



Umwelt & Gesundheit. Umweltmedizin. Verbraucherschutz.

Aus dem Inhalt:

Verbot quecksilberhaltiger Kosmetika – internationale Herausforderungen am Beispiel hautaufhellender Cremes

Potenzial des Abwassermonitorings über eine SARS-CoV-2-Abwassersurveillance hinaus

Allergien – Ein wichtiges Thema in der Risikobewertung und Forschung am BfR



Impressum | Imprint

UMID – Umwelt + Mensch Informationsdienst

Nr. 2/2024
November 2024

ISSN 2190-1147 (Internet)

Herausgeber

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

Redaktion

Matthias Klaes
Bundesamt für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim-Neuherberg
E-Mail: mklaes@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, Satz und Layout

odenthal-design.de

Titelbild

AlenKadr/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: <https://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.

UMID ist ein Beitrag zum
„Aktionsprogramm Umwelt
und Gesundheit“ (APUG) und
Teil der Öffentlichkeitsarbeit.



- 2 **Verbot quecksilberhaltiger Kosmetika – internationale Herausforderungen am Beispiel hautaufhellender Cremes**
Ban on cosmetics containing mercury – international challenges using the example of skin lightening creams
Birte Hensen
- 11 **Potenzial des Abwassermonitorings über eine SARS-CoV-2-Abwassersurveillance hinaus**
Potential of wastewater monitoring beyond SARS-CoV-2 wastewater surveillance
Positionspapier der Kommission Environmental Public Health (KomEPH) zum Abwassermonitoring
- 20 **Allergien – Ein wichtiges Thema in der Risikobewertung und Forschung am BfR**
Allergies – An important topic for risk assessment and research at BfR
Katherina Siewert, Caterina Curato, Annekatriin Aue, Anna Giusti, Michael Giulbudagian, Ines Schreiber, Anna Sonnenburg, Valérie Trendelenburg, Matthias Peiser, Sebastian Wolf, Hermann-Josef Thierse
- 33 **Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit (GerES): Welche Aussagen über Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern sind möglich?**
German Environmental Study (GerES): What conclusions can be drawn regarding the connections between environmental influences and health parameters?
Myriam Tobollik, Enrico Rucic, Dietrich Plaß, Wolfgang Straff
- 50 **Klimawandel und Gesundheit: Ein neuer Fragebogen im Rahmen der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit (GerES VI) zu Wetter und Klima**
Climate change and health: A new questionnaire on weather and climate as part of the German Environmental Health Study (GerES VI)
Katrín Bossmann, Maria Bathow, Constanze Cholmakow-Bodechtel, Katja Reimann, Tomke Zschachlitz, Wolfgang Straff
- 62 **Der Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit als Impuls für einen Austausch mit dem ÖGD und anderen Entscheidungstragenden**
The status report on climate change and health as a catalyst for an exchange with the public health service and other decision-makers
Kirsten Kelleher, Martin Mlinarić, Franziska Hommes, Angelina Taylor, Thomas Ziese, Hildegard Niemann

Verbot quecksilberhaltiger Kosmetika – internationale Herausforderungen am Beispiel hautaufhellender Cremes

Ban on cosmetics containing mercury – international challenges using the example of skin lightening creams

Birte Hensen

Kontakt

Dr. Birte Hensen | ehemals Fachgebiet Internationales Chemikalienmanagement | Umweltbundesamt |
E-Mail: IV1.1@uba.de

Zusammenfassung

Quecksilber ist eine der giftigsten Chemikalien und stellt aufgrund seiner Eigenschaften ein globales Problem dar. Weltweit regelt das Minamata-Übereinkommen zu Quecksilber unter anderem den Einsatz in Kosmetika. In der EU werden diese Bestandteile des Übereinkommens durch die EU-Kosmetikverordnung 1223/2009 umgesetzt. In vielen anderen Ländern mangelt es jedoch oftmals noch an der nationalen Umsetzung des Übereinkommens, ebenso fehlen Durchsetzungs- und Überprüfungsmöglichkeiten, wenn Regularien vorhanden sind. Dies führt dazu, dass beispielsweise die in hautaufhellenden Cremes eingesetzten Quecksilberverbindungen die festgelegten Grenzwerte oftmals um ein Tausendfaches überschreiten, was eine Gefahr für Menschen und Umwelt darstellt. Lösungsansätze liegen vor allem in der Durchsetzung von Regularien gegen Quecksilbereinsatz und illegalen Handel, der Etablierung von nationalen Gesetzen und der Aufklärung von Anwendern und Anwenderinnen.

Abstract

Mercury is one of the most toxic chemicals and represents a global problem due to its properties. The Minamata Convention on Mercury globally regulates inter alia its use in cosmetics. In the EU, this part of the convention is implemented by the EU cosmetics directive 1223/2009. In other countries, implementation of the convention is still lacking. Therefore, mercury compounds used in skin-lightening creams often exceed the specified limit values by a thousand times and cause harms to humans and the environment. Key solutions lie in stricter monitoring of regular and illegal trade, establishment of national laws and education of users.





Quelle: Jadon Bester/stock.adobe.com

Quecksilber und das Minamata-Übereinkommen

Quecksilber ist ein Element, das verschiedene anorganische und organische Verbindungen eingehen und sich ubiquitär verteilen kann. Alle drei Formen, das heißt elementares, anorganisches und organisches Quecksilber, weisen sehr unterschiedliche Eigenschaften auf. Als anorganische Form, zum Beispiel Zinnober (HgS), ist es in Form von Gesteinen in der Erdkruste gespeichert. Aus dem Quecksilbererz wird in Quecksilberminen elementares Quecksilber gewonnen, das in der Vergangenheit für viele verschiedene Zwecke eingesetzt wurde, unter anderem für medizinische Zwecke. Elementares Quecksilber ist flüssig und verdampft bereits bei Raumtemperatur in kleinen Mengen. Diese Quecksilberdämpfe sind giftig (WHO, [2017](#)).

Die für den Menschen gefährlichste Form sind organische Methylquecksilberverbindungen. Diese können durch Umwandlungsprozesse von anderen Quecksilberverbindungen in der Umwelt entstehen oder direkt eingebracht werden, wie dies in der japanischen Stadt Minamata der Fall war. Dort leitete eine ansässige Firma große Mengen Methylquecksilberiodid in das angrenzende Gewässer. Methylquecksilber lagert sich in hohem Maße im Fettgewebe von Fischen an. Durch den Verzehr dieser hochkontaminierten Fische erkrankten und starben in den 1950er Jahren mehrere tausend Menschen (WHO, [2017](#)). Dieses Ereignis war Jahrzehnte später der Anlass für das Inkrafttreten des Minamata-Übereinkommens zu Quecksilber (UNEP, [2019a](#)).

Weltweit werden immer noch jährlich etwa 2.200 Tonnen Quecksilber emittiert. Die größten Quellen sind dabei kleingewerblicher Goldbergbau, Kohleverbrennung,

Nichteisenmetall- und Zementherstellung. Das dabei freigesetzte Quecksilber kann sich ubiquitär verteilen. Zum Schutz der Umwelt und des Menschen regelt das globale Minamata-Übereinkommen daher alle Bereiche entlang des Lebenszyklus‘ von Quecksilber (UNEP, 2019b). So verbietet Artikel 4 die Herstellung sowie den Im- und Export quecksilberhaltiger Produkte, die in Anhang A, Teil 1 gelistet sind. Seit 2020 sind bereits viele Produkte verboten, zum Beispiel einige Leuchtstofflampen, Fieberthermometer, Batterien und auch kosmetische Produkte.

Im Rahmen der fünften Vertragsstaatenkonferenz, die Ende Oktober 2023 stattfand, wurde der Anhang A aktualisiert und Ausstiegsdaten für fast alle verbleibenden quecksilberhaltigen Produkte festgelegt (UNEP, 2019a). Dazu zählen fünf weitere Leuchtstofflampentypen, womit alle quecksilberhaltigen Lampen spätestens ab 2027 verboten sind.

Quecksilber in hautaufhellenden Produkten

Quecksilber wird bisher für verschiedene Zwecke eingesetzt, zum Beispiel als Konservierungsstoff in Kosmetika. In der EU ist dieser Einsatz durch die EU-Kosmetikverordnung EU (Nr.) 1223/2009 klar geregelt. Danach darf Quecksilber lediglich in Augenkosmetik mit einer Höchstkonzentration von 0,007 Prozent eingesetzt werden.

Das global geltende Minamata-Übereinkommen verbietet derzeit generell alle Kosmetika, die den Grenzwert von 1 ppm nicht einhalten. Dennoch gibt es außerhalb der EU problematische Anwendungen. Dazu zählt der Einsatz von Quecksilber in hautaufhellenden Cremes, der im Folgenden näher betrachtet werden soll.

Auf der fünften Vertragsstaatenkonferenz des Minamata-Übereinkommens wurde beschlossen, dass alle quecksilberhaltigen Kosmetika-Produkte ab 2025 verboten werden. Das heißt, dass der Grenzwert von 1 ppm ab diesem Datum hinfällig wird. Damit soll sichergestellt werden, dass auch mittels weniger aufwendigen qualitativen Screeningverfahren überprüft werden kann, ob Quecksilber in einem Kosmetikprodukt enthalten ist oder nicht. Die Überprüfung der 1-ppm-Grenze hat sich als schwierig erwiesen, da quantitative Methoden in diesem Konzentrationsbereich oftmals mit einem höheren finanziellen und zeitlichen Aufwand verbunden und somit vor allem für Schwellen- und Entwicklungsländer schwieriger umsetzbar sind (UNEP, 2023).

Allerdings weisen viele Kosmetika Spurengehalte an Quecksilber von bis zu 1 ppm auf (Bund, 2017), weshalb sich ein qualitatives Screening unter Umständen als nicht zielführend erweisen könnte. Denn Ziel der neuen Regelung war nicht, Produkte mit unbeabsichtigten Spurengehalten trotz guter Herstellungspraxis zu eliminieren. Das eigentliche Ziel der Grenzwertaufhebung ist ein ganz anderes: Es gibt vor allem im afrikanischen und ostasiatischen Raum einen großen Markt für hautaufhellende Kosmetika. Hier ist Quecksilber oft weit oberhalb der 1-ppm-Grenze enthalten (u.a. Bastiansz et al., 2022). Beabsichtigt ist also vielmehr, eine Grundlage zur Identifizierung dieser Produkte und für die Einschränkung des Handels mit diesen Produkten zu schaffen (UNEP, 2023).

Hautaufhellende Kosmetika enthalten neben Quecksilberverbindungen zuweilen auch weitere Substanzen wie Hydrochinon oder Steroide (Glukokortikoide) (Gbetoh & Amyot, 2016),

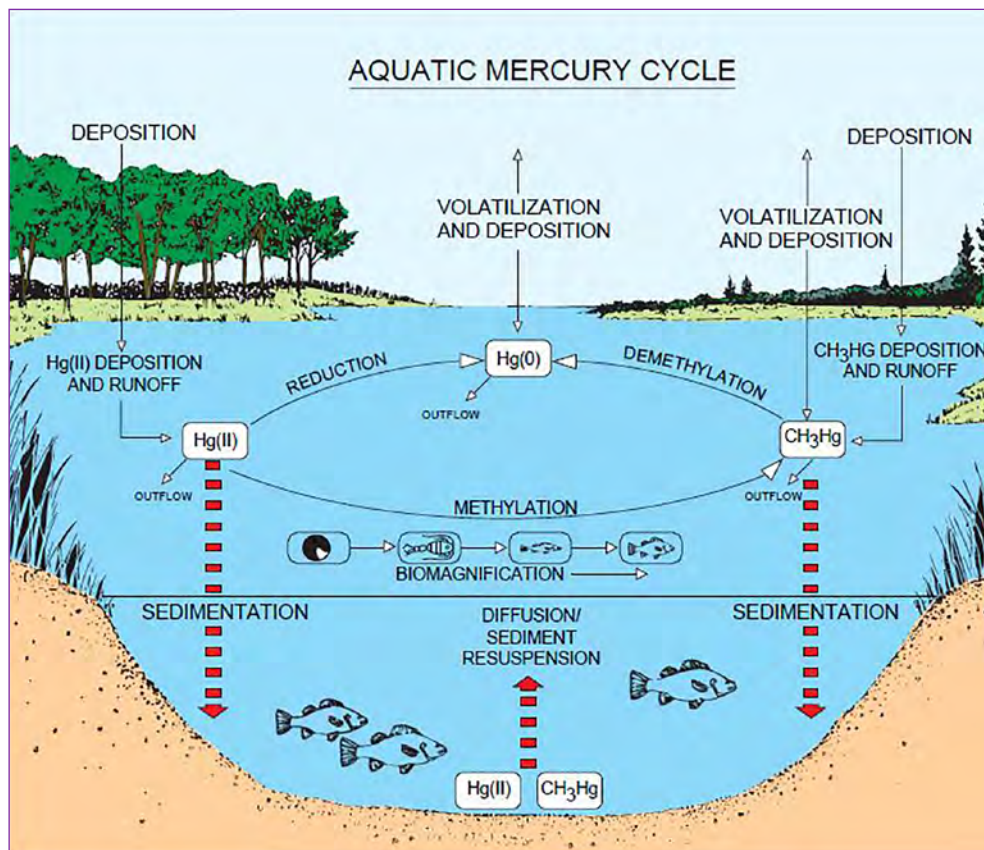
die im Rahmen der EU-Kosmetikverordnung ebenfalls bereits verboten sind. Quecksilber wird in diesen Produkten als anorganisches Quecksilbersalz, unter anderem Quecksilber-Chlorid (Calomel), Quecksilber-Iodid und Quecksilber(II)-amidchlorid, $[\text{Hg}(\text{NH}_2)]^+\text{Cl}^-$, eingesetzt (Bastiansz et al., 2022).

Die Quecksilber-Anionen hemmen die Wirkung des Enzyms Tyrosinase, welches maßgeblich an der Bildung von Melanin beteiligt ist. Die Konzentration an Melanin wird dementsprechend reduziert, was bei langfristiger Anwendung zu einem helleren Hautton führt (Chen et al., 2020). Verschiedene Studien stellten Quecksilbergehalte von bis zu 300.000 ppm fest. Einem Review zufolge wurden bei im östlichen Mittelmeerraum und in Südostasien erworbenen hautaufhellenden Produkten mittlere Quecksilbergehalte von etwa 10 ppm festgestellt (Bastiansz et al., 2022).

Auswirkungen auf die Umwelt

Der globale Quecksilberkreislauf ist geprägt von vielen Umwandlungs- und Verteilungsprozessen (□ **Abbildung 1**). Aus der in die Gewässer eingetragenen anorganischen Form ($\text{Hg}(\text{II})$) kann es zu elementarem Quecksilber ($\text{Hg}(0)$) reduziert werden. Elementares Quecksilber kann durch Gleichgewichtsprozesse in die Atmosphäre gelangen und aufgrund seiner langen Lebensdauer und entsprechende Verteilungsprozesse global verteilt werden. Anorganisches Quecksilber kann darüber hinaus durch Methylierung zu Methylquecksilber (CH_3Hg^+) umgewandelt werden (Krabbenhoft & Rickert, 1995).

Abbildung 1: Quecksilberkreislauf in Gewässern (Krabbenhoft & Rickert, 1995).



Es wird angenommen, dass Quecksilber aus hautaufhellenden Produkten über das Abwaschen der Produkte von der Haut ins Abwasser gelangen kann (Anekwe, 2015). Aber auch Ausscheidung über den Urin und das Waschen kontaminierter Kleidung können Eintragspfade ins Abwasser sein.

Auswirkungen auf den Menschen

Die Nutzung der hautaufhellenden Produkte bedeutet ein doppeltes gesundheitliches Risiko: durch die direkte und durch die indirekte Exposition. Die direkte Exposition erfolgt durch die dermale Absorption und die Inhalation von Quecksilberdämpfen bei der Anwendung der hautaufhellenden Produkte und wird von verschiedenen Faktoren, wie Konzentration der Quecksilbersalze und Häufigkeit der Anwendung, beeinflusst (Juliano, 2022).

Bei der dermalen Absorption wird das enthaltene Quecksilbersalz größtenteils über die Epidermis sowie über Schweiß- und Talgdrüsen und Haarfollikel in den Körper aufgenommen. Die anorganischen Quecksilbersalze reichern sich in den Organen an, allen voran in der Leber (Chan, 2011). Quecksilbersalze sind nicht lipophil, weshalb sie nicht die Plazenta- oder Blut-Hirn-Schranke überwinden. Jedoch können sie im zentralen Nervensystem akkumulieren und neurotoxikologische Effekte hervorrufen (Park & Zheng, 2012).

Die Salze werden hauptsächlich über den Urin ausgeschieden (Park & Zheng, 2012). Studien zeigen, dass die Konzentration von Quecksilber im Urin von zwei Dritteln der 569 Anwenderinnen und Anwender von hautaufhellenden Produkten über dem Referenzwert von 20 µg/L lag. Auch im Blut von 65 Prozent von 169 Anwendern und Anwenderinnen aus Hong Kong wurden Quecksilberkonzentrationen oberhalb des Referenzwertes von 10 µg/L gefunden (Bastiansz et al., 2022).

Ein weiteres direktes Risiko stellt das Einatmen von Dämpfen elementaren Quecksilbers dar, welche aus den Quecksilbersalzen unter Einwirkung eines geringen pH-Werts und UV-Strahlung gebildet werden. Einer Studie zufolge ergaben die Quecksilbermessungen in verschiedenen Bereichen von drei verschiedenen Haushalten hohe Konzentrationen an Quecksilber in der Umgebungsluft der Hände der Anwender und Anwenderinnen hautaufhellender Produkte sowie der Creme-Tiegel (Copan et al., 2015). Beim Einatmen kann elementares Quecksilber leicht über die Lungen den Blutkreislauf erreichen, von wo es sich im gesamten Körper verteilt und durch Überwindung der Blut-Hirn-Schranke in das zentrale Nervensystem gelangt (Park & Zheng, 2012).

Selbstberichtete Symptome von Anwendern und Anwenderinnen von hautaufhellenden Produkten sind laut Studien Hautreizungen, Juckreiz, Narbenbildung und eine generelle Resistenzminderung gegen Bakterien und Pilze. Weiterhin wurde von Kopfschmerzen, Erschöpfung, Angstzuständen und Depressionen berichtet (Bastiansz et al., 2022).

Auch Kontaktpersonen können negativ durch die Anwendung von hautaufhellenden Produkten beeinflusst werden. Bei 9 von 18 Kontaktpersonen wurden Quecksilbergehalte im Blut von über 20 µg/L gefunden. Außerdem zeigten Kinder Symptome einer Quecksilbervergiftung nach Kontakt mit ihren Müttern, die Produkte anwendeten (Bastiansz et al., 2022). Neben Babys und Kindern, die über den Hautkontakt mit dem Quecksilber in Berührung kommen können, kann auch die Entwicklung des ungeborenen

Babys beeinträchtigt werden, indem das Quecksilber die Plazentabariere überwindet (Dickenson et al., [2013](#)).

Ein indirekter Effekt von Quecksilber aus hautaufhellenden Produkten geht von den Einträgen in die Umwelt (siehe Kapitel „Auswirkungen auf die Umwelt“) und den dort stattfindenden Umwandlungsprozessen vom anorganischen Quecksilber zu organischem und elementarem Quecksilber aus. Vor allem besonders kritische organische Quecksilberverbindungen reichern sich in der Nahrungskette an und können über die Nahrungsaufnahme in den Körper gelangen. Dort können sie aus dem Magen-Darm-Trakt in die Lunge aufgenommen und im Körper verteilt werden. Durch Überwindung der Blut-Hirn-Schranke erreichen sie das zentrale Nervensystem (WHO, [2017](#)).

Generell kann eine langfristige Exposition von Quecksilber zu neurologischen Störungen und Verhaltensstörungen führen. Zu den Symptomen zählen Zittern, Schlaflosigkeit, Gedächtnisverlust, neuromuskuläre Effekte, Kopfschmerzen sowie kognitive und motorische Störungen (WHO, [2017](#)).

Der Markt für hautaufhellende Produkte

Hautaufhellende Produkte werden weltweit verwendet, sind jedoch am weitesten verbreitet in Afrika, Asien und in der Karibik (Bastiansz et al., [2022](#)). Laut einer Studie aus Jamaica werden hautaufhellende Produkte sowohl von Männern als auch von Frauen gekauft, wobei letztere 80 Prozent der Konsumenten ausmachen. Über 70 Prozent der befragten Nutzer waren unter 30 Jahren alt (Ricketts et al., [2020](#)). Gekauft werden hautaufhellende Produkte hauptsächlich in Afrika (55%) und im östlichen Mittelmeerraum (20,5%), gefolgt von Pan-Amerika (9,9%), Westpazifik (9,4%) und Südostasien (3,4%). In Europa werden zwar große Mengen hergestellt (siehe unten), verkauft werden hier aber lediglich 1,8 Prozent der Produkte – und das illegal (Bastiansz, [2022](#)).

Neben der Motivation, Hautkrankheiten oder -verfärbungen zu behandeln, steht hinter der Verwendung von hautaufhellenden Produkten oftmals der Wunsch nach einem helleren Hautbild, das tief verwurzelt ist in der kulturellen Überzeugung, dass hellere Haut für mehr Wohlstand und Ansehen steht (Naidoo et al., [2016](#)).

Die Herkunft hautaufhellender Produkte ist sehr divers. Laut eines Reviews, das 787 Produkte aus 25 Studien untersuchte, wurden über 22 Prozent der untersuchten Produkte in Europa hergestellt, gefolgt von Südost-Asien (8,4%) und Afrika (7,8%). Für etwa 50 Prozent war die Herkunft nicht bekannt (Bastiansz et al., [2022](#)). In Europa ist der Median der Quecksilberkonzentration aller untersuchten Produkte zum Teil um einen Faktor 100 unter dem Median der anderen Regionen (Median Europa = ca. 0,005 µg/g). Dennoch werden auch in Europa illegal hautaufhellende Produkte hergestellt, die zum Teil Konzentrationen bis 10.000 µg/g aufweisen.

Der Markt für hautaufhellende Produkte ist einer der am schnellsten wachsenden der gesamten globalen Schönheitsindustrie und machte 2017 in einigen Ländern knapp 50 Prozent aller Hautpflegemittel aus. Es wird angenommen, dass das Marktvolumen 2024 31,2 Billionen US-Dollar betragen wird (Shroff et al. [2017](#)). Die Produkte werden auf

lokalen Märkten und online verkauft. Die meisten Produkte werden illegal vertrieben (Bastiansz et al., 2022), da in vielen Ländern die Verwendung von Quecksilber und ähnlichen Substanzen bereits durch entsprechende Regularien verboten ist (Michalek et al., 2019).

Herausforderungen und Lösungsansätze

Hautaufhellende Produkte mit einem Quecksilbergehalt über 1 ppm werden hauptsächlich, soweit bekannt, in der Dominikanischen Republik, Mexiko, Pakistan und Thailand hergestellt und vor allem in Afrika, im östlichen Mittelmeer, in Amerika und im Westpazifik gekauft und genutzt (Bastiansz et al., 2022). Trotz Mitgliedschaft im Minamata-Übereinkommen (UNEP, 2024b) und einer entsprechenden Verpflichtung, die Bestandteile des Minamata-Übereinkommens in nationales Recht umzusetzen, können hautaufhellende Produkte allem Anschein nach ungehindert hergestellt sowie im- und exportiert werden. Nationale Gesetzgebungen sind für Schwermetalle in Kosmetika in vielen Ländern vorhanden. So ist die Zugabe von Quecksilber in Kosmetika zum Beispiel in Japan und Indien vollständig verboten und selbst quecksilberhaltige Augenkosmetika sind in Japan gänzlich verboten. In China sind Kosmetika mit bis zu 1 ppm Quecksilbergehalt erlaubt. Es konnte aber keine Aussage darüber gemacht werden, wie streng die Regularien durchgesetzt werden. In Jamaica und Trinidad und Tobago beispielsweise sind quecksilberhaltige Kosmetika gar nicht reguliert. Es zeigt sich, dass weltweit vor allem Länder mit hohem und mittlerem Einkommen Quecksilbergehalte regulieren. Gerade Länder, in denen hautaufhellende Produkte verkauft werden, weisen jedoch wenig Regularien auf (Michalek et al., 2019). Dies zeigt die Notwendigkeit, besonders dort einschlägige Rechtsvorschriften zu etablieren und bestehende zu stärken, verschärfen und durchzusetzen.

Ein weiteres Problem liegt in den nationalen Gesetzen zum Onlineverkauf. Hier wird Onlinehändlern vieler Länder erlaubt, sich der Produktverantwortung zu entziehen. Dieser Mangel an Rechenschaftspflicht nimmt den Plattformen den Anreiz, die Produktsicherheit zu gewährleisten, und führt bestenfalls zu freiwilligen episodischen Bemühungen, illegale Produkte von einer Plattform zu entfernen. Online-Plattformen sollten dementsprechend die rechtliche Verantwortung übernehmen, um sicherzustellen, dass die auf ihnen verkauften Produkte den Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften entsprechen.

Aufgrund vieler Produktfälschungen und des dezentralen Verkaufs der Produkte ist eine Überwachung schwierig. Gerade in Entwicklungsländern erschwert der Mangel an geeigneter Infrastruktur das Monitoring von Im- und Export (Bastiansz et al. 2022). Viele Länder haben keine ausreichende Ausstattung zur Überprüfung des Quecksilbergehalts in Kosmetika. Ein finanziell erschwingliches Analysegerät (Handheld X-ray Fluorescence (XRF) Analyzer) besitzt beispielsweise eine Nachweisgrenze von 10 ppm (Ricketts et al., 2020). Das bedeutet, dass Konzentrationen unter 10 ppm nicht eindeutig nachweisbar geschweige denn bestimmbar sind. Dies bedeutet auch, dass der neue Grenzwert von 0 ppm in Kosmetika im Rahmen des Minamata-Übereinkommens für viele Länder nicht ohne Weiteres überprüfbar ist. Eine technische und finanzielle Unterstützung besonders betroffener Länder kann dementsprechend zu einer wirksameren Überprüfung der Produkte führen.

Darüber hinaus werden die illegale Produktion und der illegale Handel quecksilberhaltiger hautaufhellender Produkte ungehindert fortgesetzt, da die Durchsetzung und die internationale Zusammenarbeit sowie die dafür bereitgestellten Ressourcen unzureichend sind. Zusätzlich verschärft diese Situation, dass Artikel 3(a) des Minamata-Übereinkommens zum Handel mit Quecksilber nur eine kleine Anzahl an Verbindungen nennt (UNEP, 2019a), für die das Verbot des Handels gilt. Darunter fällt beispielsweise nicht das oftmals in den hautaufhellenden Produkten verwendete Quecksilber(II)-amidchlorid. Der Handel mit dieser Substanz ist also durch das Übereinkommen nicht reguliert. Ziel zukünftiger Verhandlungen zur Aktualisierung einschlägiger Anhänge des Minamata-Übereinkommens muss also sein, den Handel mit allen Quecksilberverbindungen einzuschränken und diesen nicht auf ein paar wenige zu beschränken.

