch/psychiatrischer Versorgung sowie zur Vorsorge und Medikamenteneinnahme dargestellt.

Auf dem Dashboard lassen sich über die Reiter Gesundheitsverhalten, Gesundheitsversorgung, Gesundheitszustand, Körperliche Gesundheit und Psychische Gesundheit

die über 40 Indikatoren anwählen (ABBILDUNG 1). Jeder Indikator ist visualisiert durch eine Abbildung nach Alter, Bildungsgruppe und Bundesland. Zur Bewertung der Unsicherheit sind zusätzlich zu den Punktschätzern auch die Konfidenzintervalle aufgeführt. Alle Abbildungen lassen sich getrennt nach Geschlecht und Altersstandardisierung darstellen. Mit der Altersstandardisierung werden die epidemiologischen Maßzahlen aus strukturell verschiedenen Gesamtheiten vergleichbarer. Per Mouseover werden die zugehörigen Werte inklusive der zugrundeliegenden Fallzahl dargestellt. Neben der visuellen Darstellung werden die Informationen auch in tabellarischer Form angeboten.

ABBILDUNG 1
Visualisierung – Das Dashboard Gesundheit in Deutschland aktuell.
Quelle: www.rki.de/geda-dashboard.



Weiterhin wird jeder Indikator durch Infotexte begleitet, welche die Erhebung, inklusive des Befragungsinstruments des Indikators, nachvollziehbar darlegen, die wichtigsten Kernaussagen thematisieren und die Ergebnisse zusammenfassen (ABBILDUNG 2). Damit werden die Ergebnisse im Kontext präsentiert, um möglichen Fehlinformationen beziehungsweise -interpretationen vorzubeugen.

Darüber hinaus sind alle Informationen inklusive einer ausführlichen Datensatzbeschreibung in einem Datenrepositorium frei abrufbar (https://robert-koch-institut.github.io/Gesundheit_in_Deutschland_Aktuell/). Die Beschreibung umfasst neben wichtigen Informationen zum Studiendesign und der Stichprobe detaillierte Informationen zum Aufbau und Inhalt des Datensatzes und erlaubt

interessierten Nutzerinnen und Nutzern eine einfache Weiterverarbeitung.

Mit der Veröffentlichung von Ergebnissen in einem Dashboard sind für das RKI folgende Ziele verbunden:

- Zugang zu gesundheitsrelevanten Indikatoren/Informationen für Interessierte (Öffentlichkeit, Entscheidungsträger, Wissenschaft) erleichtern und
- den Zugriff auf diese Informationen erhöhen,
- die Daten sichtbar machen (Transparenz),
- die Daten verständlich kommunizieren und
- somit datenbasiertes Entscheiden unterstützen.

ABBILDUNG 2
Infotext – Das Dashboard Gesundheit in Deutschland aktuell.
Quelle: www.rki.de/geda-dashboard.

Gesundheit in Deutschland aktuell

GEDA 2019/2020-EHIS

ROBERT KOCH INSTITUT

Gesundheitsverhalten

Gesundheitsversorgung

Gesundheitszustand

Körperliche Gesundheit

Psychische Gesundheit

zur tabellarischen Version

Indikator:

Alkohol Rauschtrinken

Geschlecht

Gesamt

Altersstandardisierung

Keine

zur Visualisierung

Kurz & Knapp

30 % der Bevölkerung tranken im letzten Jahr mindestens einmal im Monat mehr als sechs alkoholische Getränke bei einem Anlass.

39 % der Männer gaben Rauschtrinken an, fast doppelt so viel wie Frauen (22 %).

Personen mit regelmäßigen Rauschtrinken fanden sich am häufigsten unter den 18- bis 29-Jährigen, am seltensten bei über 65-Jährigen.

Indikator-Beschreibung

Selbstangabe der Befragten: „Wie oft haben Sie in den letzten 12 Monaten sechs oder mehr alkoholische Getränke bei einem Anlass getrunken? Zum Beispiel während einer Party, eines Essens, beim Ausgehen mit Freunden oder alleine zu Hause.“ Dieses Verhalten wird als „Rauschtrinken“ bezeichnet.

Antwortmöglichkeiten: „Täglich oder fast täglich“, „An 5 - 6 Tagen pro Woche“, „An 3 - 4 Tagen pro Woche“, „An 1 - 2 Tagen pro Woche“, „An 2 - 3 Tagen im Monat“, „Einmal im Monat“, „Weniger als einmal im Monat“, „Nicht in den letzten 12 Monaten“, „Nie in meinem Leben“, „Weiß nicht“.