Laut Studien ist vielen Konsumenten nicht bekannt, welche Substanzen den hautaufhellenden Effekt bewirken und welche gesundheitlichen Risiken diese mit sich bringen. Laut einer Studie aus Jordanien ist einem Drittel der Anwender und Anwenderinnen der Produkte nicht bewusst, welche gesundheitlichen Auswirkungen diese haben (Hamed et al., 2010). Daher ist hier Aufgabe der zuständigen Ministerien und Institutionen, für Aufklärung über die Inhaltsstoffe von hautaufhellenden Produkten zu sorgen. Dies sollte gerade in Bezug auf die Risiken für ungeborene Babys im Regelvorsorgeprogramm für Schwangere einbezogen werden.

Fazit

Quecksilberhaltige hautaufhellende Produkte können aufgrund fehlender, zu wenig strenger und unzureichend durchgesetzter Regularien ungehindert hergestellt und werden vor allem im außereuropäischen Raum verkauft. Notwendig sind daher die strengere Überwachung und Durchsetzung von globalen Regularien einschließlich Unterbindung illegalen Handels, die Etablierung, Verschärfung und Durchsetzung von nationalen Gesetzen sowie die Aufklärung der Anwender und Anwenderinnen. Das wäre auch im Sinne der Bonner Erklärung und des neuen Global Framework on Chemicals – For a Planet free of Harm from Chemicals and Waste (GFC) mit klaren Zielen u.a. zu verstärkter Zusammenarbeit bei der Bekämpfung des illegalen Handels mit Chemikalien und Schutz der menschlichen Gesundheit vor Chemikalien (UNEP, 2024a). So muss auch die weltweite Minimierung negativer Effekte hautaufhellender Produkte auf Menschen und Umwelt das Ziel gemeinsamer Anstrengungen aller Beteiligten sein. [UBA] ●

Literatur

- [1] Anekwe, O. (2015): The global phenomenon of skin bleaching, *Voices in Bioethics*, 1
- [2] Bastiansz, A., Ewald, J., Rodríguez Saldaña, V., et al. (2022): A Systematic Review of Mercury Exposures from Skin-Lightening Products. *Environ Health Perspect.*, 130
- [3] Bund, B. (2017). Technically avoidable heavy metal contents in cosmetic products. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 12
- [4] Chan, T. Y. K. (2011): Inorganic mercury poisoning associated with skin-lightening cosmetic products. *Clin. Toxicol*, 49

- [5] Chen, J., Ye, Y., Ran, M., et al. (2020): Inhibition of tyrosinase by mercury chloride: spectroscopic and docking studies. *Frontiers in pharmacology*, 11
- [6] Copan L., Fowles J., Barreau T., et al. (2015): Mercury Toxicity and Contamination of Households from the Use of Skin Creams Adulterated with Mercurous Chloride (Calomel). *Int J Environ Res Public Health*, 12
- [7] Dickenson, C. A.; Woodruff, T. J.; Stotland, N. E., et al. (2013): Elevated mercury levels in pregnant woman linked to skin cream from Mexico. *Am. J. Obstet. Gynecol*, 209
- [8] Gbetoh, M. H., Amyot, M. (2016): Mercury, hydroquinone and clobetasol propionate in skin lightening products in West Africa and Canada. *Environmental Research*, 150
- [9] Hamed, S. H., Tyym, R., Nimer, N., et al. (2010): Skin-lightening practice among women living in Jordan: prevalence, determinants, and user's awareness. *International Journal of Dermatology*, 49
- [10] Juliano, C. C. A. (2022): Spreading of Dangerous Skin-Lightening Products as a Result of Colourism: A Review. *Appl. Sci*, 12
- [11] Krabbenhoft, D. P.; Rickert, David, A. U. S. (1995): Mercury Contamination of Aquatic Ecosystems. US Geological Survey. Fact Sheet FS-216-95
- [12] Michalek, I. M., Benn, E.K.T., Caetano dos Santos, F. L., et al. (2019): A systematic review of global legal regulations on the permissible level of heavy metals in cosmetics with particular emphasis on skin lightening products. *Environmental Research*, 170
- [13] Naidoo, L., Khoza, N., Dlova, N. C. (2016): A fairer face, a fairer tomorrow? A review of skin lighteners. *Cosmetics*, 3
- [14] Park, J.-D., Zheng, W. (2012): Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. *J. Prev. Med. Public Health*, 45
- [15] Ricketts, P., Knight, C., Gordon A., et al. (2020): Mercury Exposure Associated with Use of Skin Lightening Products in Jamaica. *J. Health. Pollut.*, 10
- [16] Shroff, H., Diedrichs, P. C., Craddock, N. (2018). Skin color, culture capital, and beauty products: an investigation of the use of skin fairness products in Mumbai, India. *Front Public Health*, 5
- [17] UNEP – UN Environment Programme. (2024a): Global Framework on Chemicals. For a Planet Free of Harm from Chemicals and Waste. <https://www.chemicalsframework.org/>
- [18] UNEP – UN Environment Programme. (2024b): Party Profiles. <https://minamataconvention.org/en/parties/overview>
- [19] UNEP – UN Environment Programme. (2023): MC/COP.5/2023/53 – Proposal by Botswana and Burkina Faso, on behalf of the Africa region, to amend Part I and Part II of Annex A to the Minamata Convention on Mercury on cosmetics to be considered by the Conference of the Parties at its fifth meeting. <https://minamataconvention.org/en/documents/proposal-botswana-and-burkina-faso-behalf-africa-region-amend-part-i-and-part-ii-annex-0>
- [20] UNEP – UN Environment Programme. (2019a): Minamata Convention on Mercury – Text and Annexes. <https://minamataconvention.org/en/resources/minamata-convention-mercury-text-and-annexes>
- [21] UNEP – UN Environment Programme. (2019b): Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland
- [22] WHO – World Health Organization. (2017): Mercury and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>



Potenzial des Abwassermonitorings über eine SARS-CoV-2-Abwassersurveillance hinaus

Potential of wastewater monitoring beyond SARS-CoV-2 wastewater surveillance

Positionspapier der Kommission Environmental Public Health (KomEPH) zum Abwassermonitoring

Kontakt

Prof. Dr. Caroline Herr | Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit Bayern | Pfarrstr. 3 | 80538 München | E-Mail: caroline.herr@lgl.bayern.de

Zusammenfassung

Die Kommission möchte mit diesem Positionspapier die bisherige Forschung zum Abwassermonitoring kompakt erläutern und neue Potenziale über die bisherigen Anwendungen und Zielsetzungen hinaus aufzeigen. Dieses Potenzial gilt es nach der erfolgreichen Etablierung im Rahmen der COVID-19-Pandemie nun zum Gesundheitsschutz der Bevölkerung zu erhalten.

Abstract

With this position paper, the Commission would like to provide a concise explanation of the research conducted to date on wastewater monitoring and highlight new potential beyond the existing applications and objectives. Following its successful establishment in the context of the COVID-19 pandemic, this potential must now be preserved to protect the health of the population.





Quelle: kelly/pexels

Hintergrund

Abwassermonitoring ist die kontinuierliche Überwachung von Krankheitserregern oder deren Bestandteilen im Abwasser zur Unterstützung der epidemiologischen Lagebewertung. Das Prinzip, das Auftreten beziehungsweise die Häufigkeit von Krankheitserregern mit Hilfe von Abwasserproben zu überwachen, wurde bereits in den 1930er beziehungsweise 1940er Jahren für die Surveillance von Polioviren entwickelt und ist seitdem ein wichtiges Instrument, um die Eradikation dieses Erregers zu unterstützen (Metcalf et al., [1995](#); Melnick [1947](#); Paul et al., [1940](#)). Mit dem Beginn der COVID-19-Pandemie erlangte die Abwassersurveillance über die Überwachung von Polioviren hinaus weltweit an Bedeutung. Seitdem wird sie kontinuierlich in vielen Ländern ausgebaut und auf weitere Krankheitserreger ausgeweitet. Zudem konnten bereits verschiedenste Erreger aber auch Spurenstoffe, zum Beispiel Medikamente und Drogen beziehungsweise deren Metabolite, im Abwasser nachgewiesen und quantifiziert werden (Fontanals et al., [2023](#); Salgueiro-Gonzalez et al., [2024](#)).

Auch in Deutschland wurden zu Beginn der Pandemie, gefördert über die Europäische Kommission und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), mehrere Forschungsprojekte durchgeführt, um den Mehrwert einer abwasserbasierten Überwachung zu evaluieren. Seit November 2022 fördert das Bundesministerium für Gesundheit (BMG) das Vorhaben „Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung“ (AMELAG) mit dem erklärten Ziel, eine bundesweite Abwassersurveillance für

SARS-CoV-2 und seine Varianten zu etablieren. Die Organisation und die Durchführung liegen bei den Bundesbehörden Robert Koch-Institut (RKI) und Umweltbundesamt (UBA). Beteiligt sind alle Bundesländer mit insgesamt 168 Standorten, die zum Teil auch mit Landesmitteln finanziert werden. Außerdem beteiligt sind das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), mehrere Labore und Universitäten sowie der Sanitätsdienst der Bundeswehr. Die Ziele von AMELAG sind die Etablierung, die Weiterentwicklung und Harmonisierung von Nachweismethoden, das regelmäßige Veröffentlichen von Abwassermessdaten und die Implementierung der Methoden für die Überwachung weiterer Erreger (z.B. Influenza-A- und B-Virus, Respiratorisches Synzytial-Virus). In mehreren Forschungsprojekten im RKI, UBA und in universitären Forschungseinrichtungen werden zudem Fragestellungen bearbeitet, welche unter anderem die Überwachung von antimikrobiellen Resistenzen, die Optimierung von Methoden sowie das Zusammenführen von Abwasser- und anderen Daten zur epidemiologischen Datenbewertung betreffen (RKI, [2024](#); UBA, [2024](#)).

Technische Möglichkeiten

Krankheitserreger und deren Bestandteile gelangen unter anderem über Stuhl, Urin und Speichel ins Abwasser und über das Kanalsystem an die Kläranlage. Dort werden zweimal wöchentlich sogenannte 24-Stunden-Mischproben am Zulauf der Kläranlage entnommen. Die Proben werden vor Ort homogenisiert, gekühlt zum Labor transportiert und dort aufbereitet. Mittels gängiger PCR-Methoden werden die in den Abwasserproben enthaltenen Virusfragmente quantifiziert und auf einen Liter Abwasser hochgerechnet. Die Daten werden bundesweit zentral gesammelt, auf Plausibilität geprüft und ausgewertet. Einige Proben werden mittels Sequenzierung auf Virusvarianten untersucht. Die Daten aller Standorte sowie ein bundesweiter Gesamtindikator erscheinen im Wochenbericht der Abwassersurveillance. Eine genaue Beschreibung der Methoden ist in Form Technischer Leitfäden auf [der Abwassersurveillance-Seite des RKI](#) sowie in einem kürzlich erschienenen Artikel beschrieben (Marquar et al., [2024](#)).

Rahmenbedingungen

Bei der Abwassersurveillance sind die gute Zusammenarbeit und Kommunikation verschiedener Institutionen der Gesundheits-, Umwelt- und Dienstleistungsseite von zentraler Bedeutung. Dazu zählen neben den Kläranlagen und Laboren auch verschiedene Behörden auf Landes- und Bundesebene. Da die Zuständigkeiten in den Bundesländern variieren, ist die Etablierung der Abwassersurveillance in Deutschland ein komplexes Unterfangen. Für einige Bundesländer gibt es Verwaltungsvereinbarungen mit dem Bund. Diese Bundesländer schließen wiederum mit Kläranlagen Verträge, während für andere Länder der Bund direkt mit den jeweiligen Kläranlagen Verträge abschließt. Die vertraglichen Absprachen schaffen dabei nicht nur eine Verbindlichkeit, welche die regelmäßige Probenahme und Datenübermittlung sicherstellt, sondern regeln zudem auch die Aufwandsentschädigungen für die Probenahmen auf den Kläranlagen beziehungsweise die Kostenübernahme für die Laboranalytik. Unterschiedlich wird auch die PCR-Analytik realisiert. Während in manchen Bundesländern die Analysen durch landeseigene Labore

durchgeführt werden, wird in anderen Bundesländern die Analytik durch den Bund als Bundesanalytik organisiert und zum Teil auch durchgeführt.

Die Schaffung und Aufrechterhaltung eines bundesweiten Abwassersurveillance-Netzwerks, in dem verschiedenste Stakeholder von der Kläranlage bis zum Ministerium eingebunden beziehungsweise informiert werden, ist ein zentraler Pfeiler in AMELAG. Hierfür werden eine Vielzahl von Veranstaltungen zur Vernetzung und zur Förderung des Austauschs für alle relevanten Gruppen in Form von Kolloquien, Symposien, Workshops, Teamtagen, Newslettern sowie Zusatzveranstaltungen für den Austausch zu speziellen Themen unter dem Dach von AMELAG durchgeführt.

Bei der momentanen Novellierung der Kommunalen Abwasserrichtlinie (91/271/EWG von 1991) wird erstmals in Artikel 17 die Einrichtung eines nationalen Systems für die Koordinierung und Zusammenarbeit zwischen den Gesundheits- und Umweltministerien gefordert. Im Fokus steht zudem die Überwachung antimikrobieller Resistenzen. Ungeklärt sind hier beispielsweise noch die Zuständigkeiten für Probenahme, Auswertung und vor allem die Finanzierung.

Darüber hinaus bestehen internationale Netzwerke und Projekte, in welche die Abwassersurveillance in Deutschland eingebunden ist, wie zum Beispiel die Joint Action [↗ EU-Wastewater Integrated Surveillance for Public Health \(EU-WISH\)](#) und das [↗ Global Consortium for Wastewater and Environmental Surveillance for Public Health \(GLOWACON\)](#).

Potenzial der Methode

Epidemiologische Fragestellungen

Während der COVID-19-Pandemie hat sich die Abwassersurveillance als wertvolles Instrument zur Überwachung von Infektionserregern erwiesen. In Deutschland konnte dies eindrucksvoll in dem bundesweiten Projekt AMELAG gezeigt werden, bei dem insgesamt 168 Kläranlagen eingebunden sind, wodurch circa 35 Prozent der Gesamtbevölkerung überwacht werden können (RKI, [2024](#)). So konnten die unterschiedlichen Infektionswellen gut nachgezeichnet werden und bis zum Wegfall der Testpflicht deckten sich die erhobenen Trendverläufe gut mit den Inzidenzen.

Neben SARS-CoV-2 kann die Abwassersurveillance unter anderem für die (frühzeitige) Erkennung und Erfassung der jährlichen Grippewellen genutzt werden, wodurch Gesundheitsbehörden zeitnah und gegebenenfalls präventiv reagieren könnten (de Melo, [2012](#)). Da sich Influenzaviren in der Regel zuerst in jüngeren Bevölkerungsgruppen ausbreiten, bei dieser Personengruppe oft aufgrund der meist schwächeren Symptomatik mittels etablierter Surveillancesysteme seltener frühzeitig erfasst werden, könnte das Abwassermonitoring hier eine effektive Ergänzung im Sinne der Überwachung bieten.

Während der COVID-19-Pandemie hat sich auch gezeigt, dass das Abwassermonitoring wertvoll ist, wenn herkömmliche Überwachungsstrategien durch Faktoren wie begrenzte Testkapazitäten oder Meldeverzögerungen eingeschränkt sind. Zudem ist die Erfassung nicht an die Symptomatik und Krankheitsschwere gekoppelt, wodurch auch asymptomatische Träger erfasst werden, die in den herkömmlichen Systemen nicht oder kaum

erfasst werden (Bivins et al., 2020). Dies bedeutet jedoch wiederum, dass die Abwassersurveillance keine Aussage über die Krankheitsschwere machen kann.

In den letzten Monaten hat sich die Abwassersurveillance für SARS-CoV-2 nicht als Frühwarnsystem verstanden, sondern wurde als Echtzeit-Monitoringsystem genutzt, um epidemiologische Trends zu erfassen und so gegebenenfalls Maßnahmen einleiten zu können. Es ist somit eine sinnvolle Ergänzung zu bestehenden infektionsepidemiologischen Surveillance-Systemen und trägt dazu bei, die öffentliche Gesundheitsüberwachung zu stärken, wie beispielsweise über das [Infektionsradar des Bundes](#).

Am Beispiel eines Klimawandel-bezogenen Gesundheitsaspekts

Auch für die Überwachung von klimawandelrelevanten, vektorübertragenen Viren wie Dengue-Virus, Zika-Virus und West-Nil-Virus ist die Methode des Abwassermonitorings interessant und wird daher zurzeit in vielen Ländern intensiv untersucht (Wolfe et al., 2024; Kuhn et al., 2024; Wong, 2024). Diese und andere Viren, die hauptsächlich durch Mücken übertragen werden, sind bereits seit Jahren in vielen tropischen und subtropischen Regionen der Welt eine Herausforderung für die öffentliche Gesundheit. Auf Grund des Klimawandels ist davon auszugehen, dass die genannten Krankheitserreger in näherer Zukunft auch in Zentraleuropa eine größere Rolle spielen werden (Semenza & Paz, 2021). Das Abwassermonitoring könnte hier bestehende Systeme unterstützen und Informationen über die geografische Verbreitung und Saisonalität dieser Erreger liefern. Dies kann den Gesundheitsbehörden in den betroffenen Gebieten ermöglichen, frühzeitig Maßnahmen zur Eindämmung von Ausbrüchen zu ergreifen.

Die Einbindung des Abwassermonitorings in globale Gesundheitsüberwachungsnetzwerke könnte die Fähigkeit ergänzen und verbessern, Krankheitsausbrüche vorherzusagen und so zur globalen Gesundheitsresilienz beitragen.

Das Potenzial des Abwassermonitorings geht über die Bestimmung von Virusfrachten, welche zur Verbreitung von Krankheitserregern in der Bevölkerung genutzt werden, deutlich hinaus. So können auch zahlreiche Spurenstoffe und deren Metabolite erhoben werden (Choi et al., 2018). Als wichtige Beispiele sind Drogenrückstände im Abwasser zu nennen, darunter zum Beispiel Substanzen wie Fentanyl (Salgueira-Gonzalez et al., 2024). Auch lassen sich viele Medikamentenrückstände erfassen, welche Rückschlüsse auf den Verbrauch in der Bevölkerung und der Industrie zulassen. Viele pharmazeutische Chemikalien, Haushaltschemikalien, Biozide und Pflanzenpathogene sind dabei als weitere mögliche Zielparameter zu nennen, deren Bestimmung im Abwasser wertvolle Informationen liefern könnte (Fontanals et al., 2023; Picó & Barceló, 2021; Lopardo et al., 2019). Diese vielfältigen Zielgrößen können in der Gesamtheit somit einen Überblick über die Gesundheit von Menschen, Tieren und Umwelt in einer ganzen Stadt oder einem Landkreis geben und können als eine Art Fingerabdruck genutzt werden (Kasprzyk-Hordén et al., 2022). Es gibt dabei für viele Substanzen noch Forschungsbedarf im One Health-Kontext, um bessere Methoden zur Erfassung und effektive Methoden zur epidemiologischen Bewertung zu erarbeiten (Robins et al., 2022). Die aufgebauten Strukturen im Bereich Kommunikation, Vernetzung, Infrastruktur wie beispielsweise Probentransport und Laborexpertise in AMELAG sind eine wichtige Voraussetzung, auf deren Basis weitere nationale und internationale Forschungsinstitute, Behörden und Firmen eingebunden werden können.

Ein solcher Ausbau wird den Nutzen des Monitorings für das Gesundheitssystem weiter erhöhen.

Zahlreiche weitere Anwendungsfälle für eine Abwassersurveillance, die für Deutschland kürzlich beschrieben wurden, sind zudem denkbar (Schattschneider et al., [2024](#)).

Nachhaltigkeit

Die Abwassersurveillance könnte unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit einen Vorteil bieten. Dies ist dadurch begründet, dass die Proben aus einem gemischten Pool von Individuen (Pool-Proben) aus Abwasserströmen anstatt von Einzelpersonen analysiert werden. Somit liefert eine einzige Probe Informationen über viele Menschen, womit der Bedarf an Ressourcen wie Testkits und Personal erheblich sinkt. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung könnte das Abwassermonitoring somit kostengünstiger sein als andere Methoden.

Klassischerweise werden die Abwasserproben in den Kläranlagen entnommen, womit bereits vorhandene Infrastruktur genutzt wird. Weiter können auch Kanalsammelstellen durch Mitarbeitende der städtischen Klärwerke, beispielsweise durch Schöpfproben, beprobt werden. Durch effiziente Nutzung der Infrastruktur wird der Transportaufwand reduziert und folglich der CO₂-Fußabdruck der Überwachung verringert.

Außerdem kann das Abwassermonitoring dazu beitragen, Ausbrüche schnell zu erkennen und so gezielte Maßnahmen und Reaktionen einzuleiten, was zur zielgerichteten Vorbereitung des Gesundheitssystems auf Lageänderungen genutzt werden kann und so auch eine Entlastung bedeutet. Durch diese ressourceneffiziente Nutzung und die breite Abdeckung der Bevölkerung stellt die Abwassersurveillance ein nachhaltiges Überwachungssystem dar.

Limitationen

Mit Hilfe der Abwassersurveillance kann die Infektionsdynamik von Krankheitserregern überwacht werden, es kann dabei jedoch keine Aussage über die Krankheitsschwere oder die Belastung des Gesundheitssystems gemacht werden. Das heißt für die Interpretation der Daten sollten die Daten anderer Surveillancesysteme einbezogen werden. Nach aktuellem Stand kann aus der gemessenen Viruslast nicht präzise auf eine Inzidenz oder Prävalenz geschlossen werden. Zudem ist ein direkter Vergleich von Viruslasten verschiedener Standorte unterschiedlicher Kanalsysteme und Labormethoden schwierig beziehungsweise kaum möglich. Weiterhin können die erhobenen Daten aufgrund der Komplexität des Abwassers und aufgrund äußerer Einflüsse, wie zum Beispiel Regenereignissen, stark variieren. Hier besteht weiterer Forschungs- und Harmonisierungsbedarf.

Die Abwassersurveillance, wie sie in AMELAG etabliert wurde, bettet sich in die Landschaft bestehender infektionsepidemiologischer Systeme ein und kann diese ergänzen, aber nicht ersetzen. Sie dient zudem nicht dazu, einzelne Infektionsherde oder gar infizierte Personen zu identifizieren.

Fazit

Trotz der Limitationen beinhaltet das Abwassermonitoring eine infektionsepidemiologische Überwachung von Erregern, die, wie hier aufgezeigt, insbesondere bei SARS-CoV-2 bereits ein hohes Potenzial aufweist. Abwassermonitoring kann als ein ergänzendes System gesehen werden, das sich in die Landschaft bestehender Surveillance-systeme einordnet, die anderen Systeme dabei aber nicht ersetzt.

Weitere Anwendungsfälle sind dabei denkbar oder werden zum Teil in einigen Ländern bereits durchgeführt. Beispielsweise könnte die Erfassung von klimawandelrelevanten vektorübertragenen Viren eine regionale Aussage über deren Verbreitung ermöglichen, lange bevor die Erfassung über Symptome erfolgen kann. Auch für das Aufspüren von Spurenstoffen und deren Metaboliten, wie Drogen- oder Medikamentenrückstände kann das Abwassermonitoring genutzt werden.

Dieses Potenzial gilt es nach der erfolgreichen Etablierung im Rahmen der COVID-19-Pandemie nun zu erhalten, indem das Abwassermonitoring verstetigt und erweitert wird. Auf diesem Gebiet ist weiterhin Forschung und eine Pilotierung spezieller Anwendungsfälle mit anschließender Evaluation notwendig.

Die Kommission Environmental Public Health, die sowohl das RKI als auch das UBA berät, sieht eine Verstetigung des Abwassermonitorings (des AMELAG-Vorhabens) als einen wichtigen Beitrag zum Gesundheitsschutz der Bevölkerung und Stärkung der Öffentlichen Gesundheit.

Mitglieder der Kommission „Environmental Public Health“

Prof. Dr. Gabriele Bolte (Institut für Public Health und Pflegeforschung, Universität Bremen), Prof. Dr. Caroline Herr (Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit Bayern), Prof. Dr. Astrid Heutelbeck (Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsklinikum Jena), Dr. Henk Hilderink (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Hilversum), Prof. Dr. Barbara Hoffmann (Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsklinikum Düsseldorf), Prof. Dr. Claudia Hornberg (Medizinische Fakultät OWL, Universität Bielefeld), Prof. Dr. Thomas Kraus (Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Uniklinik RWTH Aachen), Prof. Dr. Tobia Lakes (Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin), Prof. Dr. Andreas Matzarakis (Umweltmeteorologie, Universität Freiburg), Dr. Odile Mekel (Landeszentrum Gesundheit Nordrhein-Westfalen), Prof. Dr. Dennis Nowak (Instituts- und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität Klinikum München), Prof. Dr. Annette Peters (Institut für Epidemiologie, Helmholtz Zentrum München), Dr. Martina Ragetti (Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut, Basel – Allschwil), Prof. Dr. Doreen Reifegerste (Fakultät für Gesundheitswissenschaften, Universität Bielefeld), Dr. Alexandra Schneider (Institut für Epidemiologie, Helmholtz Zentrum München), Prof. Dr. Claudia Traidl-Hoffmann (Medizinische Fakultät – Lehrstuhl für Umweltmedizin, Universität Augsburg), Prof. Dr. Hajo Zeeb (Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie – BIPS und Universität Bremen)

Danksagung

Wir danken dem AMELAG-Vorhaben für die kritische Durchsicht und Aufbereitung dieser Stellungnahme. 

Literatur

- [1] Bivins, A., North, D., Ahmad, A. et al. (2020). Wastewater-Based Epidemiology: Global Collaborative to Maximize Contributions in the Fight Against COVID-19. *Environ Sci Technol.* Jul 7;54 (13), 77547757. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02388>
- [2] Choi, P. M., Tschärke, B. J., Donner, E. et al. (2018). Wastewater-based epidemiology biomarkers: Past, present and future, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 105, 453469. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.06.004>
- [3] Fontanals, N., Pocurull, E., Montes, R. et al. (2023). A new analytical method to determine trace level concentrations of pharmaceuticals in influent wastewater: A tool to monitor human use patterns, *Microchemical Journal*, 193, 109131. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109131>
- [4] Kasprzyk-Hordern, B., Adams, B., Adewale, I. D. et al. (2022). Wastewater-based epidemiology in hazard forecasting and early-warning systems for global health risks, *Environment International*, 161, 107143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107143>
- [5] Kuhn, K. G., Shelton, K., Sanchez, G. J. et al. (2024). Wastewater Detection of Emerging Vector-Borne Diseases: West Nile Virus in Oklahoma. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4805820>
- [6] Lopardo, L., Petrie, B., Proctor, K. et al. (2019). Estimation of community-wide exposure to bisphenol A via water fingerprinting, *Environment International*, 125, 18. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.048>
- [7] Marquar, N., Pütz, P., Buchholz, U. et al. (2024). SARS-CoV-2-Abwassersurveillance in Deutschland im Rahmen des Projekts AMELAG. *Epid Bull* 2024 (34), 1626
- [8] Melnick, J. L. (1947). Poliomyelitis virus in urban sewage in epidemic and nonepidemic times. *American Journal of Hygiene* 1947, 45 (2), 240253
- [9] de Melo, T., Islam, G., Simmons, D. B. D. et al. (2023). An alternative method for monitoring and interpreting influenza A in communities using wastewater surveillance. *Front Public Health.* Jul 27, 11, 1141136. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1141136>
- [10] Metcalf, T. G., Melnick, J. L. & Estes, M. K. (1995). Environmental virology: from detection of virus in sewage and water by isolation to identification by molecular biology – a trip of over 50 years. *Annu Rev Microbiol*, 49, 416487
- [11] Paul, J. R., Trask, J. D. & Gard II, S. (1940). Poliomyelitic virus in urban sewage. *Journal of Experimental Medicine*, 71 (6), 765777
- [12] Picó, Y. & Barceló, D. (2021). Identification of biomarkers in wastewater-based epidemiology: Main approaches and analytical methods, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 145, 116465. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116465>
- [13] RKI – Robert Koch-Institut. (2024). „Projekt AMELAG: Abwassermonitoring zur epidemiologischen Lagebewertung“. <https://www.rki.de/DE/Content/Institut/OrgEinheiten/Abt3/FG32/Abwassersurveillance/Abwassersurveillance.html>

- [14] Robins, K. Leonard, A. F. C., Farkas, K. et al. (2022). Research needs for optimising wastewater-based epidemiology monitoring for public health protection. *J Water Health* 1 September 2022, 20 (9), 1284–1313. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.026>
- [15] Schattschneider, A., Greiner, T., Beyer, S. et al. (2024). Abwasser enthält Informationen für die Öffentliche Gesundheit: Mögliche Anwendungen für eine Abwassersurveillance. *Epid Bull*, 2024, 34, 315.
- [16] Salgueiro-Gonzalez, N., Béen, F., Bijlsma, L. et al. (2024). Influent wastewater analysis to investigate emerging trends of new psychoactive substances use in Europe, *Water Research*, 254, 121390. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121390>
- [17] Semenza, J. C. & Paz, S. (2021). Climate change and infectious disease in Europe: Impact, projection and adaptation. *Lancet Reg Health Eur.* 2021 Oct;9:100230. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2021.100230>
- [18] UBA – Umweltbundesamt. (2024). AMELAG Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung. <https://www.umweltbundesamt.de/amelag>
- [19] Wolfe, M. K., Paulos, A. H., Zulli, A. et al. (2024). Wastewater Detection of Emerging Arbovirus Infections: Case Study of Dengue in the United States. *Environmental Science & Technology Letters*, 11 (1), 915. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00769>
- [20] Wong, J. C. C., Tay, M., Hapuarachchi, H. C. et al. (2024). Case report: Zika surveillance complemented with wastewater and mosquito testing. *EBioMedicine*. Mar;101:105020. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105020>

Allergien – Ein wichtiges Thema in der Risikobewertung und Forschung am BfR

Allergies – An important topic for risk assessment and research at BfR

Katherina Siewert, Caterina Curato, Annekatriin Aue, Anna Giusti, Michael Giulbudagian, Ines Schreiber, Anna Sonnenburg, Valérie Trendelenburg, Matthias Peiser, Sebastian Wolf, Hermann-Josef Thierse

Kontakt

Dr. Katherina Siewert | Bundesinstitut für Risikobewertung | Abteilung Chemikalien- und Produktsicherheit | Max-Dohrn-Str. 8–10 | 10589 Berlin | E-Mail: katherina.siewert@bfr.bund.de

PD Dr. Hermann-Josef Thierse | Bundesinstitut für Risikobewertung | Abteilung Chemikalien- und Produktsicherheit | Max-Dohrn-Str. 8–10 | 10589 Berlin | E-Mail: hermann-josef.thierse@bfr.bund.de

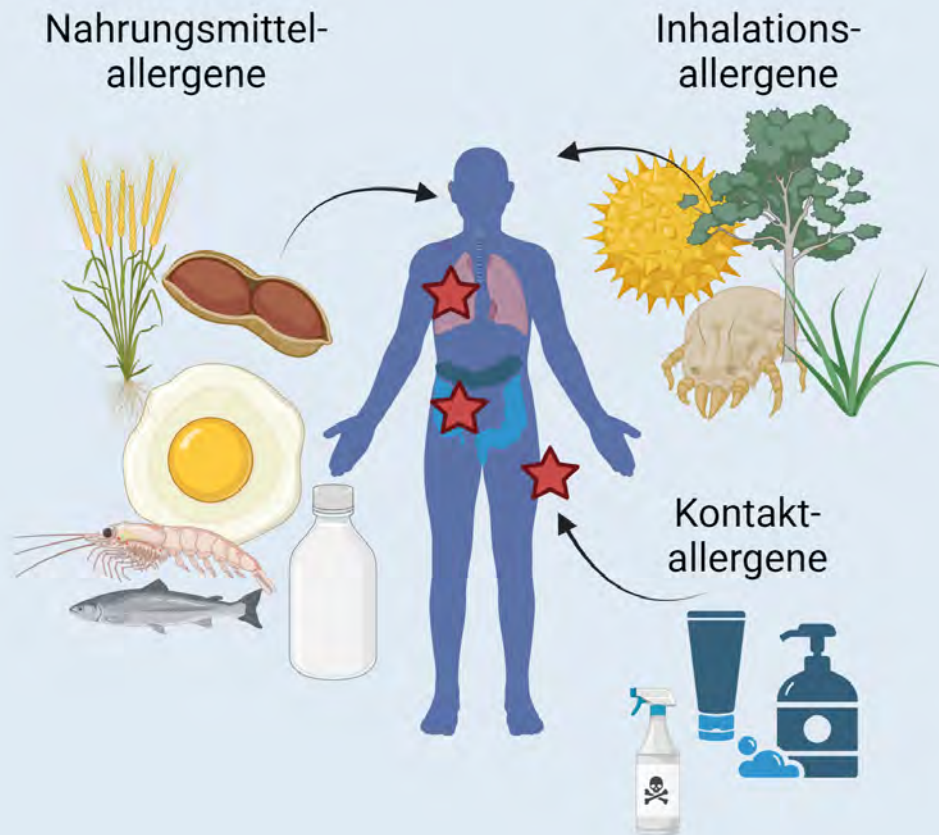
Zusammenfassung

Allergische Reaktionen und die ihnen zugrundeliegenden Allergene sind sehr vielfältig. Häufig erfolgt der Allergenkontakt über den Verdauungstrakt (Nahrungsmittelallergene), die Atemwege (Inhalationsallergene) oder die Haut (Kontaktallergene). Allergene können vereinfacht in Eiweiße (Proteine) oder Chemikalien unterteilt werden. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) beschäftigt sich umfassend mit dem komplexen Thema Allergien, unter anderem durch die Bewertung sensibilisierender Eigenschaften, Erstellung von Dossiers, Gremientätigkeiten oder Beantwortung von Bürgeranfragen. Zudem forscht das BfR selbst – am Studienzentrum Dermatotoxikologie sowie in anderen Fachgruppen. In diesem Artikel teilen wir Informationen zu Allergien und stellen BfR-Arbeitsgebiete vor, die dazu beitragen, die Bevölkerung vor Allergien zu schützen. Dabei betrachten wir auch offene Forschungsfelder, zum Beispiel in der Entwicklung alternativer Testmethoden oder der Identifikation unbekannter Allergene in Tätowierfarben.

Abstract

Allergic reactions and the allergens that cause them are highly diverse. Contact with allergens often occurs via the digestive tract (food allergens), the respiratory tract (inhalation allergens) or the skin (contact allergens). Roughly, allergens can be categorised as proteins or chemicals. The German Federal Institute for Risk Assessment (BfR) comprehensively addresses the complex allergy topic, for instance by the assessment of sensitising properties, the preparation of dossiers, committee activities, or answering requests of citizens. In addition, the BfR itself conducts research – at the Dermatotoxicology Study Centre and in other units. Here, we provide information on allergies and give insights into the BfR activities that contribute to protecting the population from allergies. We also identify open fields of research, e.g., in the development of alternative test methods or the identification of unknown allergens in tattoo inks.





Quelle: Created in BioRender. Siewert, K. (2024) <https://BioRender.com/d49z799>

Allergien – ein Überblick

Eine Allergie ist eine Überempfindlichkeit des Immunsystems auf körperfremde Stoffe, genannt Allergene. Häufig sind Allergene Eiweiße (Proteine), die zum Beispiel in Nahrungsmitteln, Pflanzenpollen, Schimmelpilzsporen oder Tierhaaren enthalten sind. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) listet aktuell mehr als [1.100 Eiweißallergene](#), weitere dürften künftig dazukommen. Neben Eiweißen können auch Chemikalien wie Metalle oder organische Verbindungen Allergien auslösen. Im Rahmen der Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Chemikalien (CLP-Verordnung, VO (EG) Nr. 1272/2008) sind derzeit mehr als [1.200 Substanzen](#) auf EU-Ebene als potenziell hautsensibilisierend eingestuft. Zusätzlich stufen Hersteller, Importeure oder nachgeschaltete Anwender Substanzen und Gemische (Produkte) selbst ein.

Je nach Aufnahmepfad und Allergen können die Symptome von allergischen Reaktionen sehr verschieden sein. Häufig sind Beschwerden wie Heuschnupfen, Magen-Darm-Probleme oder Hautekzeme. In sehr seltenen Fällen kann es zu einem lebensbedrohlichen allergischen Schock kommen. Die Allergenmenge, die bei Allergikern eine Reaktion auslöst, ist dabei individuell sehr verschieden. Allgemein werden zwei Phasen unterschieden,

eine klinisch nicht sichtbare Sensibilisierungsphase, bei der sich die Immunantwort ausbildet, sowie eine Auslösephase, bei der der Kontakt mit dem Allergen zu klinisch sichtbaren Symptomen führt (Jutel et al., 2023; Scheinman et al., 2021). Die immunologischen Mechanismen dazu sind Gegenstand aktueller Forschung. Am häufigsten sind sogenannte Typ-1-Reaktionen. Hier bilden sich IgE-Antikörper, die, gebunden auf der Oberfläche von Zellen des Immunsystems (Mastzellen und basophilen Granulozyten) bei wiederholtem Allergenkontakt (z. B. durch IgE-gebundene Polleneiweiße) quervernetzt werden. Innerhalb von Sekunden bis Minuten werden die Immunzellen aktiviert und Botenstoffe wie zum Beispiel Histamin freigesetzt. Häufig lösen Lebensmittel- und Inhalationsallergene Typ-1-Allergien aus. Anders verhält es sich bei Typ-4-Reaktionen, die von sogenannten T-Zellen vermittelt werden und hauptsächlich Reaktionen auf Kontaktallergene betreffen (BfR, 2021). T-Zellen sind, neben Antikörpern, die wichtigsten Effektoren des erworbenen Immunsystems, wirken aber langsamer, sodass Symptome erst nach Stunden bis Tagen (verzögert) auftreten.

Von Kreuzallergien spricht man, wenn eine Person gegen ein Allergen sensibilisiert wurde, zum Beispiel gegen Birkenpollen, und im Anschluss auf ein (strukturell) verwandtes Allergen ebenfalls reagiert, zum Beispiel auf Allergene in Äpfeln. Bei Kreuzallergien sind also die gleichen Antikörper oder T-Zellen beteiligt, wobei dies gar nicht so leicht nachzuweisen und von einer zusätzlich unabhängigen Sensibilisierung auf das zweite Allergen zu unterscheiden ist. Forschungsansätze hierzu werden in den nächsten Abschnitten vorgestellt.

Die Häufigkeiten vieler Allergien sind dem Wandel der Zeit unterworfen. Änderungen im Lebensstil, der Landwirtschaft, der Umwelt (Klimawandel) und beim Kontakt mit Fremdstoffen und Chemikalien tragen zu einer veränderten Allergenexposition bei (Burbank et al., 2017; Pfeifferle et al., 2021; Weiland et al., 1999). Eine aktuelle Hypothese besagt, dass Schädigungen der epithelialen Körperbarrieren (Haut, Lunge, Verdauungstrakt) durch zum Beispiel Waschdetergenzien (Haut), verkehrsbedingte Luftverschmutzung (Lunge) oder eingesetzte Enzyme in industriell verarbeiteter Nahrung (Verdauungstrakt) die Allergieentwicklung eher begünstigen (Akdis, 2022; Celebi Sozener et al., 2022). Bedeutsam ist auch, dass durch bestimmte Maßnahmen, zum Beispiel im Rahmen der europäischen Chemikalienregulation und der Verordnung für Kosmetische Mittel (Verordnung (EG) 1169/2011) unter Mitwirkung des SCCS¹ das Vorkommen von Nickelallergien oder Allergien auf das Konservierungsmittel Methylisothiazolinon (MI) reduziert werden konnten (Ahlstrom et al., 2017; Johansen et al., 2022). Diese und weitere interessante Aspekte, die hier nicht alle wiedergegeben werden können, hat die abteilungsübergreifende AG Allergie am BfR in einem kürzlich erschienenen [Wissenschaftsbericht](#) zusammengetragen.

¹ Scientific Committee on Consumer Safety, Wissenschaftlicher Ausschuss für Verbrauchersicherheit der EU-Kommission

Nahrungsmittelallergene

Um Verbraucherinnen und Verbraucher mit einer Nahrungsmittelallergie eine sichere Lebensmittelauswahl zu ermöglichen, müssen in der Europäischen Union (EU) gemäß der Lebensmittel-Informationsverordnung (LMIV) die 14 häufigsten Auslöser von Allergien und Unverträglichkeiten gekennzeichnet werden, wenn sie als Zutat verwendet werden. Dies gilt unabhängig von ihrer Menge im Endprodukt, also auch, wenn nur kleinste Mengen als Zutat zugesetzt werden. Folgende Stoffe sowie daraus hergestellte Erzeugnisse sind demnach verpflichtend auf der Verpackung von Lebensmitteln – optisch hervorgehoben im Zutatenverzeichnis – zu kennzeichnen: glutenhaltiges Getreide (namentlich Weizenarten (wie Dinkel), Roggen, Gerste, Hafer oder Mischstämme davon), Krebstiere, Eier, Fische, Erdnüsse, Sojabohnen, Milch, Schalenfrüchte (namentlich Mandeln, Haselnüsse, Walnüsse, Cashewnüsse, Pekannüsse, Paranüsse, Pistazien, Macadamia- oder Queenslandnüsse), Sellerie, Senf, Sesamsamen, Schwefeldioxid und Sulfite (ab 10 Milligramm pro Kilogramm oder pro Liter), Lupinen und Weichtiere (EU, 2011). Ein Beispiel für eine solche Kennzeichnung ist in [□ Abbildung 1](#) zu finden. Falls bestimmte Lebensmittelbestandteile durch industrielle Verarbeitungsprozesse derart verändert werden, dass eine allergene Wirkung nicht länger zu erwarten ist, besteht die Möglichkeit einer Befreiung von der Allergenkennzeichnungspflicht (z.B. Glukosesirup auf Weizenbasis). Diesbezüglich ist eine individuelle Prüfung und Bestätigung durch die europäische Lebensmittelbehörde (EFSA) erforderlich.

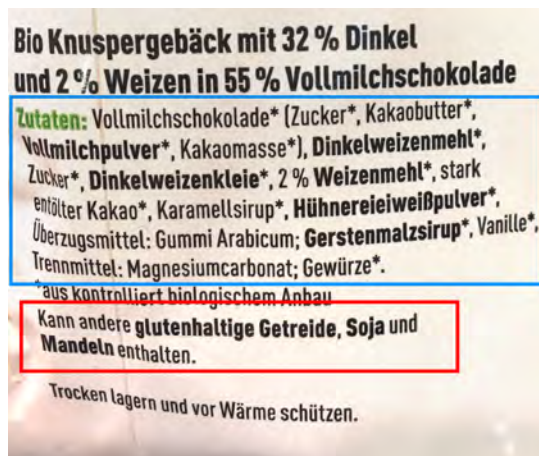
Zudem gelten für bestimmte neuartige Lebensmittel („Novel Foods“) neben Kennzeichnungsvorgaben der LMIV spezifische verpflichtende Allergiehinweise insbesondere aufgrund möglicher Kreuzreaktionen. Hierzu gehören auch für den Verzehr vorgesehene Insekten. Aktuell sind nach erfolgter Risikobewertung durch die EFSA in der EU vier Insektenarten in unterschiedlichen Darreichungsformen in Lebensmitteln zugelassen: die Larven des gelben Mehlwurms (*Tenebrio molitor*), die europäische Wanderheuschrecke (*Locusta migratoria*), das Heimchen (*Acheta domesticus*) und die Larven des glänzend-schwarzen Getreideschimmelkäfers (*Alphitobius diaperinus*). Es besteht die Möglichkeit, dass es zu allergischen Reaktionen aufgrund von Kreuzallergien mit Hausstaubmilben und Schalentieren kommt (de Gier et al., 2018). Das BfR forscht zum Vorkommen möglicher Allergene in neuartigen Lebensmitteln, wie zum Beispiel Insekten, den biologischen Grundlagen, auch in Bezug auf potenzielle Primärsensibilisierungen und Kreuzallergien. Zudem werden in Zusammenarbeit mit der Allergologie der Charité Berlin *In-vitro*-Nachweisverfahren für Insektenallergene wie Tropomyosin entwickelt.

Im Gegensatz zur Deklaration von allergenen Zutaten in Lebensmitteln stellt die bislang fehlende gesetzliche Kennzeichnungsregelung von unbeabsichtigten Allergeneinträgen für Verbraucherinnen und Verbraucher ein Problem dar. Die Ursachen sind vielfältig: So können allergene Stoffe durch die Verwendung von Zutaten oder Rohstoffen, die bereits Allergeneinträge enthalten, in das Lebensmittel gelangen, ohne dass dies dem Hersteller bekannt ist. Des Weiteren kann eine Verschleppung allergener Stoffe zum Beispiel bei der Herstellung oder Verpackung der Ware erfolgen. Entsprechende Hinweise auf Verpackungen, beispielsweise „Kann Spuren von ... enthalten“, sind freiwillig. Zahlreiche Hersteller verwenden sie jedoch vorsorglich, auch aus haftungsrechtlichen Gründen. Bislang ist es Verbraucherinnen und Verbrauchern nicht möglich, anhand eines vorhandenen beziehungsweise fehlenden Hinweises zu erkennen, ob und in welcher Menge ein Allergen im

Lebensmittel tatsächlich enthalten ist und auf welcher Grundlage der Hinweis des Herstellers basiert.

Die Diskussion um ein standardisiertes Vorgehen zur Deklaration von unbeabsichtigten Allergeneinträgen in Lebensmitteln auf Basis von Schwellenwerten für maximal zu tolerierende Allergenmengen wird bereits seit mehreren Jahren geführt (BfR, 2020). Ziel dabei ist der einheitliche Verzicht auf eine vorsorgliche Kennzeichnung unbeabsichtigter Einträge, falls entsprechende Schwellenwerte nicht überschritten werden, sowie eine Kennzeichnung bei Überschreitung der Schwellenwerte. Im Jahr 2022 wurden von einem internationalen Expertengremium vorgeschlagene Referenzdosen unter Verwendung von klinischen Daten und mathematischen Modellrechnungen neu ermittelt (WHO, 2023). Derzeit wird bei der WHO und der EU-Kommission, unter Beteiligung des BfR, eine Kennzeichnungsregelung für unbeabsichtigte Allergeneinträge auf Basis von Empfehlungen zu Referenzdosen diskutiert.

Abbildung 1



Beispiel für Kennzeichnung von Nahrungsmittelallergenen auf vorverpackter Ware. Blauer Kasten: Kennzeichnung von Zutaten, Allergene sind **fett** gedruckt; Roter Kasten: Warnhinweis für unbeabsichtigte Allergeneinträge.

Sensibilisierende Chemikalien

Bei der Risikobewertung von sensibilisierenden Chemikalien geht es vor allem darum, die Entstehung neuer Allergien, also die Sensibilisierung von Menschen, zu verhindern. Aber auch bereits sensibilisierte Menschen sollen geschützt werden. Mit diesem Ziel bewertet das BfR chemische Stoffe, die unter die REACH²- und CLP-Verordnung sowie EU-Verordnungen zu Biozidprodukten und Pflanzenschutzmitteln fallen. Dazu müssen von Herstellern oder Importeuren Informationen zu den toxikologischen Eigenschaften der Stoffe, einschließlich möglicher haut- oder atemwegssensibilisierender Eigenschaften, vorgelegt werden.

2 REACH – europäische Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe; CLP – EU-Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, EU-Verordnung über Biozidprodukte, die EU-Pflanzenschutzmittelverordnung

Das BfR beteiligt sich in diesem Zusammenhang an der Einstufung und Kennzeichnung der Stoffe gemäß CLP-Verordnung. Dies gilt auch für Wirkstoffe, die im Rahmen der Biozidprodukte- und Pflanzenschutzmittel-Verordnungen bewertet werden. Die Kennzeichnung dient dabei der Gefahrenkommunikation bei sensibilisierenden Stoffen. Auch Gemische, die sensibilisierende Stoffe in Konzentrationen oberhalb bestimmter Grenzwerte enthalten (*generic concentration limit GCL*), müssen mit dem entsprechenden Gefahrensymbol und Gefahrenhinweis (H317: „Kann allergische Hautreaktionen verursachen“ bzw. H334: „Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen“) gekennzeichnet werden (□ **Abbildung 2**). Im Einzelfall können diese Grenzwerte gegebenenfalls stoffspezifisch angepasst werden (*specific concentration limit, SCL*).

Abbildung 2



Kennzeichnung von sensibilisierenden Chemikalien auf einem Spülmittel

Um bereits sensibilisierte Menschen zu schützen, werden ausgehend vom GCL oder SCL sogenannte Konzentrationsgrenzen für die Auslösung (einer bestehenden Allergie) abgeleitet, welche sicherheitshalber 10-fach niedriger angesetzt werden. Sind in einem Gemisch, das nicht als sensibilisierend eingestuft ist, Stoffe in einer Konzentration größer oder gleich des entsprechenden Konzentrationsgrenzwertes für die Auslösung enthalten, erhält dieses die Kennzeichnung mit dem EU-Gefahrensatz 208: „Enthält [Substanzname]. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.“

Prüfmethode, die den Schluss zulassen, dass ein Stoff ein potenzielles Kontaktallergen ist, umfassten viele Jahre *In vivo*-Prüfungen im Tier, zum Beispiel den lokalen Lymphknotentest in der Maus. Seit jüngster Zeit stehen jedoch tierversuchsfreie Prüfmethode an erster Stelle, welche die Schlüsselereignisse der Hautsensibilisierung adressieren. Dabei werden die Bindung eines Stoffes an körpereigene Eiweiße (*in chemico*, oder – am Computer berechnet – *in silico*), die Entzündungsreaktion in Hautzellen (Keratinocyten) und in Immunzellen der Haut (dendritische Zellmodelle) untersucht (*in vitro*). Für den finalen Schritt der T-Zell-Aktivierung gibt es noch keinen von den Behörden anerkannten Test; daran wird am BfR geforscht (s. Abschnitt zum Studienzentrum Dermatotoxikologie). Tierstudien sind nur zulässig, wenn alternative Methoden nicht anwendbar oder ihre Ergebnisse nicht aussagekräftig sind. Auch das BfR fördert und entwickelt tierversuchsfreie Methoden zur Prüfung sensibilisierender Eigenschaften. So war das BfR beispielsweise an der Erstellung der OECD-Testrichtlinie 497 (OECD TG 497) beteiligt, die definierte Ansätze beschreibt, wie *In-vitro*-, *In-chemico*- und *In-silico*-Prüfmethode zur Einstufung von Stoffen als Hautallergene kombiniert werden können (OECD, 2023).

Außerdem ist das BfR in internationalen Gremien vertreten, in denen es darum geht, einen Ansatz zu entwickeln, der möglicherweise eine quantitative Beurteilung des Risikos durch einzelne Hautsensibilisierer zuließe. So sollen in OECD TG 497 aktuell computergestützte Modelle aufgenommen werden, die die Identifikation eines stoffspezifischen Konzentrationswerts als Ausgangspunkt (*point of departure*, PoD) für eine solche Beurteilung ermöglichen sollen. Dazu werden die Modelle in der Regel mit bekannten humanen, tierexperimentellen oder *In-vitro*-Daten gefüttert. Basierend auf der wissenschaftlich-fundierten Annahme, dass je nach Stoff eine bestimmte Konzentration pro Quadratzentimeter Haut nötig ist, um eine Sensibilisierung hervorzurufen (der PoD), ließe sich für jeden Sensibilisierer ausgehend vom PoD unter Zuhilfenahme von Sicherheitsfaktoren eine Konzentration errechnen, bei der eine Sensibilisierung mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Eine solche Konzentration könnte dann mit der tatsächlichen Exposition gegenüber einem Stoff (z.B. in Pflanzenschutzmitteln) verglichen werden. So ließe sich feststellen, ob eine sichere Anwendung eines Produkts, das einen sensibilisierenden Stoff enthält, möglich ist. In der Praxis gibt es für diese Ansätze jedoch einige Hürden zu überwinden. Dazu gehören die Ermittlung sinnvoller Sicherheitsfaktoren, mit denen der PoD bei der Übertragung auf den lebenden Menschen verrechnet werden muss, und die Erhebung aussagekräftiger Expositionsdaten. Diese Punkte zeigen, dass weitere Forschungsanstrengungen zur Datengenerierung – von zum Beispiel unterschiedlich potenten Sensibilisierern und ihren zugehörigen stoffspezifischen PoDs – notwendig sind, um solche Modelle zuverlässig zu entwickeln und zu etablieren.

Derzeit gibt es noch keine anerkannten *In-vivo*- oder *In-vitro*-Prüfungen, die die Schlussfolgerung zulassen, dass es sich bei einer Chemikalie um ein Inhalationsallergen (auch: Atemwegssensibilisierer) handelt oder wie ein sicherer Schwellenwert für atemwegssensibilisierende Stoffe abgeleitet werden kann. Erfahrungen am Menschen können als Nachweis dienen, dass ein Stoff eine Allergie der Atemwege hervorrufen kann. Inhalationsallergene führen üblicherweise zu Asthma, jedoch können auch andere Überempfindlichkeitsreaktionen wie Schnupfen (Rhinitis), Bindehautentzündung (Konjunktivitis) oder Entzündungen der Lungenbläschen (Alveolitis) auftreten. Tierstudien können Hinweise auf atemwegssensibilisierende Eigenschaften von Stoffen geben. An der Weiterentwicklung einer Strategie zur Bewertung von potenziell atemwegssensibilisierenden Stoffen ist das BfR ebenfalls beteiligt.

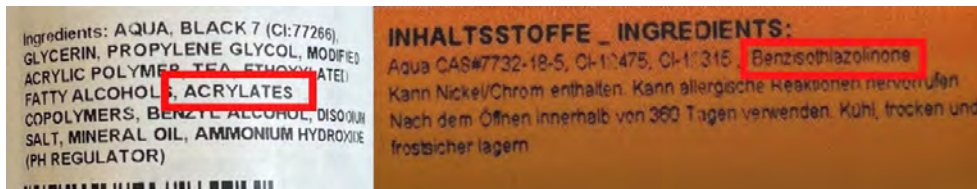
Eine weitere Aufgabe des BfR liegt in der gesundheitlichen Risikobewertung für Verbraucher und der Identifikation von Risikominderungsmaßnahmen gemäß der REACH-Verordnung. Ein Beispiel hierfür ist die Beschränkung gefährlicher Stoffe in Tätowiermitteln (EU, 2020) oder die Beschränkung von Nickel in Verbraucherprodukten gemäß Eintrag 27 Anhang XVII der REACH-Verordnung (VO (EG) Nr. 1907/2006). Zusätzlich wurden vom BfR verschiedene gesetzliche Wege aufgezeigt, die die Verbraucherinnen und Verbraucher vor sensibilisierenden Stoffen und Produkten schützen und Risiken vermindern sollen (Luch et al., 2019).