Dargestellt ist der Anteil von Personen, die mindestens einmal im Monat Rauschtrinken.

Ergebnisse

Bei Männern war der Anteil von Personen mit regelmäßigen Rauschtrinken mit 39 % deutlich höher als bei Frauen mit 22 %. In jüngeren Altersgruppen war dieses Verhalten sowohl bei Frauen als auch bei Männern häufiger anzutreffen als in älteren.

So praktizierte jeder zweite Mann im Alter von 18 bis 29 Jahren regelmäßiges Rauschtrinken. Im Alter ab 65 Jahren war es immer noch fast ein Drittel der Männer.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Altersstruktur in den Bildungsgruppen, zeigten sich bei Frauen keine Bildungsunterschiede beim Rauschtrinken. Bei Männern war der Anteil Rauschtrinker in der mittleren und oberen Bildungsgruppe deutlich höher als in der unteren.

Ein Trendvergleich zwischen den GEDA-Wellen ist aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethoden bzw. unterschiedlicher Fragestellungen derzeit nicht möglich.

Weitere Informationen

Lange C, Manz K, Kuntz B (2017) Alkoholkonsum bei Erwachsenen in Deutschland: Rauschtrinken. Journal of Health Monitoring 2(2):74–81. DOI 10.17886/RKI-GBE-2017-03

Robert Koch-Institut (Hrsg) (2014) Rauschtrinken. Faktenblatt zu GEDA 2012: Ergebnisse der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2012“. RKI, Berlin www.rki.de/geda (Stand: 25.10.2014)

Die Darstellungsvariante als Dashboard ermöglicht mehr Userfreundlichkeit durch eine übersichtliche, schnell erschließbare Umgebung und einen unkomplizierten Zugriff auf Ergebnisse des Gesundheitsmonitorings. Im Vergleich zu klassischen Artikeln in Fachzeitschriften oder Berichten erlaubt das Dashboard auch umfassendere Ergebnismengen darzustellen, da die Anzahl der Tabellen und Abbildungen nicht beschränkt ist und aufgrund der interaktiven Filtermöglichkeiten die Übersichtlichkeit und Nutzerfreundlichkeit gewahrt bleibt.

Die Zielgruppen für das Dashboard umfassen sowohl die interessierte Öffentlichkeit als auch Politik und Wissenschaft. Dies führt zu der besonderen Herausforderung, einerseits die Daten kurz und verständlich zu beschreiben beziehungsweise einzuordnen, andererseits die Wissenschaftlichkeit des Informationsangebotes zu wahren. Die Aufbereitung der Daten in leicht erfassbaren Grafiken sowie kurzen und prägnanten Texten mit Hintergrundinformationen zu den Indikatoren und Ergebnisinterpretationen sollen sowohl fachlich korrekt als auch gut verständlich sein. Für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit vertieftem Interesse an den Indikatoren gibt es im Dashboard Links zu Fachartikeln und dem kompletten Datensatz im Datenrepositorium. Somit bietet das Dashboard eine Einstiegsmöglichkeit in die Ergebnisse des Gesundheitsmonitorings des RKI und ergänzt bisherige Publikationsformate. ●

LITERATUR

Kurth B-M (2012): The RKI health monitoring - What it contains and how it can be used [Das RKI-Gesundheitsmonitoring - Was es enthält und wie es genutzt werden kann. Public Health Forum, 20 (3): 4.e1–4.e3.

Ziese T, Prütz F, Rommel A et al. (2020): Gesundheitsberichterstattung des Bundes am Robert Koch-Institut – Status quo und aktuelle Entwicklungen. Bundesgesundheitsbl 63: 1057–1066. DOI: 10.1007/s00103-020-03195-8.

KONTAKT

Dr. Livia Ryl
Robert Koch-Institut
Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring
General Pape-Str. 62-66
12101 Berlin
E-Mail: RylL@rki.de

[RKI]



DIESE PUBLIKATIONEN KÖNNEN SIE AUF DER INTERNETSEITE DES UMWELTBUNDESAMTES WWW.UMWELTBUNDESAMT.DE KOSTENFREI LESEN UND HERUNTERLADEN.