Tattooallergene

Tätowiermittel, zu denen auch die Farben für Permanent-Make-up gehören, bestehen aus vielen Einzelsubstanzen. Mindestens ein Drittel der chronischen Unverträglichkeits-

reaktionen auf Tattoos sind allergische Reaktionen (Schubert et al., 2023a). Aufgrund des permanenten Einschlusses der Farbbestandteile in der Haut sind allergische Reaktionen auf Tätowiermittel nicht leicht zu behandeln, was eine Entfernung des Tattoos notwendig machen kann. Beim Tätowieren werden die Mittel direkt in die Haut eingebracht. Dort besteht Kontakt mit Immunzellen und Lymphflüssigkeit, was zu einer spezifischen Reaktion des Immunsystems führen kann, gegebenenfalls verstärkt durch die Verletzung während der Tätowierung. Die Identifikation der wichtigsten ursächlichen Allergene ist nach wie vor Gegenstand aktueller Forschung, auch am BfR. In Frage kommen mehrere Substanzen in Tätowiermitteln, beispielsweise Pigmente, Konservierungsmittel oder Schwermetalle wie Nickel. Aber auch andere chemische Verunreinigungen von Inhaltsstoffen können zu allergischen Reaktionen führen. Es gibt Hinweise, dass bestimmte Farbpigmente, insbesondere rote Farben, verstärkt allergische Reaktionen verursachen (Weiss et al., 2021). Die Pigmente P.R. 22, P.R. 170 und P.R. 210 wurden am BfR als die häufigsten Pigmente identifiziert, die chronische allergische Reaktionen bei roten Tätowierungen verursachen (Serup et al., 2020). Bei den Konservierungsstoffen sind Isothiazolinon-Derivate, wie beispielsweise das hautsensibilisierende Benzisothiazolinon (BIT) die am häufigsten nachgewiesenen Allergene sowohl in Tätowiermitteln als auch in Permanent-Make-up-Formulierungen (Famele et al., 2022) (□ Abbildung 3). Zudem werden in Tätowiermitteln Polymere wie Acrylate eingesetzt, die noch mit ihren Einzelbausteinen – den Monomeren – verunreinigt sein können (□ Abbildung 3). Allergien auf Acrylmonomere sind vor allem durch Kleber für künstliche Fingernägel bekannt.

Abbildung 3



Kennzeichnung von Tätowiermitteln, die sensibilisierende Chemikalien oder Polymere mit sensibilisierenden Monomeren enthalten

Ein Teil der allergischen Reaktionen kann direkt nach der Tätowierung auftreten und ist dann ein Hinweis auf eine bereits vorhandene Allergie. Andere Reaktionen treten erst Monate bis Jahre nach dem Tätowieren auf. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der allergieauslösende Baustein wahrscheinlich durch einen chemischen Abbau des Pigments und/oder durch langsame Umwandlung mit körpereigenen Enzymen gebildet wird. Dabei können sich die Farbpigmente durch UV-, sichtbares oder infrarotes (IR) Licht von Sonnenlicht oder anderen Quellen zersetzen und neue, möglicherweise allergene Produkte mit einer deutlichen zeitlichen Verzögerung entstehen (Bäumler et al., 2019; Hering et al., 2018). Auch die hohe Intensität der Laserstrahlung, die bei der Entfernung von Tätowierungen eingesetzt wird, kann verschiedene Abbauprodukte erzeugen. Alternativ kann auch eine andere akute Exposition eine Sensibilisierung hervorgerufen haben (Serup et al., 2014). Ein Beispiel für diesen letzten Punkt sind Fallberichte, bei denen im Zusammenhang mit einer allergischen Reaktion in einem neuen Tattoo auch die gleiche Farbe in älteren Tätowierungen plötzlich Anzeichen einer Allergie zeigt.

Die Identifikation der auslösenden Stoffe ist jedoch komplex. Da Pigmente unzureichend in tiefere Hautschichten eindringen, wenn man sie auf die Haut aufträgt, ist die Prüfung auf Allergien gegen Tätowierpigmente mittels Epikutantest (Patch-Test) nur eingeschränkt aussagekräftig. Laufende Forschungsaktivitäten zielen darauf ab, dies durch den Nachweis von spezifischen T-Zellen gegen Tätowiermittelallergene im Blut von Allergiepateinten zu umgehen und die Beurteilung der klinischen Relevanz von positiven Epikutantests zu unterstützen (Schubert et al., 2023b). Zudem beteiligt sich das BfR an Epikutanteststudien mit tätowiermittelrelevanten Allergenen.

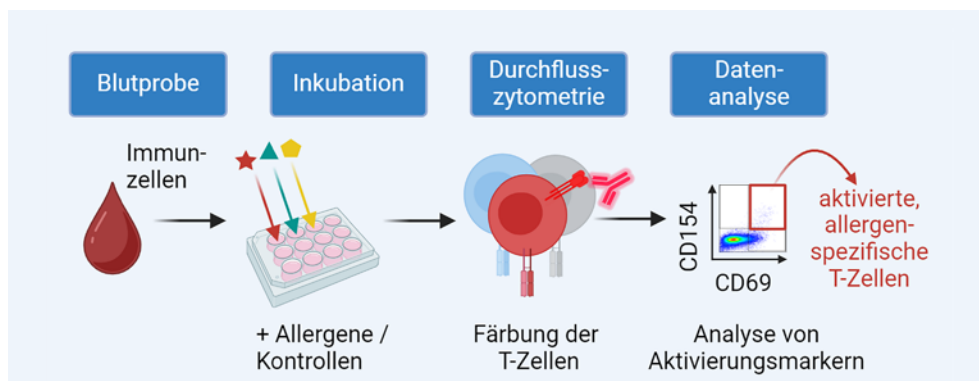
Stoffe mit bekannten gesundheitsschädlichen Wirkungen inklusive möglicher sensibilisierender Eigenschaften sind in Tätowiermitteln und Permanent-Make-up im Rahmen der REACH-Verordnung beschränkt (Eintrag 75, Anhangs XVII) (EU, 2020). Diese Regulation legt Höchstkonzentrationen für solche Stoffe fest, weitere Informationen finden Sie [hier](#). Die künftige Forschung wird zeigen, wie sich die neue Gesetzeslage auf das Vorkommen allergischer Reaktionen bei Tätowierungen auswirken wird.

Das Studienzentrum Dermatotoxikologie

Das Studienzentrum Dermatotoxikologie wurde im Februar 2021 in der Abteilung Chemikalien- und Produktsicherheit des BfR gegründet. Es dient der langfristigen Schwerpunktsetzung im strategisch wichtigen Bereich der interdisziplinären Forschung zu (immun-)toxischen Wirkungen von Substanzen, inklusive allergischer Reaktionen.

Wie schon beschrieben, kann der Kontakt mit sensibilisierenden Chemikalien zu einer allergischen Kontaktdermatitis führen, welche von T-Zellen vermittelt wird. Die Aktivierung von T-Zellen ist bislang jedoch nur unzureichend verstanden und es gibt keine validierte *In-vitro*-Methode, welche die T-Zell-Aktivierung misst. Dieses fehlende Puzzlestück bei der Gefahrenermittlung von Chemikalien adressiert das Studienzentrum direkt, indem ein neuer, schneller und umfassender T-Zell-Test entwickelt wird ([Abbildung 4](#)) (Curato et al., 2022; Riedel et al., 2023; Riedel et al., 2021).

Abbildung 4



Neuer T-Zell-Test für sensibilisierende Chemikalien. Zu menschlichen Immunzellen (z. B. aus Restprodukten von Blutspenden) werden Allergene gegeben. Nach wenigen Stunden werden gegebenenfalls aktivierte T-Zellen über einen hochregulierten Oberflächenmarker detektiert. Die Methode ist quantitativ und erlaubt weitere Analysen, da lebende aktivierte Zellen sortiert werden können. Created in BioRender. Siewert, K. (2024) <https://BioRender.com/j97h387>

Der neue Test wurde zunächst auf Metallallergene angewandt, da die meisten Menschen auf diese im Epikutantest reagieren (~11% auf Nickel, 3% auf Kobalt, 2% auf Chrom) (Alinaghi et al., 2019). Am BfR konnte gezeigt werden, dass Metallionen ungewöhnlich viele T-Zellen aktivieren, durch Wechselwirkungen mit bestimmten Bereichen des T-Zell-Rezeptors (Riedel et al., 2023; Riedel et al., 2021). Es bleibt abzuwarten, ob eine ähnlich starke T-Zell-Aktivierung auch bei anderen sensibilisierenden Chemikalien auftritt und ob dies mit einem gehäuftem Allergievorkommen einhergeht und regulatorisch erfasst werden sollte.

Ein zweites Anwendungsfeld für den neuen T-Zell-Test ist die Erfassung von Kreuzreaktionen. Bisher ist unklar, ob bei einem Menschen, der auf zwei verschiedene, gegebenenfalls strukturell ähnliche Allergene reagiert, die gleichen T-Zellen beteiligt sind oder nicht, das heißt ob eine echte Kreuzallergie vorliegt. Über die Analyse der T-Zell-Rezeptoren kann diese Frage adressiert und künftig eventuell auch regulatorisch erfasst werden (Riedel et al., 2023). Die Fragestellung der Kreuzreaktivität ist auch für Lebensmittelallergene relevant. Daher untersucht das Studienzentrum Dermatotoxikologie in Kooperation mit der Abteilung für Lebensmittelsicherheit und der [Coplant-Studie](#) mögliche Reaktionen auf Insekten als neuartige Lebensmittel bei Menschen mit bereits bestehender Hausstaubmilben- oder Krustentierallergie. Im Rahmen der [„Tattoo-Studie 2.0“](#) des Informationsverbunds Dermatologischer Kliniken (IVDK) wird der T-Zell-Assay auch auf potenzielle Tattoo-Allergene angewendet (Schubert et al., 2023b).

Weitere Forschungsgebiete des Studienzentrums sind immuntoxische Wirkungen von Chemikalien wie zum Beispiel ein entzündlicher Effekt von Bisphenol A, die Entwicklung von Hautmodellen sowie die Verteilung und der Metabolismus von Tätowierfarben im Menschen. All diese Methoden werden mit menschlichen Proben oder Zellen durchgeführt, mit dem übergeordneten Ziel, Alternativmethoden zu entwickeln und Tierversuche zu ersetzen oder zu reduzieren.

Übergreifende Forschung zu Konservierungsmitteln und Bioziden

Ein weiteres abteilungsübergreifendes Forschungsfeld betrifft das niedermolekulare, organische Konservierungsmittel 2-Methyl-2H-isothiazol-3-on (MI), welches chemisch mit dem BIT (s.o.) verwandt ist. Es wird in vielen Verbraucherprodukten verwendet, wie zum Beispiel in den sogenannten *Rinse-off*-Kosmetika, die als abzuspülende Mittel nur eine kurze Zeit mit der Haut in Berührung kommen. Da neben dem positiven Effekt von MI, die Entwicklung von Mikroorganismen zu hemmen (Schutz vor Pilz- und Bakterienbefall), das Molekül bei hautsensibilisierten Personen auch eine Allergie hervorzurufen vermag, wurde die Höchstkonzentration in gebrauchsfertigen *Rinse-off*-Zubereitungen deutlich reduziert und in *Leave-on*-Zubereitungen verboten. So dürfen Shampoos nach der inzwischen aktualisierten europäischen Kosmetikverordnung maximal 0,0015 Prozent MI enthalten (Verordnung (EG) 1223/2009, Fassung v. 24.04.2024). Diese Maßnahmen haben zu einer Verminderung von MI-Allergien geführt (s.o.). Gleichwohl ist über die molekularen Mechanismen der MI-Allergie wenig bekannt, weder über die initiale Bindung an körpereigene

Eiweiße (Selbstproteine), als Voraussetzung für eine Allergieentstehung³, noch über komplexere MI-spezifische T-Zell-Antworten (Poppo et al., 2016). Daher werden aktuell vier Forschungsfragen zu MI bearbeitet: 1) Es wurden an Selbstproteinen der humanen Haut genau die Bindestellen massenspektrometrisch identifiziert, die zur Immunogenität³ von MI beitragen könnten (Haptenisierung). 2) Die biochemische Stabilität dieser Bindung während der Antigenprozessierung wird analysiert. Eine stabile Bindung ist erforderlich, um ein MI-modifiziertes Peptid präsentieren zu können, und damit eine direkte MI-spezifische T-Zell-Antwort auslösen zu können. 3) Mögliche neue immunmodulatorische Mechanismen von MI werden untersucht, die unabhängig vom klassischen Typ-IV-Allergie-Konzept verlaufen und in anderer, stoffspezifischer Form (aufgrund der chemischen Eigenschaften von MI) z.B. über eine Beeinträchtigung der molekularen Antigenerkennung auf das Immunsystem wirken könnten (Wolf et al., 2023). 4) Es wird untersucht, ob sich jeweilige Isothiazolinone in Gemischen (z.B. MI und BIT), so wie sie in der Praxis auch bei Produkten eingesetzt werden, wechselseitig beeinflussen und ihre immunologischen oder immuntoxikologischen Einzeleffekte verändern, verstärken oder vermindern. Bereits gewonnene Erkenntnisse werden aktuell experimentell überprüft, und können möglicherweise erklären helfen, warum *in vitro* kaum T-Zell-Reaktionen gegenüber MI gemessen werden (können), und insgesamt dazu beitragen, zu einem besseren molekularen Grundverständnis der MI-Allergie und ihrer Gemische zu gelangen sowie daraus neu angepasste diagnostische und präventive Maßnahmen abzuleiten.

Fazit und Ausblick

Allergien bleiben ein wichtiges Thema, das sehr viele Menschen betrifft. Offene Forschungsfelder zum Thema Allergien bestehen sowohl in der regulatorischen als auch diagnostischen Testentwicklung. Des Weiteren stellen die Erfassung der individuellen Stärke (Potenz) von Allergenen und die Empfindlichkeit verschiedener Menschen weiterhin eine Herausforderung bei der Bestimmung von Schwellenwerten für Sensibilisierungs- und Auslösephasen dar. Das BfR trägt mit seinen vielfältigen Aufgaben in Risikobewertung und Forschung dazu bei, die Datenlage umfassend zu bewerten und auch selbst aktiv zu verbessern, um einen bestmöglichen Schutz der Bevölkerung zu erreichen. [BfR] ●

Referenzen

- [1] Ahlstrom, M. G., Thyssen, J. P., Menne, T., et al. (2017). Prevalence of nickel allergy in Europe following the EU Nickel Directive – a review. *Contact Dermatitis*, 77(4), 193–200. <https://doi.org/10.1111/cod.12846>
- [2] Akdis, C. A. (2022). The epithelial barrier hypothesis proposes a comprehensive understanding of the origins of allergic and other chronic noncommunicable diseases. *J Allergy Clin Immunol*, 149(1), 41–44. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.11.010>
- [3] Alinaghi, F., Bennike, N. H., Egeberg, A., et al. (2019). Prevalence of contact allergy in the general population: A systematic review and meta-analysis. *Contact Dermatitis*, 80(2), 77–85. <https://doi.org/10.1111/cod.13119>

³ Kleine, niedermolekulare organische Moleküle wie MI oder BIT (< 500 Dalton) binden an Selbstproteine, werden auf diese Weise für das Immunsystem „sichtbar“ und starten dadurch die humane Kontaktallergie, ungebunden werden sie nicht erkannt (Schlüsselreaktion; MIE, engl. *molecular initiation event* bei der Kontaktallergie)

- [4] Bäumlner, W., & Weiss, K. T. (2019). Laser assisted tattoo removal – state of the art and new developments. *Photochem Photobiol Sci*, 18(2), 349–358. <https://doi.org/10.1039/c8pp00416a>
- [5] BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung. (2024). Die COPLANT-Studie Forschung zu pflanzenbasierter Ernährung. <https://www.bfr.bund.de/de/coplant-studie.html>
- [6] BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung. (2021). Blackbox Allergie. *BfR2GO* 1, 30–33. https://www.bfr.bund.de/de/publikation/bfr2go__ausgabe_1_2021__schwerpunkt_angst-275228.html
- [7] BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung. (2020). „VITAL 3.0“: Neue und aktualisierte Vorschläge für Referenzdosen von Lebensmittelallergenen. Stellungnahme des BfR, Nr. 015/2020. <https://www.doi.org/10.17590/20200309-130710>
- [8] Burbank, A. J., Sood, A. K., Kesic, M. J., et al. (2017). Environmental determinants of allergy and asthma in early life. *J Allergy Clin Immunol*, 140(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.05.010>
- [9] Celebi Sozener, Z., Ozdel Ozturk, B., Cerci, P., et al. (2022). Epithelial barrier hypothesis: Effect of the external exposome on the microbiome and epithelial barriers in allergic disease. *Allergy*, 77(5), 1418–1449. <https://doi.org/10.1111/all.15240>
- [10] Curato, C., Aparicio-Soto, M., Riedel, F., et al. (2022). Frequencies and TCR Repertoires of Human 2,4,6-Trinitrobenzenesulfonic Acid-specific T Cells. *Front Toxicol*, 4, 827109. <https://doi.org/10.3389/ftox.2022.827109>
- [11] de Gier, S., & Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100, 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>
- [12] ECHA – European Chemicals Agency. (2024). Chemikalien mit hautsensibilisierenden Eigenschaften. Abgerufen am 19. Juli 2024 von <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/skin-sensitising-chemicals>
- [13] EU – Europäische Union. (2011). Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1924/2006 und (EG) Nr. 1925/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinie 87/250/EWG der Kommission, der Richtlinie 90/496/EWG des Rates, der Richtlinie 1999/10/EG der Kommission, der Richtlinie 2000/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2002/67/EG und 2008/5/EG der Kommission und der Verordnung (EG) Nr. 608/2004 der Kommission. *Amtsblatt der Europäischen Union (EU)*, L 304/18–63
- [14] EU – Europäische Union. (2020). Verordnung (EU) 2020/2081 der Kommission vom 14. Dezember 2020 zur Änderung des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) betreffend Stoffe in Tätowierfarben oder Permanent-Make-up. *Amtsblatt der Europäischen Union (EU)*, L 423/6–17
- [15] Famele, M., Lavalle, R., Leoni, C., et al. (2022). Quantification of preservatives in tattoo and permanent make-up inks in the frame of the new requirements under the REACH Regulation. *Contact Dermatitis*, 87(3), 233–240. <https://doi.org/10.1111/cod.14105>
- [16] Hering, H., Sung, A. Y., Roder, N., et al. (2018). Laser Irradiation of Organic Tattoo Pigments Releases Carcinogens with 3,3'-Dichlorobenzidine Inducing DNA Strand Breaks in Human Skin Cells. *J Invest Dermatol*, 138(12), 2687–2690. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.05.031>
- [17] IVDK – Informationsverbund Dermatologischer Kliniken. (2024). Tattoo Studie. <https://www.ivdk.org/de/aktivitaeten/tattoo-studie/>
- [18] Johansen, J. D., Bonefeld, C. M., Schwensen, J. F. B., et al. (2022). Novel insights into contact dermatitis. *J Allergy Clin Immunol*, 149(4), 1162–1171. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2022.02.002>

- [19] Jutel, M., Agache, I., Zemelka-Wiacek, M., et al. (2023). Nomenclature of allergic diseases and hypersensitivity reactions: Adapted to modern needs: An EAACI position paper. *Allergy*, 78(11), 2851-2874. <https://doi.org/10.1111/all.15889>
- [20] Luch, A., & Thierse, H. J. (2019). Consumer protection and risk assessment: sensitising substances in consumer products. *Allergo J Int* 28(338), 167–182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40629-019-00112-7>
- [21] OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). Guideline No. 497: Defined Approaches on Skin Sensitisation OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4.
- [22] Pfefferle, P. I., Keber, C. U., Cohen, R. M., et al. (2021). The Hygiene Hypothesis – Learning From but Not Living in the Past. *Front Immunol*, 12, 635935. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.635935>
- [23] Popple, A., Williams, J., Maxwell, G., et al. (2016). T lymphocyte dynamics in methylisothiazolinone-allergic patients. *Contact Dermatitis*, 75(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/cod.12600>
- [24] Riedel, F., Aparicio-Soto, M., Curato, C., et al. (2023). Unique and common TCR repertoire features of Ni(2+) -, Co(2+) -, and Pd(2+) -specific human CD154 + CD4+ T cells. *Allergy*, 78(1), 270–282. <https://doi.org/10.1111/all.15494>
- [25] Riedel, F., Aparicio-Soto, M., Curato, C., et al. (2021). Immunological Mechanisms of Metal Allergies and the Nickel-Specific TCR-pMHC Interface. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph182010867>
- [26] Scheinman, P. L., Vocanson, M., Thyssen, J. P., et al. (2021). Contact dermatitis. *Nat Rev Dis Primers*, 7(1), 38. <https://doi.org/10.1038/s41572-021-00271-4>
- [27] Schubert, S., Kluger, N., & Schreiber, I. (2023a). Hypersensitivity to permanent tattoos: Literature summary and comprehensive review of patch tested tattoo patients 1997-2022. *Contact Dermatitis*, 88(5), 331–350. <https://doi.org/10.1111/cod.14291>
- [28] Schubert, S., Wolf, C., Schreiber, J., et al. (2023b). Tattoo allergy—diagnosis on a circuitous route? *Allergo J Int*, 33, 60–66. <https://doi.org/10.1007/s40629-023-00280-7>
- [29] Serup, J., Hutton Carlsen, K., Dommershausen, N., et al. (2020). Identification of pigments related to allergic tattoo reactions in 104 human skin biopsies. *Contact Dermatitis*, 82(2), 73–82. <https://doi.org/10.1111/cod.13423>
- [30] Serup, J., & Hutton Carlsen, K. (2014). Patch test study of 90 patients with tattoo reactions: negative outcome of allergy patch test to baseline batteries and culprit inks suggests allergen(s) are generated in the skin through haptization. *Contact Dermatitis*, 71(5), 255–263. <https://doi.org/10.1111/cod.12271>
- [31] Weiland, S. K., von Mutius, E., Hirsch, T., et al. (1999). Prevalence of respiratory and atopic disorders among children in the East and West of Germany five years after unification. *Eur Respir J*, 14(4), 862–870. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3003.1999.14d23.x>
- [32] Weiss, K. T., Schreiber, I., Siewert, K., et al. (2021). Tattoos – more than just colored skin? Searching for tattoo allergens. *J Dtsch Dermatol Ges*, 19(5), 657–669. <https://doi.org/10.1111/ddg.14436>
- [33] WHO – World Health Organization. (2024). Allergen Nomenclatur. Abgerufen am 19. Juli 2024 von <https://www.allergen.org>
- [34] WHO – World Health Organization. (2023). Risk assessment of food allergens: part 2: review and establish threshold levels in foods for the priority allergens: meeting report. *Food Safety and Quality Series* 15
- [35] Wolf, S., Körber, A., El-Itani, G., et al. (2023). Transient modification of lysosomal cys-proteases by the electrophilic hapten methylisothiazolinone may affect antigen presentation and immune responses. [Abstract]. *Toxicology Letters* 384S1, 168

Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit (GerES): Welche Aussagen über Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern sind möglich?

German Environmental Study (GerES): What conclusions can be drawn regarding the connections between environmental influences and health parameters?

Myriam Tobollik, Enrico Rucic, Dietrich Plaß, Wolfgang Straff

Kontakt

Dr. Myriam Tobollik | Umweltbundesamt | Fachgebiet II 1.5 – Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung |
Corrensplatz 1 | 14195 Berlin, | E-Mail: myriam.tobollik@uba.de |
Umweltbundesamt | Abteilung Umwelthygiene

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt (UBA) führt seit vielen Jahren regelmäßig die *Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit* (GerES) durch. Diese liefert wertvolle Daten zur umweltbezogenen Belastung der in Deutschland lebenden Bevölkerung. Kinder und Jugendliche wurden zuletzt in GerES V (2014–2017) untersucht. Durch die Anbindung an die *Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland* (KiGGS Welle 2) des Robert Koch-Instituts konnten Umwelt- mit Gesundheitsdaten auf Ebene der einzelnen Teilnehmenden miteinander verknüpft werden. Ziel der mit GerES V assoziierten Studie *Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern* war, statistische Zusammenhänge zwischen Umweltbelastungen und gesundheitlichen Parametern auf Basis der GerES V-Daten zu prüfen und, wo möglich, anhand explorativer Analysen neue Hypothesen für weiterführende Studien abzuleiten. Der Artikel stellt Ergebnisse exemplarisch für leichtflüchtige organische Verbindungen und hier speziell für Aldehyde vor. Letztere wurden ausgewählt, weil für diese Stoffe statistisch signifikante Zusammenhänge gefunden wurden. Zudem werden die Besonderheiten in den Auswertungen und ausgewählte Ergebnisse für Passivrauch, Lärm und ultrafeine Partikel erläutert. Insgesamt zeigte sich, dass Hypothesen über Zusammenhänge zwischen Umweltschadstoffen und anderen Einflüssen mit gesundheitlichen Effekten mit diesem Studienmodell nur eingeschränkt überprüft werden können.





Foto: c_yanlev/fotolia

Abstract

The German Environment Agency (UBA) conducts the German Environmental Survey (GerES) multiple times over the years. This survey has consistently provided valuable data on the environmental exposure of the population living in Germany. The most recent survey, GerES V (2014–2017), included children and adolescents. By linking GerES V with the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS Wave 2) conducted by the Robert Koch Institute, it was possible to connect environmental data with health data at the individual participant level. The goal of the GerES V associated study, called Investigation of Relationships between Environmental Factors and Health Parameters was to examine statistical relationships based on GerES V data and, where possible, generate new hypotheses for further studies through exploratory analyses. In this article, we present exemplary results, including those for volatile organic compounds, specifically aldehydes, which were chosen because statistically significant correlations were found for these substances. Additionally, we discuss specific findings related to secondhand smoke, environmental noise, and ultrafine particles. Overall, the study demonstrated that hypotheses regarding the relationships between environmental pollutants and health effects can be tested only to a very limited extent with the available data.

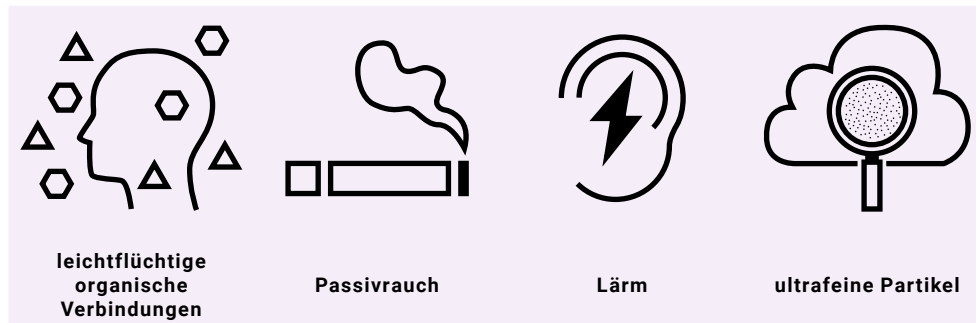
Einleitung

Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, kurz: GerES, trägt dazu bei, das Wissen über innere und äußere Belastungen der Bevölkerung in Deutschland mit Umweltschadstoffen zu erweitern. Zudem sollen weitere Erkenntnisse über die komplexen Zusammenhänge zwischen Umwelt und Gesundheit gesammelt werden, um so einen Beitrag für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung zu leisten. Die Querschnittsstudie GerES wurde seit 1985 sechs Mal durchgeführt, zuletzt in den Jahren 2023 und 2024. Je nach Fragestellung und inhaltlichem Fokus standen unterschiedliche Bevölkerungsgruppen (Erwachsene oder Kinder und Jugendliche) im Fokus. Die Studie liefert bevölkerungsrepräsentative und spezifische Daten insbesondere zur korporalen Belastung mit Chemikalien sowie zu anderen relevanten Umweltrisiken, wie Feinstaub und Lärm, für die Bevölkerung in Deutschland. Die Daten werden ausgewertet und veröffentlicht sowie zur Politikberatung genutzt. GerES VI ist noch nicht abgeschlossen und bezieht sich auf Erwachsenendaten. Die zuletzt abgeschlossene Studie (GerES V) fand in den Jahren 2014 bis 2017 statt. In diesem Rahmen wurden Daten für Kinder und Jugendliche im Alter von 3 bis 17 Jahren erhoben. Eine Beschreibung des Studiendesigns und die Ergebnisse der GerES V-Studie sind unter UBA (2023) zu finden.

GerES V wurde als Modul der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS Welle 2) des Robert Koch-Instituts (RKI) durchgeführt. Daher konnten die Belastungsdaten aus GerES V auf Ebene der einzelnen Teilnehmenden mit den in KiGGS Welle 2 erhobenen Gesundheitsdaten und weiteren relevanten Charakteristiken der Teilnehmenden verknüpft werden.

Gerade im Bereich der Umwelthygiene ist es für neue Forschungsfragen essenziell, nicht nur bereits etablierte Fragestellungen zu untersuchen und durch Hypothesentests zu validieren, sondern auch neue Hypothesen zu generieren und zu überprüfen. Die GerES V-Daten liefern hierfür mit ihrer Vielfalt an erhobenen Daten in Zusammenschau mit den Ergebnissen der KiGGS-Studie eine für Deutschland einzigartige Datenbasis zur Generierung und Prüfung von Hypothesen über die Umweltbelastung von Kindern und Jugendlichen sowie deren Zusammenhänge mit gesundheitlichen Auswirkungen. Das Ziel der GerES V-assozierten Studie Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern war es, statistische Koinzidenzen zwischen Umweltbelastungen und gesundheitlichen Parametern auf Basis der GerES V-Daten zu prüfen und, wo möglich, anhand explorativer Analysen neue Hypothesen für weiterführende Studien abzuleiten. Gesundheitliche Parameter umfassen auch symptomatische Beeinträchtigungen ohne klinischen Wert, wie Reizungen der Schleimhäute, um auch milde Auswirkungen von Umweltbelastungen berücksichtigen zu können. Weitere Details zur Studie und zum Rahmenprojekt Umweltbedingte Krankheitslasten/Gesundheitliche Parameter (UKAGEP) sind im Abschlussbericht des Forschungsprojekts zu finden (Busse et al., 2022).

Die im Rahmen dieses Projekts untersuchten und hier in Kurzform dargestellten Risikofaktoren für die Gesundheit sind leichtflüchtige organische Verbindungen (engl. Volatile Organic Compounds, kurz VOC), Passivrauch, Lärm und ultrafeine Partikel.



Methode

Es wurde ein explorativer Ansatz verfolgt, der erste Hinweise darauf geben sollte, welche Belastungen der Kinder und Jugendlichen gegenüber umweltbedingten Risikofaktoren in Zusammenhang mit bestimmten gesundheitlichen Beeinträchtigungen stehen können.

Es handelt sich bei GerES V um eine Querschnittsstudie, was bedeutet, dass zu einem Zeitpunkt ein bestimmtes Kollektiv von Personen einbezogen wurde. Die Teilnehmenden wurden mithilfe einer Zufallsauswahl aus der Bevölkerung Deutschlands rekrutiert. Diese stellen eine zufällige Teilstichprobe aus den Teilnehmenden der KiGGS Welle 2 des RKI dar. Die GerES V-Stichprobe umfasst 2.294 Fälle der Altersklasse 3 bis 17 Jahre. Um eine bevölkerungsrepräsentative Auswertung hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung zu gewährleisten, wurden die GerES V-Daten gewichtet.

Einige der Untersuchungsprogramme zu bestimmten Risikofaktoren wie VOC wurden nur an zufällig ausgewählten Unterstichproben mit geringerer Stichprobengröße durchgeführt. Die statistischen Analysen wurden mit dem Programm IBM Statistics SPSS 26 durchgeführt.

Für die Risikofaktoren VOC, Passivrauch, ultrafeine Partikel und Lärm wurden Variablen aus GerES V bestimmt und deskriptive Analysen durchgeführt, um die Anzahl der vorhandenen gültigen und fehlenden Werte, Mittelwert, Median, Standardabweichung, Spannweite, Minimum und Maximum zu erfassen. Zusätzlich wurden potenzielle gesundheitliche Auswirkungen identifiziert, die üblicherweise nominal oder ordinal im Fragebogen skaliert sind. Für diese wurde sowohl die Symptomatik als auch die Häufigkeit ermittelt, um die Prävalenzen darzustellen.

Nach den Basisdeskriptionen wurden bivariate Analysen durchgeführt, um die Mittelwerte der Belastungsvariablen für verschiedene gesundheitliche Symptome zu vergleichen. Dies erfolgte mittels t-Tests und einfaktorieller Varianzanalysen. Die Ergebnisse lieferten Hinweise darauf, ob Kinder mit Symptomen einer höheren Belastung ausgesetzt waren. Die Belastung wurde zudem in Terzile aufgeteilt, und der statistische Zusammenhang wurde mittels Chi-Quadrat-Tests quantifiziert. Als Signifikanzmaß wurde der p-Wert und als Zusammenhangsmaß das Cramers V ausgewertet.

Im Anschluss wurden multivariate Analysen (logistische Regression) durchgeführt, um für potenzielle Störvariablen zu kontrollieren. Mithilfe von Kreuztabellen wurde untersucht, welche weiteren Variablen wie Alter, Geschlecht und sozioökonomischer Status mit den

unabhängigen und/oder abhängigen Variablen in Verbindung standen. Hierzu wurden Odds Ratios (OR) berechnet. Dies ist ein statistisches Maß, das die Stärke eines Zusammenhangs im Hinblick auf seine Auftretswahrscheinlichkeit angibt. Deshalb wird im Folgenden auch der Begriff der Wahrscheinlichkeit im Zusammenhang mit dem OR verwendet.

Als letzter Schritt erfolgte eine medizinische Bewertung der identifizierten Assoziationen. Hierbei wurden pathophysiologische Mechanismen berücksichtigt und für ausgewählte Risikofaktoren die Bradford-Hill-Kriterien herangezogen. Diese sind Prinzipien zur Bewertung von Kausalzusammenhängen von Risikofaktoren und Effekten, die hauptsächlich in der Epidemiologie und Medizin angewendet werden (Gianicolo et al., 2020).

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Methode und die Ergebnisse beispielhaft für die VOC und hier speziell für Aldehyde vorgestellt. Die Aldehyde wurden ausgewählt, weil für diesen Stoff statistisch signifikante Zusammenhänge mit gesundheitlichen Effekten gefunden wurden. Im Anschluss werden die Besonderheiten in den Auswertungen und ausgewählte Ergebnisse für Passivrauch, Lärm und ultrafeine Partikel dargelegt.

Flüchtige organische Verbindungen – Aldehyde

VOC sind gas- und dampfförmige Stoffe organischen Ursprungs. Die Quellen können sowohl im Innen- als auch im Außenraum liegen. Quellen der Außenluft sind technische Vorgänge wie unvollständige Verbrennungen und biologische Prozesse wie Pflanzenstoffwechsel und Fäulnis. Quellen, die im Innenraum vorkommen und VOCs in die Luft abgeben, sind Produkte und Materialien wie Klebstoffe, Farben, Lacke und Möbel. Eine weitere Quelle stellen Reinigungs- und Pflegeprodukte dar. Üblicherweise sind die Konzentrationen von VOC so gering, dass keine gesundheitlichen Effekte zu erwarten sind. Ausnahmen stellen Bau- und Renovierungsmaßnahmen sowie unsachgemäße und übermäßige Verarbeitung und Verwendung bestimmter Produkte dar, wie zum Beispiel Lösemittel oder Flüssigbrennstoffe (UBA, 2016).

Da es sich bei den VOC um eine sehr große Stoffgruppe handelt, werden als Beispiel die Aldehyde und hier speziell die gesättigten azyklischen aliphatischen C4–C11-Aldehyde näher beschrieben, auch weil für diesen Stoff signifikante Ergebnisse gefunden wurden.

Im Innenraum entstehen Aldehyde durch Zersetzungsprozesse, bei denen die wesentlichen Emissionsquellen fettsäurereiche Hölzer und Holzwerkstoffe, Lacke, Alkyharzfarben, Öle und Klebstoffe, Beschichtungsprodukte auf Naturöl-Basis sowie Bodenbeläge wie etwa Linoleum sind (Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG, 2009).

Aldehyde wirken reizend insbesondere auf die Schleimhäute (Araki et al., 2020). So wurden beispielsweise in verschiedenen Studien Reizungen der Atemwege beim Menschen mit einer erhöhten Exposition gegenüber Stoffen aus der Gruppe der Aldehyde C4–C11 in Zusammenhang gebracht, so zum Beispiel Hexanal und Nonanal. In einer Kammeruntersuchung wurden zwölf Probanden und Probandinnen für zwei Stunden gegenüber 0,8 und 40 mg/m³ exponiert. Bei beiden Konzentrationen wurden Geschmacksveränderungen berichtet, jedoch nur bei der höheren Konzentration zusätzlich leichte

Reizungen der Augen und Kopfschmerzen (Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG 2009). Zudem gibt es Studien, die Aldehyde mit dem „Sick Building Syndrome“ assoziieren (Araki et al., 2020).

Generell gibt es für Aldehyde nur wenige Studien über die Belastungen und Wirkungen auf Kinder und Erwachsene in Deutschland. Auch international liegen nur begrenzte Informationen aus Studien vor. Eine Ausnahme stellt das Formaldehyd da, zu dem es einige Studien gibt (Castro et al., 2023).

Die meisten Studien zu Schadstoffbelastungen fokussieren sich auf bestimmte höher belastete Arbeitsstätten oder -bereiche, wie zum Beispiel Nagelstudios (Pavilonis et al., 2018; Quach et al., 2011). In Tierexperimenten konnte bei einer Langzeitexposition eine kanzerogene Wirkung gezeigt werden (Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG, 2009).

□ **Tabelle 1** zeigt die Innenraumrichtwerte für Aldehyde C4–C11, die der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) abgeleitet hat. Der wirkungsbezogenen Richtwert II, auch Gefahrenrichtwert genannt, gibt die Konzentration eines Stoffes an, ab der die Gesundheit empfindlicher Personen bei längerer Innenraumluftbelastung gefährdet ist (Ad-hoc AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG, 2012). Richtwert I stellt einen Vorsorgerichtwert dar.

Tabelle 1: Abgeleitete Richtwerte I und II des AIR für Aldehyde C4–C11 in der Innenraumluft

Verbindung	Richtwert II	Richtwert I	Einheit	Jahr der Festlegung
Aldehyde, C4–C11 (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	2,0	0,1	mg/m ³	2009

Quelle: AIR, 2022

Aldehyde-Messung

Bei einer zufällig ausgewählten Unterstichprobe von GerES V-Teilnehmenden (n=639) wurden Aldehyde in der Innenraumluft gemessen. Dafür wurden bei den Teilnehmenden für sieben Tage Passivsammler in dem Raum aufgehängt, in dem sich das Kind beziehungsweise der oder die Jugendliche während eines 24h-Tages üblicherweise am längsten aufhielt (Cholmakow-Bodechtel et al., 2018). In 94 Prozent der Fälle war dies das Kinderzimmer. Ausführliche Informationen zur Messung sind in Birmili et al. (2022) zu finden.

Das geometrische Mittel der Aldehyde C4–C11 lag bei 24,5 µg/m³, das arithmetische Mittel bei 32,5 µg/m³ (□ **Tabelle 2**). Der Unterschied der beiden Werte weist auf eine rechtsschiefe Verteilung der Messwerte hin. Der höchste Messwert für die Aldehyde C4–C11 lag bei 162,0 µg/m³. Bei 1 Prozent der Haushalte wurde mit einer Aldehyd C4–C11-Konzentration von über 0,1 mg/m³ der Richtwert I überschritten (vergleiche □ **Tabelle 1**). Eine Überschreitung des Richtwertes II (2,0 mg/m³) kam nicht vor.

Tabelle 2: Aldehyde, C4–C11, in der Innenraumluft aus an GerES V teilnehmenden Haushalten mit drei- bis 17-jährigen Kindern und Jugendlichen in Deutschland (Mittelwerte über sieben Tage)

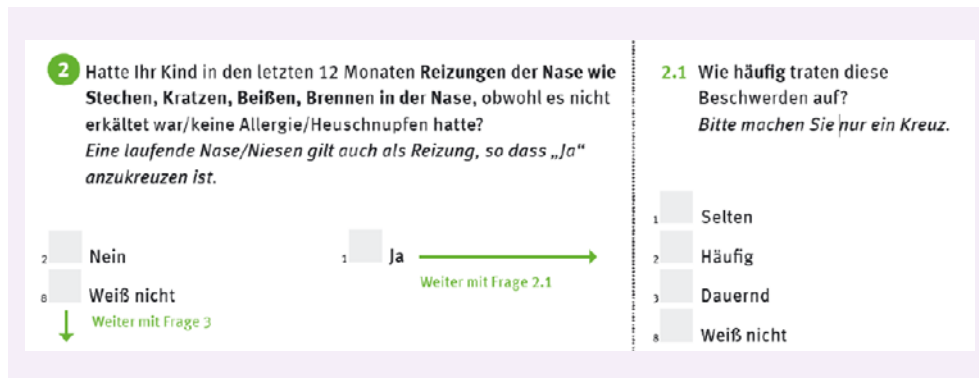
Stoff(gruppe) in µg/m³	Gültige Fälle	n <BG	% ≥BG	T1	P50	T2	P90	P95	Max	AM	GM	KI GM
Aldehyde, C4–C11	639	0	–	18,91	26,65	34,69	65,26	82,29	162,03	32,50	24,52	22,98–26,14

BG: Bemessungsgrenze, T: Terzil, P: Perzentil, AM: arithmetisches Mittel, GM: geometrisches Mittel, KI: Konfidenzintervall

Gesundheitliche Effekte: Prävalenzen von Reizungen, Kopfschmerzen und Konzentrationsproblemen

In unserer Analyse wurden die Gesundheitsendpunkte Reizungen, Kopfschmerzen und Konzentrationsprobleme jeweils als abhängige Variable definiert. Diese Symptome wurden mittels Fragebogen von den Eltern erhoben, siehe [Abbildung 1](#).

Abbildung 1: Auszug aus dem GerES V-Fragebogen zu Krankheiten und gesundheitlichen Beschwerden, hier Reizungen der Nase:



Als abhängige Variable stand die selbst-berichtete Angabe zur Zwölf-Monats-Prävalenz von Reizungen sowie die ordinal skalierte Variable zur Häufigkeit von Reizungen im letzten Jahr zur Verfügung. Für Kopfschmerzen und Konzentrationsprobleme lagen die Angaben zur Lebenszeitprävalenz, zur Zwölf-Monats-Prävalenz sowie zur Häufigkeit des Vorkommens vor (selten, manchmal, oft, dauernd). Zudem konnte auf die Information, ob zurzeit das Gesundheitsproblem besteht, zugegriffen werden.

12 Prozent der Kinder und Jugendlichen aus der Unterstichprobe zu den VOC gaben an, in den letzten zwölf Monaten unter Reizungen der Nase und 9 Prozent unter Augen- beziehungsweise Kehltreizungen gelitten zu haben. Zusammengenommen hatten 23 Prozent der Kinder und Jugendlichen in den letzten zwölf Monaten mindestens einmal eine Reizung der Augen, der Nase oder der Kehle. 8 Prozent litten dabei innerhalb der letzten zwölf Monate häufig oder dauernd unter einer dieser Reizungen.

Die Zwölf-Monats-Prävalenz von Kopfschmerzen lag bei den Kindern und Jugendlichen in der VOC-Unterstichprobe bei 61 Prozent. Bei 7 Prozent kamen sie im letzten Jahr häufig

oder dauernd vor und 11 Prozent der Kinder und Jugendlichen litten zum Zeitpunkt der Befragung unter Kopfschmerzen.

Konzentrationsprobleme kamen bei 37 Prozent der Kinder und Jugendlichen in der VOC-Unterstichprobe in den letzten zwölf Monaten vor; bei 14 Prozent häufig oder dauernd. Ein Fünftel der Teilnehmenden litt zum Befragungszeitpunkt unter Konzentrationsproblemen.

Da unklar ist, welche Exposition in den letzten zwölf Monaten hinsichtlich der Aldehyde vorlag (gemessen wurde für eine Woche), wurde für Kopfschmerzen und Konzentrationsprobleme die Auswertung für das derzeitige Vorliegen dieser gesundheitlichen Einschränkung genutzt. Bei diesem Vorgehen lagen Zeitpunkt der Messung und die Angaben zum Vorliegen der Beeinträchtigung nah beieinander. Daten zur derzeitigen Belastung lagen nicht für Reizungen vor. Deshalb wurde hier die Zwölf-Monats-Prävalenz verwendet.

Mittelwertvergleiche

Die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche sind uneindeutig und zeigen nur in wenigen Fällen statistisch signifikante Konzentrationsunterschiede zwischen Teilnehmenden mit und ohne Reizungen der Augen, Nase oder Kehle. Es lassen sich lediglich Tendenzen ableiten.

Die Zwölf-Monats-Prävalenz jedweder Reizung war bei Kindern und Jugendlichen im oberen Terzil der Aldehyd-C4-C11-Belastung ($> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit 29 Prozent am höchsten. Bei einer niedrigeren Aldehyd-C4-C11-Belastung lag sie bei rund 20 Prozent. Die Prävalenzunterschiede sind statistisch signifikant ($p < 0,05$), in der Stärke allerdings äußerst gering (Cramer-V = 0,106) (□ Tabelle 3).

Tabelle 3: Aldehyde C4-C11 (Terzile) und Zwölf-Monats-Prävalenz von Reizungen

			Reizungen von Augen oder Nase oder Kehle in den letzten zwölf Monaten		Gesamt
			Nein	Ja	
Aldehyde, C4-C11	$\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	157	42	199
		%	78,9	21,1	100
	18,9–34,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	146	34	180
		%	81,1	18,9	100
	$> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	158	65	223
		%	70,9	29,1	100
Gesamt		Anzahl	144	461	602
		%	23,9	76,6	100

Gewichtete Daten; n = 602
 p = 0,034, Chi-Quadrat-Test nach Pearson; Cramer-V = 0,106

Zwischen der Belastung mit Aldehyden C4-C11 und der Prävalenz von Kopfschmerzen zurzeit zeigte sich ein positiver, statistisch signifikanter Zusammenhang: Je höher die Konzentration in den Räumen war, desto häufiger litten die Kinder zum Zeitpunkt der

Untersuchung unter Kopfschmerzen ($p < 0,05$). Mit einem Cramer-V von 0,120 ist die Stärke des Zusammenhangs allerdings gering (□ Tabelle 4). Diese Ergebnisse können als ein erster Hinweis dafür gesehen werden, dass eine steigende Aldehyd-Belastung mit einer höheren Prävalenz von Kopfschmerzen bei Kindern und Jugendlichen einhergeht.

Tabelle 4: Aldehyde C4–C11 (Terzile) und Prävalenz von Kopfschmerzen zurzeit

			Kopfschmerzen zurzeit		Gesamt
			Nein	Ja	
Aldehyde, C4–C11	$\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	169	10	179
		%	94,4	5,6	100
	$18,9\text{--}34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	144	22	166
		%	86,7	13,3	100
	$> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	175	28	203
		%	86,2	13,8	100
Gesamt		Anzahl	488	60	548
		%	89,1	10,9	100

Gewichtete Daten; $n = 548$
 $p = 0,020$, Chi-Quadrat-Test nach Pearson; Cramer-V = 0,120

Je höher die Belastung mit den Aldehyden C4–C11 in den Räumen der Kinder und Jugendlichen war, desto häufiger litten sie zum Zeitpunkt der Befragung unter Konzentrationsproblemen. Der Zusammenhang war schwach (Cramer V = 0,135), aber statistisch signifikant ($p < 0,01$) (□ Tabelle 5).

Tabelle 5: Aldehyde C4–C11 (Terzile) und Prävalenz von Konzentrationsproblemen zurzeit

			Konzentrationsprobleme zurzeit		Gesamt
			Nein	Ja	
Aldehyde, C4–C11	$\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	161	23	184
		%	87,5	12,5	100
	$18,9\text{--}34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	137	38	175
		%	78,3	21,7	100
	$> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	154	52	206
		%	74,8	25,2	100
Gesamt		Anzahl	452	113	565
		%	80,0	20,0	100

Gewichtete Daten; $n = 565$
 $p = 0,006$, Chi-Quadrat-Test nach Pearson; Cramer-V = 0,135

Multivariate Analysen

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten irgendeiner Reizung in den letzten zwölf Monaten war im letzten Terzil der Aldehyd-C4-C11-Belastung ($> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit einem OR von 1,31 höher als im Referenz-Terzil ($< 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die 95%-Konfidenzintervalle waren allerdings groß und die Koeffizienten statistisch nicht signifikant (Ergebnistabelle hier nicht dargestellt).

Ein anderes Bild zeigt sich bei der Konzentration der Aldehyde C4-C11 im Innenraum in Verbindung mit dem Auftreten von Kopfschmerzen zurzeit (□ Tabelle 6). Bei einer Belastung der Räume mit Konzentrationen zwischen $18,9$ und $34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2. Terzil) hatten die Teilnehmenden im Vergleich zum ersten Terzil eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, zum Zeitpunkt der Befragung an Kopfschmerzen zu leiden (OR: 2,11; 95%-Konfidenzintervall: 1,02-4,38). Das OR für das oberste Terzil hingegen zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (1,83; 95%-Konfidenzintervall: 0,88-3,85), da das Konfidenzintervall auch Werte kleiner als 1 einschloss.

Tabelle 6: Aldehyde C4-C11 und OR für Kopfschmerzen zurzeit – Basismodell

		p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
				Unterer Wert	Oberer Wert
Schritt 1a	Aldehyde, C4-C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)	0,122	1		
	Aldehyde, C4-C11 (2. Terzil): $18,9-34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,045	2,11	1,016	4,379
	Aldehyde, C4-C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,108	1,83	0,875	3,845
	Konstante	0,000	0,07		

a. In Schritt 1 eingegebene Variablen: Aldehyde, C4-C11 (Terzile). Ungewichtete Daten. Abhängige Variable: Kopfschmerzen (zurzeit): Ja; n = 557

Bei Hinzunahme weiterer möglicher Einflussfaktoren änderte sich das OR nur geringfügig, jedoch waren die Ergebnisse nicht mehr signifikant (□ Tabelle 7).

Tabelle 7: Aldehyde C4–C11 und OR für Kopfschmerzen zurzeit – erweitertes Modell

	p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Aldehyde, C4–C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)		1		
Aldehyde, C4–C11 (2. Terzil): $18,9\text{--}34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,055	2,15	0,985	4,688
Aldehyde, C4–C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,094	1,96	0,891	4,315
3 bis 5 Jahre	0,001	0,15	0,048	0,439
6 bis 10 Jahre	0,005	0,29	0,124	0,692
11 bis 13 Jahre	0,703	0,87	0,434	1,757
14 bis 17 Jahre (Referenz)		1		
Mädchen (Referenz)		1		
Jungen	0,004	0,40	0,211	0,749
Sozioökonomischer Status (SES): Niedrig	0,330	1,65	0,601	4,554
Sozioökonomischer Status (SES): Mittel	0,989	0,100	0,514	1,929
Sozioökonomischer Status (SES): Hoch (Referenz)		1		
Nichtraucher (Referenz)		1		
Raucher	0,133	3,34	0,693	16,059
Konstante	0,000	0,16		

Eingegebene Variablen: Aldehyde, C4–C11, Altersklasse, Geschlecht, Sozioökonomischer Status (SES), Rauchstatus.
 Ungewichtete Daten. Abhängige Variable: Kopfschmerzen (zurzeit): Ja; n = 557

Hinsichtlich Konzentrationsproblemen zeigte sich im Basismodell im dritten Terzil ein signifikantes OR (1,92; 95%-Konfidenzintervall: 1,09–3,36) im Vergleich zum Referenz-Terzil (□ Tabelle 8).

Tabelle 8: Aldehyde C4–C11 und OR für Konzentrationsprobleme zurzeit – Basismodell

	p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Aldehyde, C4–C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)	0,064	1		
Aldehyde, C4–C11 (2. Terzil): $> 18,9\text{--}34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,067	1,70	0,963	2,995
Aldehyde, C4–C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,023	1,92	1,093	3,356
Konstante	0,000	0,14		

Eingegebene Variablen: Aldehyde, C4–C11 (klassiert). Ungewichtete Daten. Abhängige Variable:
 Konzentrationsprobleme (zurzeit): Ja; n = 564

Bei einer Aldehyd-C4–C11-Belastung der Innenraumluft mit Werten über $34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3. Terzil) hatten die Teilnehmenden im Vergleich zum ersten Terzil eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, zum Zeitpunkt der Befragung Konzentrationsprobleme angegeben zu haben (OR: 1,996; 95%-KI: 1,12–3,56), adjustiert für Alter, Geschlecht, sozioökonomischen Status und aktiven Rauchstatus. Das OR im zweiten Terzil adjustiert für

die weiteren Variablen war ebenfalls signifikant 1,82 (95%-Konfidenzintervall: 1,02–3,27) (□ Tabelle 9). Insofern zeigt sich an dieser Stelle trotz der insgesamt geringen Fallzahlen eine schrittweise erhöhte Wahrscheinlichkeit für Konzentrationsprobleme mit steigender Aldehyd-C4–C11-Konzentration in den Räumen, in denen sich die Teilnehmenden am längsten aufhalten.

Tabelle 9: Aldehyde C4–C11 (dreistufig klassiert) und OR für Konzentrationsprobleme zurzeit – erweitertes Modell

	p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Aldehyde, C4–C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)	0,046	1		
Aldehyde, C4–C11 (2. Terzil): $> 18,9–34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,043	1,82	1,018	3,266
Aldehyde, C4–C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,019	1,70	1,120	3,557
3 bis 5 Jahre	0,188	0,60	0,285	1,279
6 bis 10 Jahre	0,057	1,84	0,981	3,455
11 bis 13 Jahre	0,266	1,45	0,753	2,789
14 bis 17 Jahre (Referenz)		1		
Mädchen (Referenz)		1		
Jungen	0,009	1,85	1,170	2,935
Sozioökonomischer Status (SES): Niedrig	0,150	1,83	0,803	4,186
Sozioökonomischer Status (SES): Mittel	0,026	1,80	1,074	3,031
Sozioökonomischer Status (SES): Hoch (Referenz)		1		
Nichtraucher (Referenz)		1		
Raucher	0,999	0,000	0,000	
Konstante	0,000	0,054		

Eingegebene Variablen: Aldehyde, C4–C11 (klassiert), Altersklasse, Geschlecht, Sozioökonomischer Status (SES), Rauchstatus; Abhängige Variable: Konzentrationsprobleme (zurzeit): Ja, n = 564

Medizinische Bewertung

Bezüglich der Wirkungen von VOC und bestimmten Einzelverbindungen dieser Gruppe ist insgesamt wenig über die pathophysiologischen Mechanismen der hier untersuchten Beschwerden bekannt, insbesondere bei Kindern.

Hinzu kommt, dass die Belastungen der untersuchten Kinder und Jugendlichen in GerES V im Hinblick auf die bekannten Schwellenwerte für die Verursachung von körperlichen Beschwerden als sehr gering zu bewerten sind. Lediglich ein Prozent der Messwerte lag über dem Richtwert I. Diesen Wert unterschreitende Konzentrationen gelten als hygienisch unauffällig und deuten auf eine recht gute Raumluftqualität hin (AIR, 2007). Die in dieser Studie gefundenen vereinzelt Assoziationen sind daher entweder nicht mit den vorliegenden Aldehyd-Belastungen zu erklären oder es deutet sich hier eine niedrigere Wirkungsschwelle für die Entstehung von Kopfschmerzen und Konzentrationsstörungen an.

Fazit für Aldehyd

Die in dieser Studie gefundenen Assoziationen für Kinder und Jugendliche in Deutschland sind im Allgemeinen schwach und uneinheitlich. Auffällig ist der Zusammenhang zwischen erhöhten Aldehyd-Konzentrationen in der Raumluft und berichteten Konzentrationsproblemen, der auch in der multivariaten Analyse bestätigt wurde. Allerdings legt das Fehlen einer erhöhten Kopfschmerzrate in der höchsten Terzilgruppe nahe, dass dieses Ergebnis hinterfragt und in weiteren Studien bestätigt werden sollte.

Passivrauch

Die Belastung der Kinder und Jugendlichen mit Passivrauch wurde in GerES V sowohl mittels Fragebögen als auch über die korporale Belastung mit dem Nikotinabbauprodukt Cotinin im Urin erfasst. Die Erfassung über den Fragebogen erfolgte bis zum zehnten Lebensjahr der Kinder über die Befragung der Eltern und ab dem elften Lebensjahr über die Befragung der Kinder und Jugendlichen selbst. Hierbei wurde die Frage gestellt, wie oft sich die Teilnehmenden üblicherweise in Räumen aufhalten, in denen geraucht wird. Die Antworten der Teilnehmenden wurden über die Kategorien „täglich“, „nicht täglich“ und „nie“ ausgewertet.

Von den gemessenen Cotinin-Werten im Urin der nicht aktiv rauchenden Teilnehmenden lagen lediglich 4,7 Prozent der Messwerte zwischen 10 und 50 $\mu\text{g/l}$, was den Nachweisbereich für eine Passivrauchbelastung (hergeleitet in einer Schweizer Studie) darstellt (Gruber & Schuurmans, 2018). Fast die Hälfte (44%) der Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,1 $\mu\text{g/l}$ und weitere 47,7 Prozent zwischen der Bestimmungsgrenze und 10 $\mu\text{g/l}$. Laut Fragebogenauswertung hielten sich 11 Prozent der nicht aktiv rauchenden Kinder und Jugendlichen täglich oder zumindest manchmal zu Hause in Räumen auf, in denen geraucht wird. Ein täglicher Aufenthalt in Raucherräumen zu Hause wurde für etwa 5 Prozent der Kinder und Jugendlichen berichtet. Die beiden Hinweise zum Passivrauchen (Cotinin Wert und Fragebogenangabe) korrelierten miteinander.

Insgesamt zeigten die Analysen zwischen gemessenen Cotinin-Konzentrationen im Urin beziehungsweise berichteten Expositionen gegenüber Passivrauch und der Infektanfälligkeit bei Kindern und Jugendlichen eher schwache Korrelationen, die häufig statistisch nicht signifikant waren. Für belastbare statistische Auswertungen war die Fallzahl der hochbelasteten Teilnehmenden zu gering, was generell als gute Nachricht für den Gesundheitsschutz von Kindern und Jugendlichen zu werten ist.

Lärm

In GerES V wurde die Exposition gegenüber Straßen-, Schienen-, und Flugverkehrslärm sowohl anhand einer Schallpegelmessung als auch über die erfragte subjektive Lärmbelastung bei allen Teilnehmenden erfasst. Die Messung fand für 15 Minuten im Schlafraum des Kindes an dem Fenster zu der am meisten befahrenen beziehungsweise lauesten Straße statt. Die gemessene Lärmbelastung im Kinderzimmer lag im Mittel bei 50 dB(A) (min. 30 bis max. 80 dB(A)), wobei in städtischen Gebieten ein höherer Lärmpegel vorherrschte. Die gemittelte Lärmbelastung war vergleichbar mit der Belastung in der vorangegangenen GerES IV-Studie 2003–2006 (Babisch et al., 2009).

Statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich des Mittelungspegels ergaben sich in GerES V für Vergleiche zwischen den Geschlechtern, West- vs. Ostdeutschland und

für Vergleiche zwischen den Gebietstypen (ländlich 47,7 dB(A), vorstädtisch 49,6 dB(A), städtisch 51,7 dB(A); $p < 0,001$). Der sozioökonomische Status der Eltern sowie der Migrationshintergrund korrelierten negativ mit dem Schallpegel. Dies deckt sich mit bisherigen Studien, die zeigen, dass Menschen mit niedrigerem sozioökonomischem Status häufig an Orten leben, die stark von Umweltlärm betroffen sind (Barnes et al., 2018; Dreger et al., 2019; Li et al., 2022). Diese Ungerechtigkeit zeigen auch die Angaben zum individuellen Gesundheitszustand: Der allgemeine Gesundheitszustand wurde von Teilnehmenden mit höherer Lärmbelastung als signifikant schlechter eingeordnet als von Teilnehmenden mit niedrigerer Lärmbelastung.

Hinsichtlich der Lärmbelastung gab es zwei Gesundheitsendpunkte, die vermehrt auftraten: Konzentrationsprobleme und Ohrgeräusche.

Der objektiv gemessene Schallpegel war bei Teilnehmenden, die Konzentrationsprobleme angaben, im Mittel höher als bei jenen ohne Konzentrationsprobleme. Auch die subjektive Belästigung war mit Konzentrationsproblemen assoziiert, aus der Sicht der Kinder und Jugendlichen insbesondere bei Schienen- und Fluglärm. Für Fluglärm wurde darüber hinaus in anderen Studien auch ein Zusammenhang zur Beeinträchtigung der Lesekompetenz und Gedächtnisleistung von Kindern gezeigt (Klatte et al., 2016; Stansfeld et al., 2005).

Ein deutlicher Zusammenhang zeigte sich für ein starkes Belästigungsempfinden der Kinder und Jugendlichen gegenüber Straßen-, Schienen-, und Flugverkehrslärm insgesamt sowie Schienenverkehrslärm in der Nacht und dem Auftreten von Ohrgeräuschen. In der Literatur wird ein möglicherweise stressvermitteltes Auftreten von Tinnitus diskutiert, bislang jedoch mit inkonsistenten Befunden (Elarbed et al., 2021). Die bisherige Forschung bezieht sich größtenteils auf Erwachsene. Denkbar wäre ein möglicher stressvermittelter Zusammenhang bei Kindern, sodass eine höhere Umweltlärmelastigung zu einer höheren physiologischen Stressreaktion bei Kindern führt, und dadurch bedingt möglicherweise auch zum Auftreten von Ohrgeräuschen. Eine weitere mögliche Erklärung wäre, dass sich Kinder aufgrund der vorbestehenden Ohrgeräusche durch zusätzlichen Umweltlärm verstärkt belästigt fühlen.

Ultrafeine Partikel

GerES V ist eine der wenigen Studien, in denen ultrafeine Partikel im Innenraum gemessen wurden. Ultrafeine Partikel wurden in allen GerES V-Haushalten gemessen. Hierbei handelte es sich um orientierende Kurzzeitmessungen (eine Stunde), bei denen für weiterführende Korrelationsstudien mit gesundheitlichen Effekten nicht klar ist, inwieweit sie als repräsentative Expositionswerte angesehen werden können (Birmili et al., 2020).

Ansätze für Expositionsmodelle für ultrafeine Partikel in Innenräumen sind im Grundsatz verfügbar (Zhao et al., 2021), jedoch in der Anwendung mit hohen Unsicherheiten behaftet. Die Messwerte aus dem GerES V-Datensatz geben lediglich orientierende und nur im Mittel eine aussagekräftige Information über die Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln in Innenräumen. Für die Bewertung auf Individualebene sind solche Messungen nicht geeignet. Diese Werte würden jedoch für eine Hypothesenüberprüfung benötigt, um Personen, die höher belastet sind, von Personen, die niedriger belastet sind, unterscheiden zu können.

Fazit

GerES V ist eine Studie, die zur Beschreibung der Belastungen von Kindern und Jugendlichen in Deutschland mit Schadstoffen oder anderen Umwelteinflüssen geeignet ist und wurde entsprechend dieser Fragestellung konzipiert. Eine Datennutzung hinsichtlich von Hypothesentestung und -generierung ist jedoch nur eingeschränkt möglich, denn aufgrund des repräsentativen Querschnittsdesigns lassen sich spezifisch belastete Teilnehmende kaum und wenn dann nur für kurzfristige Effekte identifizieren. Aufgrund der im Querschnitt insgesamt geringen Belastungen mit den untersuchten Risikofaktoren lieferten die Analysen kaum Hinweise auf Zusammenhänge mit gesundheitlichen Auswirkungen bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. In einer Studie wie GerES, die nicht primär zur Untersuchung kausaler Zusammenhänge konzipiert ist, sind sowohl die Expositionshöhen zu gering als auch die potenziellen Beschwerden zu selten, um aussagekräftige Schlussfolgerungen zu ziehen. Nichtsdestotrotz lieferte die GerES V-Studie entscheidende Einblicke in die Belastungssituation von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Zudem können auf Basis der Daten aus den Fragebögen auch Zusammenhänge zu potenziellen Quellen für die Belastungen abgeleitet werden. Grundsätzlich ist die Kinder- und Jugendlichenbevölkerung im Vergleich zu anderen Altersgruppen ein gesunder Querschnitt der Bevölkerung in Deutschland, bei dem umweltrelevante Schädigungen der Gesundheit möglicherweise noch nicht eingetreten sind und sich gegebenenfalls erst im Laufe des Lebens durch eine kontinuierliche Umweltbelastung entwickeln. Deshalb ist es wichtig, die Belastungssituation von Kindern und Jugendlichen systematisch zu erfassen und daraus Handlungsempfehlungen für die Politik abzuleiten. Für die Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen im Bereich Umwelt und Gesundheit sind allerdings andere Studien wie zum Beispiel Kohorten- oder Fall-Kontroll-Studien erforderlich.

Danksagung

Großer Dank gilt Heike Gruhl, Maxie Bunz und Julia Rehling für ihre grundlegende Mitarbeit in diesem Teilprojekt von GerES V. Ebenfalls danken wir dem gesamten GerES-Team für ihr Engagement in der Studie sowie den Studienteilnehmenden für ihre Bereitschaft, ihre Daten für wissenschaftliche Zwecke erheben und auswerten zu lassen. Ein außerordentlicher Dank geht an das Fachgebiet II 1.3 „Innenraumhygiene, gesundheitsbezogene Umweltbelastungen“ im UBA, das die Laboranalysen der Innenraumkonzentrationen für die Aldehyde und weitere VOC durchführte. Ebenfalls möchten wir dem UKAGEP-Team für die tolle Zusammenarbeit und den Rückhalt im Projekt danken sowie Aline Murawski, Sarah Kienzler, Wolfram Birmili und Dirk Wintermeyer für das Gegenlesen dieses Artikels.

[UBA] ●

Literatur

- [1] Ad-hoc AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG. (2012). Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 55, 279290. <https://doi.org/10.1007/s00103-011-1420-0>

- [2] Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG. (2009). Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 52, 650659. <https://doi.org/10.1007/s00103-009-0860-2>
- [3] Araki, A., Ketema, R. M., Ait Bamai, Y. et al. (2020). Aldehydes, Volatile Organic Compounds (VOCs), and Health. In: Kishi R, Norbäck D, Araki A (eds) Indoor Environmental Quality and Health Risk toward Healthier Environment for All. Springer Singapore, Singapore, 129158. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9182-9_7
- [4] AIR – Ausschuss für Innenraumrichtwerte. (2022). Abgeleitete Richtwerte I und II des AIR für Schadstoffe in der Innenraumluft. Umweltbundesamt. Abgerufen am 16. Februar 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/galerie/die-richtwerte-i-ii-fuer-stoffe-in-der>
- [5] AIR – Ausschuss für Innenraumrichtwerte. (2007). Leitwerte für TVOC in der Innenraumluft (2007). Umweltbundesamt. Abgerufen am 10. Februar 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/bild/leitwerte-fuer-tvoc-in-der-innenraumluft>
- [6] Babisch, W., Neuhauser, H., Thamm, M. et al. (2009). Blood pressure of 8–14 year old children in relation to traffic noise at home—Results of the German Environmental Survey for Children (GerES IV). Science of the Total Environment, 407, 58395843. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.016>
- [7] Barnes, J., De Vito, L., Hayes, E. et al. (2018). Qualitative assessment of links between exposure to noise and air pollution and socioeconomic status. WIT Trans Ecol Environ, 230, 1525
- [8] Birmili, W., Daniels, A., Bethke, R. et al. (2022). Formaldehyde, aliphatic aldehydes (C₂-C₁₁), furfural, and benzaldehyde in the residential indoor air of children and adolescents during the German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V) Indoor Air, 32: e12927. <https://doi.org/10.1111/ina.12927>
- [9] Birmili, W., Pietsch, A., Niemeyer, T. et al. (2020). Abundance and sources of ultrafine particles in indoor and ambient air – current state of knowledge (Vorkommen und Quellen ultrafeiner Partikel im Innenraum und in der Außenluft – Aktueller Kenntnisstand), in German Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 80, 33–43. <https://dx.doi.org/10.37544/0949-8036-2020-01-02-35>
- [10] Busse, L., Bunz, M., Fischer, T. et al. (2022). Umweltbedingte Krankheitslasten – Analyse und Bewertung sozialer und ökonomischer Zusammenhänge; Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern: Kurztitel: Umweltbedingte Krankheitslasten / Gesundheitliche Parameter (UKAGEP) Schlussbericht. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://doi.org/10.2314/KXP:1882044134>
- [11] Castro, I., Kappeler, R., Kienzler, S. et al. (2023). ETC HE Report 2022/22: Environmental health risks to children and adolescents: an umbrella review on indoor and outdoor air pollution. Eionet Portal, <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2022-22-environmental-health-risks-to-children-and-adolescents-an-umbrella-review-on-indoor-and-outdoor-air-pollution>
- [12] Cholmakow-Bodechtel, C., Mayer, S., Scharf, L. et al. (2018). Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen, GerES 2014–2017: Vorbereitung und Durchführung der Feldarbeit inklusive Datenlieferung. Abschlussbericht. Umweltbundesamt
- [13] Dreger, S., Schüle, S. A., Hilt, L. K., Bolte, G. (2019). Social Inequalities in Environmental Noise Exposure: A Review of Evidence in the WHO European Region. International journal of environmental research and public health, 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061011>
- [14] Elarbed, A., Fackrell, K., Baguley, D. M., Hoare, D. J. (2021). Tinnitus and stress in adults: a scoping review. International journal of audiology, 60, 171182. <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1827306>

- [15] Gianicolo, E., Eichler, M., Muensterer, O. et al. (2020). Methods for evaluating causality in observational studies—part 27 of a series on evaluation of scientific publications *Dtsch Arztebl Int*:101–107 doi: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/inhalt?heftid=6465>
- [16] Gruber, D. & Schuurmans, M. M. (2018). Biomarker für Rauchen-Welche Cut-off-Werte sind anwendbar? *Praxis*, (16618157), 107. <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a003026>
- [17] Klatte, M., Spilski, J., Mayerl, J. et al. (2016). Effects of Aircraft Noise on Reading and Quality of Life in Primary School Children in Germany: Results From the NORAH Study. *Environment and Behavior*, 49, 390424. <https://doi.org/10.1177/0013916516642580>
- [18] Li, A., Martino, E., Mansour, A. et al. (2022). Environmental Noise Exposure and Mental Health: Evidence From a Population-Based Longitudinal Study. *American Journal of Preventive Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2022.02.020>
- [19] Pavilonis, B., Roelofs, C., Blair, C. (2018). Assessing indoor air quality in New York City nail salons. *J Occup Environ Hyg*, 15, 422429. <https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1447117>
- [20] Quach, T., Gunier, R., Tran, A. et al. (2011). Characterizing workplace exposures in Vietnamese women working in California nail salons. *Am J Public Health*, 101, Suppl 1, S271276. <https://doi.org/10.2105%2FAJPH.2010.300099>
- [21] Stansfeld, S. A., Berglund, B., Clark, C. et al. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet (London, England)*, 365, 19421949. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)66660-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)66660-3)
- [22] UBA – Umweltbundesamt. (2023). Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES V (2014–2017) Abgerufen am 30. Juli 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umwelt-survey/5-umwelt-survey-von-2013-bis-2016#undefined>
- [23] UBA – Umweltbundesamt. (2016). Flüchtige organische Verbindungen. Abgerufen am 10. Februar 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/fluechtige-organische-verbindungen#fluechtige-organische-verbindungen-voc->
- [24] Zhao, J., Birmili, W., Hussein, T. et al. (2021). Particle number emission rates of aerosol sources in 40 German households and their contributions to ultrafine and fine particle exposure *Indoor Air*, 31, 818831. <https://doi.org/10.1111/ina.12773>

Klimawandel und Gesundheit:

Ein neuer Fragebogen im Rahmen der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit (GerES VI) zu Wetter und Klima

Climate change and health:

A new questionnaire on weather and climate as part of the German Environmental Health Study (GerES VI)

Katrin Bossmann, Maria Bathow, Constanze Cholmakow-Bodechtel, Katja Reimann, Tomke Zschachlitz, Wolfgang Straff

Kontakt

Katrin Bossmann | Umweltbundesamt | Fachgebiet II 1.5 – Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung | Corrensplatz 1 | 14195 Berlin | E-Mail: katrin.bossmann@uba.de

Zusammenfassung

Die Auswirkungen des sich verändernden Klimas, wie langanhaltend heiße und trockene Sommer oder häufigere Überschwemmungen infolge von Starkregen, sind in den letzten Jahren zunehmend auch für die breite Bevölkerung in Deutschland wahrnehmbar. Auch andere klima- beziehungsweise wetterbedingte Folgen, wie eine verlängerte Pollensaison oder die Ausbreitung ursprünglich nicht in Deutschland beheimateter krankheitsübertragender Tiere und Insekten, können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen und Einfluss auf das mentale Wohlbefinden haben. Durch verschiedene Anpassungsmaßnahmen kann dem jedoch zumindest teilweise entgegengewirkt werden. Um die Wahrnehmung der Bevölkerung von Klimaveränderungen und womöglich auftretenden Auswirkungen auf die physische und psychische Gesundheit näher zu untersuchen sowie bereits in der Praxis implementierte Anpassungsmaßnahmen zu evaluieren, wurde ein neuer Fragebogen zu Wetter und Klima entwickelt. Dieser kam im Rahmen der mit 1.500 erwachsenen Teilnehmenden durchgeführten und für Deutschland repräsentativen GerES VI-Studie des Umweltbundesamtes (UBA) im Erhebungszeitraum von Mai 2023 bis Juli 2024 erstmalig zum Einsatz.

Abstract

In recent years, the widespread effects of a changing climate, such as extremely hot and dry summers or increased flooding due to heavy rainfall, have also become increasingly noticeable to the general population in Germany. Other climate or weather-related factors, such as an extended pollen season or the spread of non-native disease-carrying animals and insects, pose a threat to physical health and influence mental well-being. However, there are various adaptation strategies to partially counteract these effects. A new questionnaire on weather and climate was designed to examine the population's perception of climate change and possible impacts on physical and mental health in more detail and to evaluate adaptation strategies that have already been implemented in everyday practice. As a part of the GerES VI study conducted by the German Environment Agency (UBA), the questionnaire was utilized for the first time among a representative sample of 1.500 adult participants who were surveyed between May 2023 and July 2024.





Quelle: TimoRisoli/Fotolia.com

Von 2023 bis 2024 führte das Umweltbundesamt (UBA) die sechste Erhebung der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit, GerES VI (GerES = **G**erman **E**nvironmental **S**urvey), durch (UBA, 2024). Im Rahmen dieser Studie wird deutschlandweit die Schadstoffbelastung im Körper der Menschen und in ihrem Wohnumfeld mittels repräsentativer Stichproben erfasst. Dafür besuchen Untersuchungsteams im Auftrag des UBA die Teilnehmenden der GerES-Studie zu Hause, nehmen Blut-, Urin-, Trinkwasser-, Hausstaub- und Innenraumluftproben und führen Interviews durch. Mit Hilfe der Ergebnisse können besonders belastete Bevölkerungsgruppen identifiziert und die Quellen und Verbreitungswege zugrundeliegender Schadstoffe oder anderer Einflüsse ermittelt werden. GerES untersuchte bislang im Querschnitt die Belastung von Kindern und Erwachsenen in sechs einzelnen Bevölkerungsstudien. Die erste GerES-Studie wurde in den Jahren 1985 und 1986 durchgeführt. In der aktuellen Erhebung, GerES VI, wurden Daten von rund 1.500 erwachsenen Personen im Alter von 18 bis 79 Jahren an 150 Erhebungsorten gesammelt und stehen für eine Auswertung zur Verfügung. Neben den Daten aus den Analysen der gewonnenen Proben fließen auch Daten aus den Interviews mit den Studienteilnehmenden und Angaben, die diese in Selbstausfüllfragebögen gemacht haben, mit in die Auswertung von GerES ein. Die Interviews und Fragebögen dienen dazu, festzustellen, ob eine Belastung möglicherweise aus dem häuslichen Umfeld herrührt oder zum Beispiel den individuellen Lebensumständen geschuldet ist. Erfasst werden hier unter anderem soziodemografische Merkmale,

Ernährungsgewohnheiten, Krankheiten, die Verwendung bestimmter Produkte, Angaben zum Wohnumfeld und umweltrelevante Verhaltensweisen.

Neu entwickelt wurde in GerES VI ein Selbstausfüllfragebogen zu den Themen Wetter und Klima. Die zugrundeliegenden Fragen an die Bevölkerung gewinnen vor dem Hintergrund des sich verändernden Klimas immer mehr an Bedeutung. Das in den letzten Jahren häufigere Auftreten von Extremwetterereignissen, wie Starkregen mit anschließender Überflutung oder anhaltende Hitzeperioden und die Zunahme von Waldbränden, wird auch in der breiten Bevölkerung wahrgenommen. Bestimmte klima- beziehungsweise wetterbedingte Situationen wie mehrere aufeinander folgende sehr heiße Tage, starke UV-Strahlung, eine verlängerte Pollensaison oder die Ausbreitung ursprünglich nicht in Deutschland beheimateter Insekten können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen und auch Einfluss auf das mentale Wohlbefinden haben. Sowohl regional als auch individuell unterscheiden sich die Lebensumstände der Menschen in Deutschland, was dazu führt, dass die Bevölkerung nicht in gleichem Maße von Wetter- und Klimaeinflüssen betroffen ist. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an den Schutz vor ungewollten Einflüssen und die Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen.

Ziel dieses Fragebogens ist es, Erkenntnisse darüber zu erlangen

- wie stark die Menschen in Deutschland den Herausforderungen durch Wetter und Klima in den Sommermonaten ausgesetzt sind, indem die verbrachte Zeit im Freien erfragt wird,
- ob bisherige Veränderungen von Wetter und Klima in der Bevölkerung wahrgenommen werden und wenn ja, welche emotionalen Reaktionen diese Veränderungen auslösen,
- ob wetterbedingte gesundheitliche Effekte, wie zum Beispiel Kreislaufbeschwerden oder Sonnenbrände, auftreten oder in der Vergangenheit aufgetreten sind,
- ob Schutzmaßnahmen gegen bestimmte Wetterereignisse geplant oder bereits realisiert wurden,
- ob das Verhalten generell an bestimmte Wetter- und Klimabedingungen angepasst wird,
- ob öffentliche Informationsangebote zu bestimmten Wetterbedingungen oder Warndienste genutzt werden und wenn ja, ob daraufhin das Verhalten spezifisch angepasst wird,
- welche psychischen Auswirkungen die Auseinandersetzung mit dem Klimawandel und seinen Folgen hat.

Mit den Antworten aus GerES VI können beispielsweise Informationen darüber gesammelt werden, in welchen Bereichen die Bevölkerung bereits gegenüber den gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels und geeigneten Anpassungsmaßnahmen sensibilisiert ist und wo noch Aufklärungsbedarf oder öffentlicher Handlungsbedarf bei der Umsetzung und Implementierung von Maßnahmen besteht. Wird der in GerES VI neu eingeführte Fragebogen zu Wetter und Klima im Sinne einer Trendstudie in Zukunft erneut erhoben, zum Beispiel in folgenden GerES-Studien, könnte untersucht werden, inwieweit sich das Bewusstsein der Bevölkerung in Deutschland hinsichtlich klimatischer Bedingungen über die Zeit verändert. Zudem könnte der Erfolg von Anpassungsmaßnahmen evaluiert werden.

Beim vorliegenden Fragebogen zu Wetter und Klima handelt es sich um einen spezifisch für GerES VI entwickelten Papierfragebogen, der zeitökonomisch gestaltet wurde, da die Teilnahme an GerES VI insgesamt unter erheblichem Zeitaufwand stattfindet. Gleichwohl sollte ein möglichst breites Themenspektrum von individueller Wahrnehmung über physische und psychische Auswirkungen bis hin zu Anpassungsmaßnahmen untersucht werden. So enthält der Fragebogen 13 Fragen zu verschiedenen Aspekten, die zum Teil durch weitere Unterfragen präzisiert werden. Die Fragen wurden im Vorfeld der Datenerhebung sowohl UBA-intern, als auch mit einer externen Personengruppe sowie unter Mitarbeit von Oracle Deutschland, dem Unternehmen, welches im Auftrag des UBA die GerES VI-Probandenrekrutierung und -feldarbeit durchgeführt hat, pilotiert und weiter optimiert.

Thematisch sind die gestellten Fragen mehrheitlich an verschiedene andere Umfragen des UBA und anderer Institutionen angelehnt, wurden fünf Themenkomplexen zugeordnet und in den konkreten Formulierungen inhaltlich an die Erfordernisse von GerES VI und aktuelle Fragestellungen des UBA im Bereich Klimawandel und Gesundheit angepasst. Der komplette GerES VI-Fragebogen zu Wetter und Klima inklusive aller Unterfragen und Antwortmöglichkeiten kann [hier](#) angesehen werden.

Themenkomplex 1: Verhalten in den Sommermonaten

Der erste Themenkomplex „Verhalten in den Sommermonaten“ wurde vor dem Hintergrund der klimawandelbedingten Temperaturzunahme in Deutschland in den Fragebogen aufgenommen. Laut Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit des Robert Koch-Instituts aus dem Jahr 2023 lag die Mitteltemperatur im vergangenen Jahrzehnt rund 2°C über dem vorindustriellen Niveau und acht der zehn heißesten Sommer seit Beginn der systematischen Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 wurden in den letzten 30 Jahren verzeichnet. In diesem Kontext ist in den Sommermonaten auch ein Anstieg heißer Tage zu beobachten, an denen die Maximaltemperatur mindestens 30°C beträgt (Winklmayr et al., 2023). Hitze und starke Sonneneinstrahlung können die Gesundheit und das Wohlbefinden unmittelbar gefährden und zu hitzebedingter Morbidität oder Mortalität führen. Das Risiko hierfür steigt mit zunehmender Hitzeexposition. So sind manche Menschen aufgrund ihrer Lebenssituation, zum Beispiel ihres Berufs oder der Wohnbedingungen, stärker von Hitzestress und seinen gesundheitlichen Folgen betroffen als andere.

In diesem Themenkomplex soll herausgefunden werden, wie lange sich die Teilnehmenden im Sommer im Freien aufhalten und ob und wie sie sich an heißen Tagen vor hohen Temperaturen schützen. Auch der Schutz vor intensiver UV-Strahlung spielt für den Gesundheitsschutz eine wichtige Rolle, insbesondere für die Hautkrebsprävention (Baldermann et al., 2023). So sind in den Antwortmöglichkeiten zu Frage 1 verschiedene konkrete Zeiträume auswählbar und es wird in Unterfragen differenziert, ob der Aufenthalt im Freien eher beruflich oder in der Freizeit erfolgt. Zu Frage 2 sind dann verschiedene Schutzmaßnahmen auswählbar, die anhand von Unterfragen wiederum nach Beruf und Freizeit differenziert werden. Sowohl Frage 1 als auch Frage 2 finden sich in ähnlicher Form bereits in einer Studie zum Kenntnisstand über klimawandelrelevante Informationssysteme aus dem Jahr 2015 (Capellaro & Sturm, 2015).

FRAGE 1

Wie lange halten Sie sich tagsüber (etwa von 09–17 Uhr) in den Sommermonaten im Freien auf (hierzu zählen auch Terrasse und Balkon)?

FRAGE 2

An heißen und sonnenreichen Sommertagen: Ergreifen Sie Schutzmaßnahmen für Ihr Wohlbefinden und Ihre Gesundheit?

Themenkomplex 2: Ereignisse in Ihrem Umfeld

Im zweiten Themenkomplex „Ereignisse in Ihrem Umfeld“ wird nach Ereignissen im gewohnten Umfeld der Teilnehmenden gefragt, die im Zusammenhang mit Wetter und Klima stehen.

So soll zu Frage 3 angegeben werden, ob die Teilnehmenden der Studie die verschiedenen Ereignisse bereits wahrgenommen haben. In einer Unterfrage soll jeweils eingeschätzt werden, ob seit der Kindheit ein Unterschied in der Häufigkeit der ausgewählten Ereignisse beobachtet wurde. Außerdem wird nach einer möglichen Befürchtung gefragt, ob das jeweilige Ereignis zukünftig im gewohnten Umfeld der Teilnehmenden auftreten könnte.

FRAGE 3

Welche der nachfolgenden Ereignisse haben Sie bisher in Ihrem gewohnten Umfeld wahrgenommen und von welchen befürchten Sie, dass sie in Ihrem gewohnten Umfeld in Zukunft eintreten können?

Folgende Ereignisse waren in den Unterfragen auswählbar:

- Auftreten von Hitzeperioden, Dürren oder Waldbränden,
- Belastung von Gewässern (Seen, Flüsse, Meere etc.) mit Krankheitserregern (z.B. Vibrionen, übermäßiges Algenwachstum, Bakterien),
- Ausbreitung allergieauslösender Pflanzen- und Tierarten,
- Auftreten von Insekten, die Krankheitserreger in sich tragen können,
- Auftreten von Unwettern,
- Auftreten von Überschwemmungen/Hochwasser,
- Ozonkonzentration in der Umgebungsluft,
- Staubbelastung der Luft (z.B. Feinstaub, Pollen, Schwebstaub, Sandpartikel, Smog),
- verminderte Schneemengen im Winter,
- gestiegene Wasserspiegelhöhe natürlicher Gewässer,
- gesunkene Wasserspiegelhöhe natürlicher Gewässer.

Besonders in den letzten Jahren traten in Deutschland einige der genannten Ereignisse in größerem Ausmaß auf, über die in den Medien ausführlich berichtet wurde, so zum Beispiel das Hochwasser im Ahrtal im Jahr 2021 und das durch übermäßiges Goldalgenwachstum verursachte Fischsterben in der Oder im Sommer 2022. Befragungen nach dieser Art von Ereignissen sind nicht neu. So fragten bereits Taylor et al. Probanden und Probandinnen danach, ob sie im Laufe ihres Lebens Veränderungen in der Häufigkeit verschiedener Wetterextreme erlebt hatten (Taylor et al., 2014). Im selben Jahr widmete sich außerdem eine Online-Befragung „Was denken Sie über den Klimawandel“ über das Beteiligungsportal des Landes Baden-Württemberg der Frage nach der Wahrnehmung von Wetterereignissen im persönlichen Lebensumfeld (Baden-Württemberg, 2014). Ähnliche Fragen zu wahrgenommener Betroffenheit und tatsächlichen Erfahrungen mit Extremwetterereignissen wurden beispielsweise auch in einer Studie von Bradley et al. (2020) gestellt.

Zusätzlich zu physischen Effekten rücken auch psychische Auswirkungen des Klimawandels in den letzten Jahren zunehmend in den öffentlichen Fokus. Diese werden beispielsweise in einem Scoping Review zu Klimawandel und psychischer Gesundheit in Deutschland im Rahmen der Beitragsreihe zum RKI-Sachstandsbericht „Klimawandel und Gesundheit“ für die Schwerpunktthemen Extremwetterereignisse, Temperaturerhöhung, Wahrnehmung und innerpsychische Verarbeitung, soziologische Aspekte und Resilienz-faktoren (Gebhardt et al., 2023) näher beleuchtet. Sie sollen auch mit Hilfe dieses Fragebogens untersucht werden, weshalb Frage 4 mögliche emotionale Reaktionen auf sich bereits verändernde Umwelten erfragt. Negative Emotionen und Sorgen angesichts der Veränderung oder des Verlusts vertrauter Lebensräume werden in diesem Zusammenhang als Solastalgie bezeichnet (Albrecht et al., 2007). Emotionale Reaktionen bei der gedanklichen Auseinandersetzung mit möglichen klimatischen Folgen in der Zukunft werden in Themenkomplex 5 beleuchtet.

Wird in Frage 3 mindestens zu einem Ereignis die Angabe gemacht, eine Veränderung in der Häufigkeit des Auftretens wahrgenommen zu haben, so schließt sich eine für diesen Fragebogen neu entwickelte Frage 4 an, in der nach erlebten Gefühlen gefragt wird, die durch die wahrgenommenen Veränderungen ausgelöst werden. Eine vergleichbare Frage wurde ebenfalls in der Studie des UBA zu „mentalalen Auswirkungen des Klimawandels und der Bereitschaft zur Anpassung“ (Grothmann et al., 2024) gestellt, evaluiert und ausgewertet.

FRAGE 4

Falls Sie bei der vorangegangenen Frage (Frage 3) bei mindestens einem der von Ihnen wahrgenommenen Ereignisse angekreuzt haben, dass Sie eine Veränderung in der Häufigkeit des Auftretens wahrgenommen haben: Wie sehr stimmen Sie folgenden Aussagen zu?

Es wird auf einer vierstufigen Likert-Skala (1 „trifft überhaupt nicht zu“ bis 4 „trifft völlig zu“) nach dem Vorhandensein und der Ausprägungsstärke der Emotionen Traurigkeit, Wut, Resignation, Angst und Ohnmacht gefragt.

Themenkomplex 3: Hitze

Der Themenkomplex 3 „Hitze“ beschäftigt sich ähnlich wie Themenkomplex 1 mit hohen Temperaturen, fragt aber in Frage 5 und 6 direkt nach den gesundheitlichen Auswirkungen beziehungsweise in Frage 7 nach Auswirkungen auf das Wohlbefinden:

FRAGE 5

Fühlen Sie sich üblicherweise durch eine Hitzeperiode (mehrere, aufeinander folgende heiße Tage an denen es auch nachts kaum abkühlt) gesundheitlich belastet?

FRAGE 6

Haben Sie schon eine Erkrankung gehabt, die mit Hitze und/oder Sonneneinstrahlung in Verbindung stand?

FRAGE 7

Leidet Ihr Wohlbefinden unter zu hoher Raumlufttemperatur in Ihrer Wohnung/Ihrem Haus während Hitzeperioden (mehrere, aufeinander folgende heiße Tage an denen es auch nachts kaum abkühlt)?

In Frage 5 und 6 kann jeweils zwischen verschiedenen aufgetretenen Belastungen, beziehungsweise Erkrankungen ausgewählt werden. In einer Unterfrage zu Frage 7 wird weiterhin gefragt, ob und wenn ja, welche Maßnahmen die Studienteilnehmenden selbst akut gegen die hohe Raumlufttemperatur ergreifen. In Frage 8 soll angegeben werden, welche baulichen Maßnahmen, beziehungsweise Objekte, die dem Hitzeschutz dienen, in und an dem aktuell bewohnten Gebäude bereits vorhanden sind oder vermutlich in Zukunft vorhanden sein werden.

FRAGE 8

Jetzt geht es um den Hitzeschutz des Gebäudes, in dem Sie wohnen: Gibt es in Ihrer Wohnung oder an Ihrem Haus eines oder mehrere der folgenden hitzeschützenden Objekte?

GerES legte bislang den Fokus auf die Untersuchung der Belastung des Menschen mit Umweltschadstoffen und Lärm, da diese Einflüsse ein potenzielles Gesundheitsrisiko darstellen. Die Einführung des Fragebogens zu Wetter und Klima in GerES VI stellt eine wichtige Erweiterung des Untersuchungsspektrums von GerES dar, da erstmals auch die Belastung des Menschen durch klimabedingte Umwelteinflüsse und deren potenzielle Auswirkungen auf die Gesundheit untersucht werden. Hitze spielt in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) (BMUV, [2008](#)) sowie in der

Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) für Deutschland eine zentrale Rolle. So gilt hier der Umwelteinfluss Hitze als eine der vier zentralen Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel. Dessen Risiko für die menschliche Gesundheit wird ohne Anpassungsmaßnahmen als „hoch“ bewertet (Kahlenborn et al., 2021). Der hier vorgestellte Fragebogen kann wertvolle Hinweise dazu liefern, wie viele Menschen sich zum Zeitpunkt von GerES VI durch Hitze gesundheitlich belastet fühlten. Darüber hinaus kann er dabei helfen, durch Verknüpfung mit den ebenfalls erhobenen soziodemografischen Daten besonders belastete Gruppen der Bevölkerung zu identifizieren und zu analysieren, inwieweit bestimmte Personengruppen selbst Maßnahmen gegen hohe Raumlufttemperaturen, wie etwa Lüften in den frühen Morgen- und Abendstunden, ergreifen. Ergänzend liefert der Fragebogen Daten dazu, inwiefern Wohngebäude in Deutschland bereits mit hitzeschützenden Maßnahmen ausgestattet sind und ob diese den regional angepassten Hitzeaktionsplänen der Kommunen entsprechen oder ob es in der Bevölkerung einen Trend zu klimaschädlichen Anpassungsmaßnahmen, wie etwa der Anschaffung von Klimaanlage, gibt, dem eine intensivere Aufklärungsarbeit und ein Angebot klimafreundlicher Anpassungsmaßnahmen gegenübergestellt werden sollte. Während die Auswahlmöglichkeiten zu gesundheitlichen Beschwerden und Krankheiten in den Fragen 5 und 6 teilweise durch die Studie von Capellaro und Sturm (2015) inspiriert sind, orientieren sich die Auswahlmöglichkeiten in Frage 8 überwiegend an aktuellen Empfehlungen zum Hitzeschutz von Wohngebäuden, beziehungsweise wahrgenommenen neueren Entwicklungen bei der Verwendung von hitzeschützenden Objekten, wie beispielsweise der Installation von Sonnenschutzjalousien (Hutter et al., 2023).

Themenkomplex 4: Informations- und Warndienste

Im Themenkomplex 4 „Informations- und Warndienste“ wird mittels Frage 9 untersucht, ob die Studienteilnehmenden öffentlich zugängliche Informationsquellen zu spezifischen Wettersituationen nutzen (es sind mehrere mögliche Informationsquellen zur Auswahl angegeben) und ob sie ihr Verhalten im Falle von erfolgten Warnungen gegebenenfalls anpassen. Wird das Verhalten nicht entsprechend angepasst, können in Frage 10 mögliche Gründe dafür ausgewählt werden.

FRAGE 9

Suchen Sie zu einem oder mehreren der folgenden Themen Informationen oder nutzen Sie Warndienste (z. B. Katwarn, Nina oder Hitzewarnungen) und haben Sie Ihr Verhalten daraufhin angepasst?

FRAGE 10

Führt eine Unwetter-/Sturmwarnung für Ihre Region dazu, dass Sie Ihr Verhalten entsprechend anpassen und z. B. Ihre Wohnung/Ihr Haus für die Zeit der Warnung nicht verlassen?

Vor dem Hintergrund zunehmender Extremwetterereignisse dient eine im Vorfeld erfolgende Information über derartige Situationen dem Gesundheitsschutz der Bevölkerung und kann im Extremfall, zum Beispiel bei Sturm- oder Orkanwarnungen, helfen, Menschenleben zu schützen. Aber auch in weniger akut bedrohlichen wetter-assoziierten Situationen können ausreichende Informationen helfen, die Gesundheit zu schützen oder das körperliche Wohlbefinden zu fördern. So können sich beispielsweise besonders vulnerable Bevölkerungsgruppen wie Pollenallergiker und -allergikerinnen über Pollenflugvorhersagedienste wie die Pollenflugvorhersage der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst, 2024) oder den Pollenflug-Gefahrenindex des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2024) informieren und ihre Aktivitäten im Freien, das Lüften der Wohnung oder die Einnahme von antiallergischen Medikamenten entsprechend planen. Weitere Beispiele für selbstwirksamen Gesundheitsschutz durch Information sind die Verlegung von Aktivitäten im Freien bei angekündigter Hitze in die kühleren Morgen- und Abendstunden insbesondere bei älteren Menschen, Schwangeren und Kleinkindern oder die Vermeidung von sportlichen Aktivitäten bei hoher Ozonbelastung bei ozonsensiblen Personen.

Um wirksam zu handeln, müssen entsprechende Informationen die Bevölkerung jedoch erreichen und überzeugen. In der im Jahr 2014 durchgeführten Online-Befragung „Was denken Sie über den Klimawandel“ über das Beteiligungsportal von Baden-Württemberg (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2014) fühlte sich der überwiegende Teil der Befragten nicht ausreichend über Auswirkungen des Klimawandels und geeignete Anpassungsmaßnahmen informiert. Dieser Fragebogen kann potenzielle Informationsdefizite aufzeigen und dabei helfen, öffentliche Informationsquellen zu Wetter und Klima besser und bekannter zu machen und so die Bereitschaft der Bevölkerung zur Ergreifung von Anpassungsmaßnahmen zu erhöhen.

Themenkomplex 5: Wahrnehmung des Klimas

Der fünfte und letzte Themenkomplex „Wahrnehmung des Klimas“ beschäftigt sich mit den psychischen Auswirkungen des Klimawandels. In Frage 11 wird zunächst danach gefragt, ob die Teilnehmenden eine Änderung des Klimas wahrnehmen. In zwei Unterfragen zu Frage 11 wird ermittelt, ob und wenn ja, welche emotionalen Reaktionen die gedankliche Auseinandersetzung mit dem Klimawandel hervorruft und ob und wenn ja, wie stark sich die Befragten durch den Klimawandel körperlich oder psychisch belastet fühlen.

Frage 11 dient auch als Filterfrage, um zwischen Teilnehmenden, die den Klimawandel und seine Folgen nicht erkennen und Teilnehmenden, die den Klimawandel wahrnehmen, zu differenzieren. Im Rahmen der Auswertungen soll im weiteren Verlauf geprüft werden, ob sich die Antworten der Themenkomplexe 1 bis 4 beider Gruppen von Teilnehmenden signifikant voneinander unterscheiden. Die neu entwickelten Fragen 12 und 13, bei denen jeweils aus mehreren Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden kann, wurden erstmals in einer bislang unveröffentlichten Studie des UBA mit Studierenden erprobt. Sie sollen körperliche und mentale Reaktionen und Belastungen, die durch die gedankliche Beschäftigung mit dem Klimawandel entstehen, näher beleuchten.

FRAGE 11

Ändert sich das Klima Ihrer Wahrnehmung nach?

FRAGE 12

Über den Klimawandel nachzudenken, löst in mir die folgende Reaktion aus:

FRAGE 13

Fühlen Sie sich durch den Klimawandel körperlich oder geistig belastet und wenn ja, wie stark?

Der Scoping Review zu Klimawandel und psychischer Gesundheit in Deutschland kommt zu dem Ergebnis, dass die Mehrzahl von in Deutschland befragten Personen über Sorgen bezüglich der Folgen des Klimawandels berichtet, wenngleich diese aktuell jedoch nur selten zu einer klinisch bedeutsamen psychischen Belastung führen (Gebhardt et al., 2023). Zu gleichen Ergebnissen kommt auch eine kürzlich abgeschlossene Studie im Auftrag des UBA (Grothmann, et al., 2024).

Ergebnisse internationaler Studien zeigen verstärkt, dass sich der Klimawandel nicht nur auf die körperliche, sondern auch auf die psychische Gesundheit der Menschen auswirkt. Wie Klimamodelle prognostizieren, wird einerseits die Häufigkeit und Intensität von klimawandelbedingten Extremwetterereignissen weiter steigen, die als akute Stress- oder Gefahrensituation beispielsweise das Risiko für die Entwicklung depressiver Symptome oder einer posttraumatischen Belastungsstörung erhöhen. Auf der anderen Seite kann bereits die gedankliche Auseinandersetzung mit dem Klimawandel und seinen Folgen belastende emotionale Reaktionen hervorrufen.

Insgesamt ist die Datenlage zu den mentalen Belastungen infolge des Klimawandels in Deutschland noch unzureichend erforscht (Gebhardt et al., 2023). Unklar ist auch, ab wann eine zunächst natürliche emotionale Reaktion auf die potenzielle Bedrohung des Klimawandels zur Entwicklung einer psychischen Erkrankung beiträgt. Darüber hinaus werden gegenwärtig verschiedene Konstrukte klimawandelbedingter emotionaler Reaktionen, wie beispielsweise recht prominent die Klimaangst (*climate anxiety*), diskutiert, die nicht trennscharf definiert sind (Gebhardt et al., 2023; Pihkala, 2022). Die mit dem Fragebogen etablierten Fragen können dazu beitragen, ein eindeutigeres Bild über das Vorliegen emotionaler Reaktionen und psychischer Belastungen in Deutschland im Zusammenhang mit der Wahrnehmung des Klimawandels zu erhalten. Außerdem können die Erkenntnisse in die Erstellung von Handlungsempfehlungen zum Umgang mit klimawandelbedingten psychischen Belastungen, ähnlich dem kürzlich im Rahmen eines Forschungsvorhabens (Grothmann, et al., 2024) erarbeiteten Resilienzleitfaden (Ruppel et al., 2024), einfließen.

Ausblick auf Auswertung und weitere Verwendung des Fragebogens

Trotz des limitierten Umfangs soll der Wetter- und Klimawandelfragebogen ein möglichst breites Themenspektrum zu verschiedenen Aspekten von Wetter und Klima abdecken und idealerweise bestehende Verbindungen zwischen den verschiedenen Bereichen sichtbar machen. Die Mehrheit der hier verwendeten Fragen wurde in dieser Form nach Wissen der Autoren und Autorinnen anderswo bisher nicht gestellt. Sollten sie sich in der Praxis als geeignet erweisen, ist geplant, sie für weitere Bevölkerungsstudien, idealerweise auch in einer GerES VI-Nachfolgestudie, zu verwenden. Da in den verschiedenen GerES-Erhebungen üblicherweise Erwachsene mit Kindern und Jugendlichen im Wechsel untersucht werden, könnten die Daten einer zukünftigen GerES-Kinder- und Jugenderhebung unter anderem in Bezug zu Ergebnissen der SINUS-Jugendstudie 2024 gesetzt werden, in der sich zeigte, dass deutsche Jugendliche den Klimawandel als Dauerkrise wahrnehmen und dass die persönliche Auseinandersetzung hiermit vom Sinus-Milieu abhängt, dem die jeweils befragte Person zugeordnet wird (Calmbach et al., 2024).

Interessant wären auch Vergleiche mit weiteren Bevölkerungsbefragungen, wie beispielsweise der alle zwei Jahre von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) und UBA durchgeführten, deutlich umfangreicheren Umweltbewusstseinsstudie, deren Fokus 2022 stärker als im GerES VI-Fragebogen zu Wetter und Klima auf Fragen zur sozialökologischen Transformation lag (Grothmann, et al., 2023). Einige der Fragen könnten auch für die Erhebung von Daten über die gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels genutzt werden, die dann als Indikatoren eine Relevanz für die DAS (BMUV, 2008) haben.

Die GerES VI-Feldarbeit inklusive des Befragungszeitraums für den vorliegenden Fragebogen endete im Juli 2024. Nach Validierung und Auswertung der erhobenen Daten sollen die Ergebnisse dieser Befragung in einer Zeitschrift mit Peer Review-Verfahren publiziert werden. [UBA] ●

Literatur

- [1] Albrecht, G., Sartore, G. M., Connor, L. et al. (2007). Solastalgia: the distress caused by environmental change. *Australas Psychiatry*, 15 Suppl 1, S9598. <https://doi.org/10.1080/10398560701701288>
- [2] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2014). Online-Befragung „Was denken Sie vom Klimawandel?“ der Bürgerinnen und Bürger über das Beteiligungsportal des Landes. Aufgerufen am 15. Oktober 2024 von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/1412_Auswertung_der_Umfrage_Beteiligungsportal.pdf
- [3] Baldermann, C., Laschewski, G., & Groß, J.-U. (2023). Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch veränderte UV-Strahlung. *Journal of Health Monitoring* 8. <https://doi.org/10.25646/11647>
- [4] BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2008). Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. <https://www.bmu.de/download/deutsche-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel>

- [5] Bradley, G. L., Babutsidze, Z., Chai, A. et al. (2020). The role of climate change risk perception, response efficacy, and psychological adaptation in pro-environmental behavior: A two nation study. *Journal of Environmental Psychology*, 68, 101410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101410>
- [6] Calmbach, M., Flaig, B., Gaber, R. et al. (2024). Wie ticken Jugendliche? SINUS-Jugendstudie 2024 (Vol. 11133). Bundeszentrale für politische Bildung
- [7] Capellaro, M., & Sturm, D. (2015). Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit – Band 1, Umwelt & Gesundheit, 03/2015, Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluation-von-informationssystemen-zu-klimawandel>
- [8] DWD – Deutscher Wetterdienst. (2024). Pollenflug-Gefahrenindex. Aufgerufen am 15. Oktober 2024 von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/gefahrenindizespollen/gefahrenindexpollen.html>
- [9] Gebhardt, N., van Bronswijk, K., Bunz, M. et al. (2023). Scoping Review zu Klimawandel und psychischer Gesundheit in Deutschland – Direkte und indirekte Auswirkungen, vulnerable Gruppen, Resilienzfaktoren. *Journal of Health Monitoring*, 8 (S4). <https://doi.org/10.25646/11650>
- [10] Grothmann, T., Ruppel, P., Harms, C. et al. (2024). Die mentalen Auswirkungen des Klimawandels und die Bereitschaft zur Anpassung Umwelt und Gesundheit, Issue. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-mentalen-auswirkungen-des-klimawandels>
- [11] Grothmann, T., Frick, V., Harnisch, R. et al. (2023). Umweltbewusstsein in Deutschland 2022 – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2022>
- [12] Hutter, C., Eberle, A., Wöhrle, H. et al. (2023). Kühle Gebäude im Sommer – Anforderungen und Methoden des sommerlichen Wärmeschutzes CLIMATE CHANGE, 14/2023,, Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kuehle-gebaeude-im-sommer-0>
- [13] Kahlenborn, W., Porst, L., Voß, M. et al. (2021). Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland, Kurzfassung. CLIMATE CHANGE, 26/2021, Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_zusammenfassung_bf_211027_0.pdf
- [14] Pihkala, P. (2022). Toward a taxonomy of climate emotions. *Frontiers in climate*, 3, 738154
- [15] Ruppel, P., Grothmann, T., Harms, C., & Reese, G. (2024). Ratgeber für mentale Gesundheit im Klimawandel. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-fuer-mentale-gesundheit-im-klimawandel>
- [16] Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst. (2024). Aktuelle Tagesprognose für Deutschland. Aufgerufen am 15. Oktober 2024 von <https://www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/aktuelle-taegliche-pollenbelastungsvorhersage.html>
- [17] Taylor, A., Bruine de Bruin, W., & Dessai, S. (2014). Climate change beliefs and perceptions of weather-related changes in the United Kingdom. *Risk Anal*, 34(11), 19952004. <https://doi.org/10.1111/risa.12234>
- [18] UBA – Umweltbundesamt. (2024). Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES VI (2023–2024). UBA. Aufgerufen am 11. Oktober 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/deutsche-umweltstudie-zur-gesundheit-geres/deutsche-umweltstudie-zur-gesundheit-geres-vi-2023>
- [19] Winklmayr, C., Matthies-Wiesler, F., Muthers, S. et. al. (2023). Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention, *Journal of Health Monitoring*, 8(S4). <https://doi.org/10.25646/11645>



Der Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit als Impuls für einen Austausch mit dem ÖGD und anderen Entscheidungstragenden

The status report on climate change and health as a catalyst for an exchange with the public health service and other decision-makers

Kirsten Kelleher, Martin Mlinarić, Franziska Hommes, Angelina Taylor, Thomas Ziese, Hildegard Niemann

Kontakt:

Kirsten Kelleher | Robert Koch-Institut | Fachgebiet Gesundheitsberichterstattung | Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring | General-Pape-Str. 62–66 | 12101 Berlin | E-Mail: klimawandelgesundheit@rki.de

Zusammenfassung

Der Klimawandel ist eine der größten Bedrohungen für die Gesundheit des Menschen. Der 2023 veröffentlichte Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit gibt den aktuellen Wissensstand für Deutschland in Bezug auf die vielfältigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit wieder. Auch Handlungsoptionen, mit denen den klimawandelbedingten Herausforderungen begegnet werden kann, wurden im Bericht für verschiedene Zielgruppen formuliert. Der öffentliche Gesundheitsdienst (ÖGD) stellt als zentraler Akteur im Bereich der gesundheitsbezogenen Anpassung an den Klimawandel eine wichtige Zielgruppe dar. Verschiedene Kommunikations- und Evaluationsformate wurden durchgeführt, um die Bedarfe der Entscheidungstragenden vor Ort besser zu verstehen und den Austausch im Bereich Klimawandel und Gesundheit zu verbessern.

Abstract

Climate change is one of the greatest threats to human health. The Status Report on Climate Change and Health, published in 2023, reflects the current state of knowledge for Germany with regard to the diverse effects of climate change on health. The report also formulates options for action for various target groups that should help in addressing the challenges. The public health service (ÖGD), as a key player in the field of health-related climate change adaptation, was identified as an important target group. Various communication and evaluation formats were carried out in order to better understand the needs of local decision-makers and improve dialogue in the area of climate change and health.





Quelle: Diana/stock.adobe.com

Einleitung

Der Klimawandel ist laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) eine der größten Bedrohungen für die Gesundheit des Menschen im 21. Jahrhundert (WHO, 2015). In Europa macht sich besonders der Temperaturanstieg bemerkbar – bereits 2,2°C von den weltweit anvisierten maximal 1,5°C sind hier erreicht – und in heißen Jahren werden in Deutschland je nach Modell zwischen 4.500 und 9.100 vorzeitige hitzeassoziierte Todesfälle geschätzt (Winklmayr & an der Heiden, 2022; Ballester et al., 2023; Huber et al., 2024). Auch andere Extremwetterphänomene wie Stürme und Überschwemmungen treten durch den fortschreitenden Klimawandel vermehrt auf (Pörtner et al., 2022), fordern Todesopfer und verursachen Krankheiten und Verletzungen. So gab es allein durch die Überschwemmungen im Westen Deutschlands im Juli 2021 fast 200 Todesfälle und circa 1.000 Verletzte (Butsch et al., 2023). Aber auch über diese direkten Gesundheitsschäden hinaus wirkt der Klimawandel auf die menschliche Gesundheit. Eine klimabedingt verlängerte Pollensaison und günstige Bedingungen für die Verbreitung neuer allergener Pflanzen können das Wohlbefinden von Menschen mit allergischen Erkrankungen beeinträchtigen (Bergmann et al., 2023). Vektoren wie Mücken und Zecken, die Infektionserreger übertragen können, werden ebenfalls von klimatischen Faktoren und dem durch den Klimawandel veränderten menschlichen Verhalten, wie vermehrtem Aufenthalt im Freien, begünstigt und könnten zukünftig in Deutschland zu höheren Prävalenzen bestimmter Infektionskrankheiten wie FSME, Lyme-Borreliose oder West-Nil-Virus beitragen (Beermann et al., 2023). Auch

die psychische Gesundheit kann durch die direkten Effekte des Klimawandels und die wahrgenommene Bedrohungslage beeinträchtigt werden (Gebhardt et al., 2023).

Um sich auf die Herausforderungen des Klimawandels für die Gesundheit vorbereiten und adäquat reagieren zu können, sind die Umsetzung umfassender Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung notwendig. Die deutschen Behörden, unter anderem der öffentliche Gesundheitsdienst (ÖGD) auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene, können hier eine zentrale Rolle spielen. Laut der International Association of National Public Health Institutes (IANPHI) sollten die Aufgaben von nationalen Public-Health-Instituten im Bereich Klimawandel und Gesundheit unter anderem darin bestehen, Gesundheitspersonal und die Öffentlichkeit über Klimafragen und Gesundheitsrisiken zu informieren, Querschnittsforschung im Bereich Klima und Public Health vorzunehmen und evidenzbasierte Beratung für gesundheitspolitische Entscheidungen zu leisten (IANPHI, 2021). Entsprechend hat das Robert Koch-Institut (RKI) als deutsches Public-Health-Institut die in diesem Artikel beschriebenen Arbeiten koordiniert und durchgeführt. Im Folgenden berichten wir über den 2023 entstandenen Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit, er ist eine Aktualisierung des Berichts von 2010. Um den Austausch und Anknüpfungspunkte zwischen Wissenschaft und dem ÖGD sowie anderen Praxisvertreterinnen und -vertretern in Deutschland zu vertiefen, wurden begleitende Kommunikations- und Evaluationsmaßnahmen durchgeführt mit dem Ziel, ein besseres Verständnis der Bedarfe der Entscheidungstragenden in diesem Bereich zu erlangen.

Der Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit


Eine aktuelle Evidenzsynthese über die mannigfaltigen Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit in Deutschland bietet der 2023 erschienene Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit. Der Sachstandsbericht von 2010 wurde im Bereich deutscher behördlicher Akteure auf Bundesland- und kommunaler Ebene viel zitiert und beachtet. Um für diese Zielgruppe aktuelles, evidenzbasiertes Wissen bereitzustellen, bedurfte es daher einer grundlegenden Aktualisierung und Erweiterung der Themen. Diese Aktualisierung wurde am RKI koordiniert und vom Bundesministerium für Gesundheit (BMG) gefördert. Die Expertise zu den verschiedenen gesundheitlichen Aspekten kann nur interdisziplinär zusammengetragen werden und so entstand der Bericht als Gemeinschaftswerk von über 100 Autorinnen und Autoren aus mehr als 30 nationalen Behörden, Universitäten und zivilgesellschaftlichen Organisationen. Der Bericht, publiziert als Zusammenschluss von 14 thematisch gruppierten Einzelbeiträgen in drei Ausgaben des Journal of Health Monitoring ( **Abbildung 1**), wurde auf Deutsch und auf Englisch veröffentlicht und ist Open Access unter www.rki.de/klimabericht sowie auf Englisch unter www.rki.de/climateport verfügbar.

Abbildung 1: Einzelartikel des dreiteiligen Sachstandsberichts Klimawandel und Gesundheit

		1. Teil				2. Teil						3. Teil		
Editorial Einleitung		Vektor- assoziiert	Wasser- bürtig	Lebens- mittel	AMR	Hitze	Extrem- wetter	UV- Strahlung	Allergene	Luft- schad- stoffe	Psychi- sche Gesund- heit	Klimage- rechtigkeit	Kommuni- kation	Hand- lungs- optionen
		Infektionskrankheiten/AMR				Nicht-übertragbare Erkrankungen/psychische Gesundheit								

Die Benennung der Themen ist aufgrund der Darstellungsform reduziert, AMR = antimikrobielle Resistenz

Der erste Teil des Berichts nimmt die Auswirkungen des Klimawandels auf Infektionskrankheiten in den Fokus und liefert neben einem in den Themenkomplex einleitenden Beitrag (Hertig et al., 2023) Übersichtsartikel zu vektor- und nagetierassoziierten Infektionskrankheiten (Beermann et al., 2023), wasserbürtigen (Dupke et al., 2023) und lebensmittelbedingten Infektionen und Intoxikationen (Dietrich et al., 2023) sowie dem möglichen Zusammenhang von Klimawandel und antimikrobieller Resistenz (Meinen et al., 2023). Im zweiten Teil liegt der Schwerpunkt auf gesundheitlichen Auswirkungen durch nicht-übertragbare Erkrankungen, die durch Hitze (Winklmayr et al., 2023) und andere Extremwetterereignisse (Butsch et al., 2023), UV-Strahlung (Baldermann et al., 2023), Allergene (Bergmann et al., 2023) und Luftverschmutzung (Breitner-Busch et al., 2023) begünstigt oder verursacht werden, sowie auf der psychischen Gesundheit (Gebhardt et al., 2023). Der dritte Teil widmet sich querschnittlich relevanten Themen wie der Klimagerechtigkeit (Bolte et al., 2023) und der Kommunikation zum Klimawandel (Lehrer et al., 2023). In einem finalen Artikel werden die über den gesamten Bericht ausgesprochenen Handlungsoptionen thematisch gebündelt und Erfolgsfaktoren sowie Zielparameter für Public Health in den Bereichen von Gesundheitspolitik, Implementierung, Monitoring und Kommunikation zusammengefasst (Mlinarić et al., 2023).

In Kooperation mit der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) wurde ein Kommunikationskonzept zur zielgruppengerechten Dissemination der wissenschaftlichen Inhalte erstellt. Damit sollte sichergestellt werden, dass über die Fachöffentlichkeit hinaus auch die Zielgruppe der Entscheidungstragenden auf der Ebene von Ländern, Kreisen und Kommunen im Handlungsfeld Klimawandel und Gesundheit sowie durch die BZgA auch die Allgemeinbevölkerung und spezifische Settings adressiert wurden. Hierfür wurden unter anderem sowohl drei kurze Erklärvideos für die Social-Media-Kommunikation auf YouTube veröffentlicht als auch mit diversen Posts auf den Plattformen X, Mastodon, LinkedIn und Instagram auf das Erscheinen des Berichts und, zu passenden Zeitpunkten (z.B. während Hitzeperioden), auf spezifische Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit hingewiesen. „Agora“, die Kollaborationsplattform für den ÖGD, wurde ebenfalls genutzt, um den Bericht bekannt zu machen. Für die Fachöffentlichkeit kamen verschiedene Autorinnen und Autoren des Sachstandsberichts zusätzlich in einschlägigen Wissenschafts- oder Public Health-Podcasts zu Wort. Darüber hinaus wurden der Bericht sowie einzelne Artikel auf (inter-)nationalen wissenschaftlichen Fachtagungen und Symposien präsentiert.

Im Sachstandsbericht wurden auch Handlungsoptionen zur Anpassung an die klimawandelbedingten gesundheitlichen Auswirkungen formuliert, um über den reinen

Erkenntnisgewinn hinaus konkrete Schritte zur Umsetzung anzuregen. Viele dieser Handlungsoptionen richten sich an Akteurinnen und Akteure des ÖGD und anderer Verwaltungseinrichtungen. Beispiele für solche verhaltens- und verhältnispräventiven Empfehlungen sind die Erstellung und Umsetzung von Hitzeaktionsplänen (Winklmayr et al., 2023), die Schaffung von gesundheitsförderlichen Verhältnissen durch Beschattung zum Schutz vor UV-Strahlung (Baldermann et al., 2023) oder Pflanzung von Stadtgrün mit geringem Allergiepotezial (Bergmann et al., 2023), die Aufklärung bezüglich vektorassoziierter Erkrankungen (Beermann et al., 2023) oder die Schaffung von Stellen mit Klimawandelbezug im Gesundheitswesen und in Behörden zum Aufbau von Kapazitäten (Gebhardt et al., 2023). Vereinzelt wurden auch Handlungsoptionen mit Bezug auf Klimaschutzmaßnahmen formuliert, beispielsweise durch städteplanerische Maßnahmen wie die Schaffung von Grün- und Wasserflächen zur Reduzierung von Wärmeinseleffekten oder den Bau von sicheren Geh- und Fußwegen um die Bereitschaft für aktive Mobilität zu erhöhen (Mlinarić et al., 2023).

Um noch zielgenauer über diese Handlungsoptionen in den Austausch zu kommen, und die Bedarfe der Entscheidungstragenden auf den unterschiedlichen Ebenen des ÖGD mit Bezug zu Klimawandel und Gesundheit zu erfassen, wurden mit dieser Zielgruppe drei Online-Fachgespräche mit insgesamt über 500 Teilnehmenden durchgeführt.

Fachgespräche

Diese Fachgespräche wurden vom RKI in Kooperation mit der BZgA und dem Centre for Planetary Health Policy (CPHP) durchgeführt, welches für die technische Organisation und Auswahl Guter-Praxis-Beispiele zuständig war. Die Gespräche fanden im September 2023 im virtuellen Format mit jeweils zwischen 200 und 300 Teilnehmenden statt. Fokus war einerseits inhaltlicher Input zu besonders relevanten Themen aus dem Sachstandsbericht durch die Autorinnen und Autoren der entsprechenden Fachartikel, andererseits die Diskussion und Vernetzung der Teilnehmenden untereinander, angestoßen und flankiert durch Gute-Praxis-Beispiele aus den Kommunen.

Das erste Fachgespräch griff Aspekte aus den Artikeln zu Hitze, UV-Strahlung und Extremwetterereignissen auf, das zweite Fachgespräch nahm die Leitthemen Allergene, Luftschadstoffe und mentale Gesundheit in den Fokus, im dritten Fachgespräch gab es einen Input zu vektorübertragenen Erkrankungen. Praxisbeispiele wurden jeweils aus großen oder mittelgroßen Städten geliefert und anschließend in moderierten Teilgruppen in Bezug auf ihre Relevanz für Groß-, Mittel- und Kleinstädte diskutiert. Auch weitere Hinweise und Fragen zu Klimawandel-Themen wurden im Rahmen eines kollegialen Erfahrungsaustausches erörtert.

Um wissenschaftliche Arbeit wie den Sachstandsbericht zielgruppengerecht auszurichten, ist es wichtig, die Bedarfe des ÖGD zu kennen. Im Sinne von Health-in-All-Policies sind ein Wissensaustausch und eine gemeinsame Handlungsbereitschaft lokaler Entscheidungstragender aus den im Themenbereich Klimawandel angrenzenden Ressorts Gesundheit, Umwelt und Stadtplanung notwendig. Nur dann lässt sich eine Transformation zur klimaresilienten Stadt oder Gemeinde vollziehen. Mit diesem Ziel wurde etwa einen Monat nach dem letzten Fachgespräch eine Online-Umfrage konzipiert, um die Gespräche



zu evaluieren sowie in Erfahrung zu bringen, zu welchen Themenfeldern im Bereich Klimawandel besonderer Bedarf an Informationen besteht und welche Formate und Ressourcen in der Praxis konkret gebraucht werden. Alle registrierten Personen (N = 800) wurden eingeladen, einen standardisierten Online-Fragebogen zu beantworten.

Identifikation von Ansatzpunkten zur Stärkung des ÖGD im Themenfeld Klimawandel und Gesundheit

In der zweiten Jahreshälfte 2023 wurden am RKI zusätzlich 15 semi-strukturierte Expertenkonsultationen und Gruppendiskussionen mit insgesamt 26 Personen geführt, welche die Identifikation von Ansatzpunkten und Möglichkeiten zur Stärkung des ÖGD im Themenfeld Klimawandel und Gesundheit zum Ziel hatten. Im Rahmen von Gesprächen mit Beschäftigten im ÖGD auf Landes- und kommunaler Ebene sowie Fachleuten mit Expertise an der Schnittstelle zwischen Klimawandel und ÖGD untersuchte das Projektteam qualitativ Bedarfe, welche aktuell und in der Zukunft im ÖGD auf kommunaler und Landesebene mit Blick auf den Themenbereich Klimawandel und Gesundheit bestehen beziehungsweise bestehen werden. Die identifizierten Bedarfe fließen hier ein und werden mit den Ergebnissen der oben erwähnten quantitativen Umfrage im Folgenden gemeinsam diskutiert.

Ergebnisse der Umfrage und Diskussionen

Die Rücklaufquote der Umfrage betrug in Bezug auf die Anzahl der Registrierten (N=800) 20 Prozent (n=161). Die Befragten waren mehrheitlich auf der lokalen/kommunalen/städtischen Ebene aktiv (53%), gefolgt von der Länder- oder Kreisebene (35%). Nach dem eigenen Ressort oder Tätigkeitsbereich gefragt, ordneten sich 71 Prozent mehrheitlich dem Bereich ÖGD/Öffentliche Gesundheit/Public Health zu, weitere 14 Prozent verorteten sich im Bereich Umweltamt/Naturamt/Klimaanpassung. Die weiteren Teilnehmenden kamen aus diversen Verwaltungsebenen wie Stadtentwicklung, Bildung, Soziales (6%), der Wissenschaft (5%), der Pflege beziehungsweise Gesundheitseinrichtungen (2%) und auch der Zivilgesellschaft (2%).

Die höchste aktuelle Bedeutung für die Befragten und ihre Institutionen hatten Aspekte des Klimawandels in den Tätigkeitsfeldern Temperaturveränderungen/Hitze (sehr hohe bis hohe Bedeutung für 70% der Befragten), die Kommunikation zu Klimawandel und Gesundheit (61%) und soziale Determinanten beziehungsweise vulnerable Gruppen im Bereich Klimawandel und Gesundheit (54%) ( **Abbildung 2a**). Es verwundert nicht, dass es auch diese Themen sind, zu denen sich die Befragten in Zukunft prioritär Informationen und Austausch wünschen ( **Abbildung 2b**). Künftig werden Informationen aber auch zum Themenbereich vektorübertragende Erkrankungen gewünscht – 68 Prozent der Befragten aus dem ÖGD haben hier sogar einen noch höheren Austauschbedarf. Der Bedarf an Informationen und künftigem Austausch wurde für alle Themenbereiche höher bewertet als die aktuelle Bedeutung von Aspekten des Klimawandels in den Tätigkeitsfeldern der Teilnehmenden in eben jenen Bereichen, was auf die Wahrnehmung steigender Relevanz der Themen hindeuten könnte. Eine gute Zusammenarbeit zwischen Gesundheits-, Umwelt- und Stadtplanung ist wichtig, um dem hohen Austauschbedarf zu klimawandelbezogenen Entwicklungen in den Themenbereichen Klimagerechtigkeit (soziale Determinanten /

vulnerable Gruppen), gesundheitsförderliche Stadtentwicklung (65%), Extremwetterereignisse (62%) und Folgen auf die psychische Gesundheit (62%) sowie UV-Schutz (63%) gerecht zu werden – hier könnten etwa städtebauliche Maßnahmen eine förderliche Rolle in der Anpassung an den Klimawandel und die Mitigation der gesundheitlichen Folgen spielen. Es fällt in Abbildung 2b ferner auf, dass die Themen antimikrobielle Resistenz (51%) lebensmittelbedingte (50%) und wasserbürtige (46%) Infektionen (z.B. NCV: Nicht-Cholera-Vibrionen in der Ostsee) im ÖGD von der Hälfte der Befragten als wichtige zukünftige Themen wahrgenommen werden.

Abbildung 2a: Aktuelle Bedeutung in Tätigkeitsfeldern der Entscheidungstragenden mit Blick auf den Klimawandel

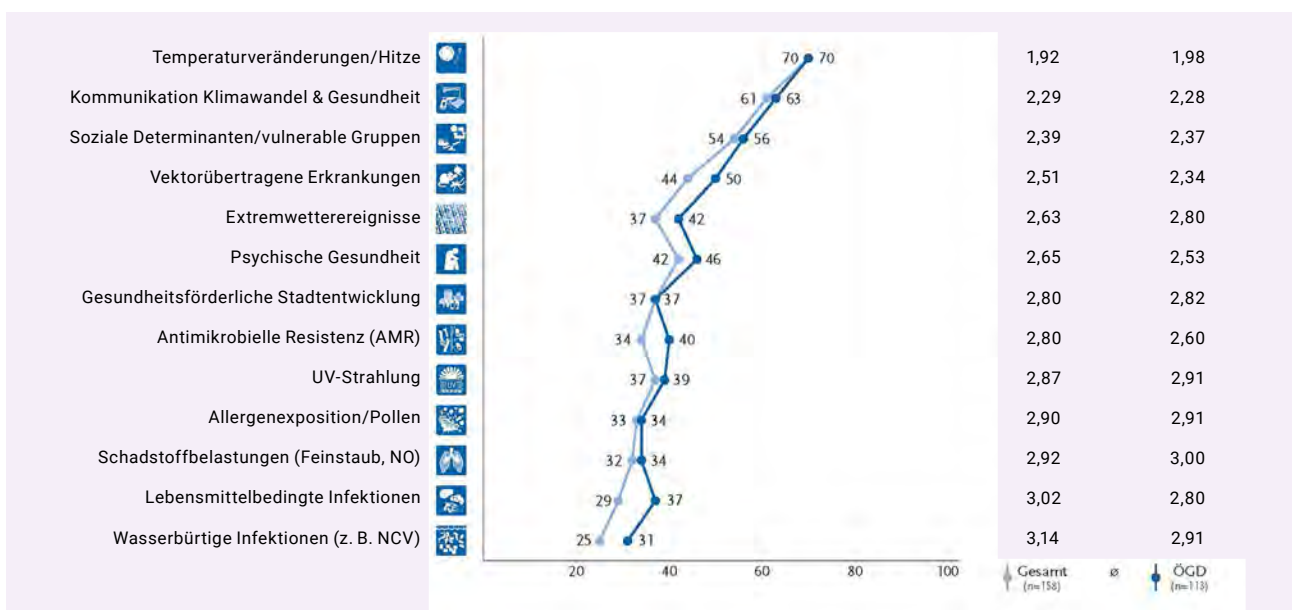
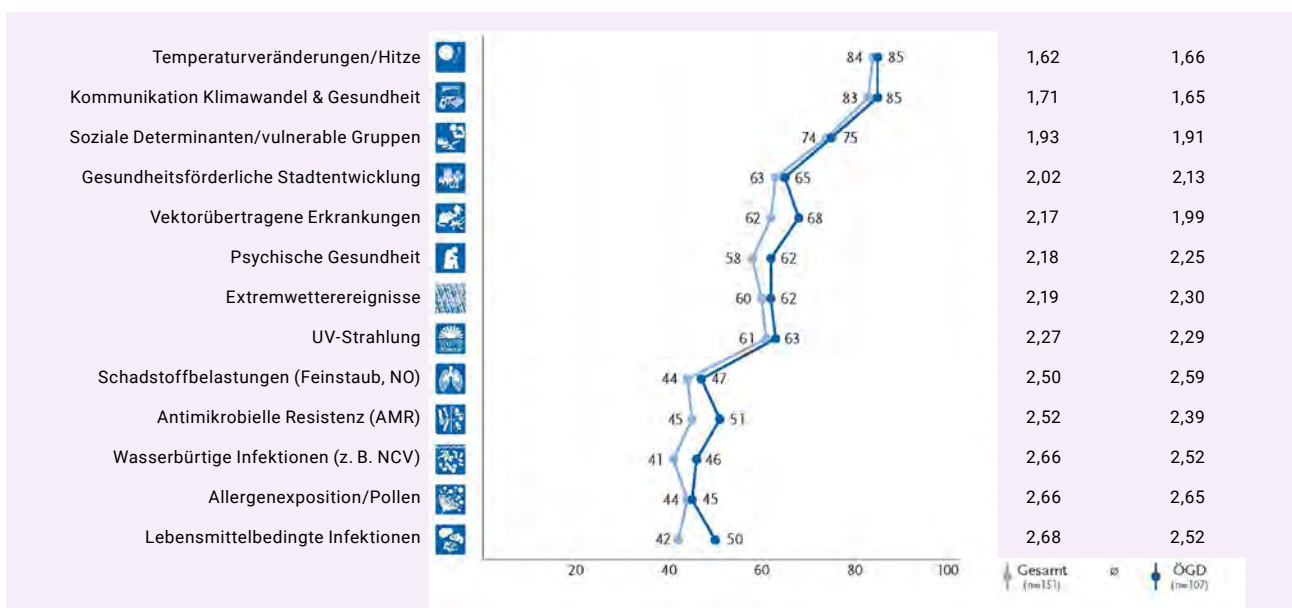


Abbildung 2b: Wunsch nach zukünftigem Austausch der Entscheidungstragenden mit Blick auf den Klimawandel



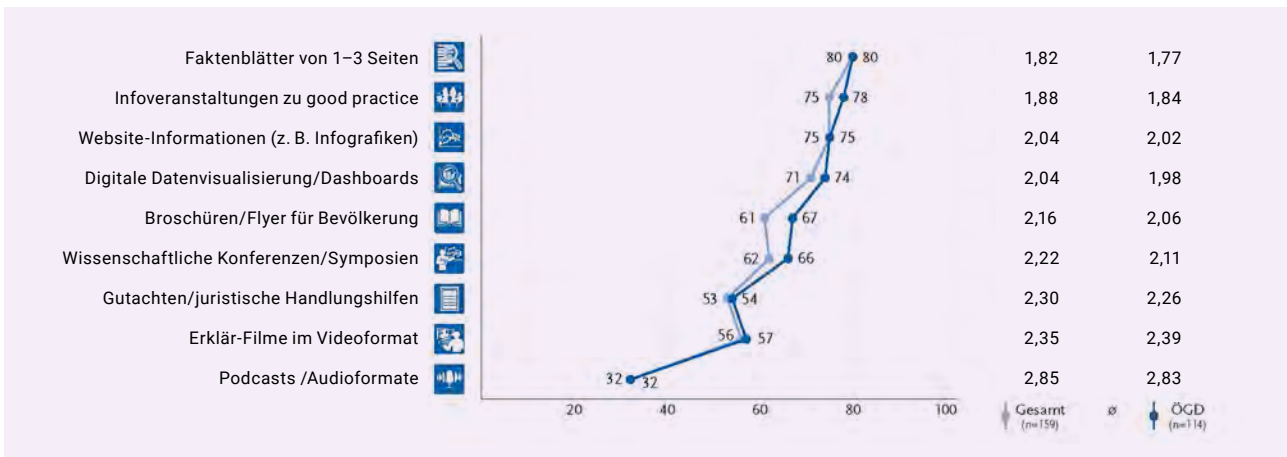
Auch im Rahmen der qualitativ erhobenen Bedarfe des ÖGD wurde Hitze als prominenter Themenbereich identifiziert. Insbesondere wurden hierbei Bedarfe mit Blick auf die Vorbereitung auf Hitzeereignisse in diversen Bereichen hervorgehoben, beispielsweise mit Blick auf das Erstellen von Hitzeaktionsplänen, Informationsmaßnahmen zu Verhaltensänderungen, gesundheitsförderlicher Angebote (z.B. Aufstellen von Trinkbrunnen; Karten von kühlen Orten) oder dem Monitoring von und Berichterstattung zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze auf die menschliche Gesundheit. Nach dem Thema Hitze waren Vektor- und Nagetier-assoziierte Infektionskrankheiten das zweitprominenteste Thema in den Gesprächen. Bedarfe wurden hier in Bezug auf Maßnahmen zur Surveillance und Monitoring der Stechmückenpopulation gesehen. Im Kontext von Klimaanpassungsmaßnahmen zum Schutz vor Hitze und Stechmücken als Vektoren wurde zudem explizit ein Bedarf an Informationen als Grundlage für Aktivitäten und Politikberatung („evidence for action“) geäußert, etwa im Rahmen von Leitlinien und Handlungsempfehlungen. Während zum Zusammenhang von Hitze und gesundheitlichen Auswirkungen auf Risikogruppen bereits theoretisches Wissen existiere, mangle es hierzu laut den Beteiligten an Handlungsempfehlungen.

Diese Ergebnisse lassen sich mit Teilergebnissen des Planetary Health Action Survey (PACE) der Universität Erfurt vergleichen, welche die Wahrnehmungen der Allgemeinbevölkerung untersuchte und im Rahmen des dritten Teils des Sachstandsberichts veröffentlicht wurde (Lehrer et al., 2023). Ein repräsentativer Querschnitt der Allgemeinbevölkerung berichtet hier, welche Aspekte des Klimawandels als hohes Risiko wahrgenommen werden. Auch hier erfahren sowohl Hitze und Hitzewellen (74%) als auch Extremwetterereignisse (74%) und übertragbare Infektionskrankheiten durch Vektoren (67%) die größte Bedeutung im Sinne eines als hoch empfundenen Risikos. Eine vergleichsweise hohe Risikowahrnehmung der Aspekte Luftverschmutzung (66%) sowie zunehmende Gesundheitsbeschwerden durch Allergene (48%) deckt sich jedoch nur bedingt mit der aktuellen arbeitsbezogenen Relevanz dieser Themen unter den befragten Entscheidungstragenden und praktisch Tätigen aus den Fachgesprächen zum Sachstandsbericht (□ **Abbildung 2a**). Hier wird die aktuelle arbeitsbezogene Relevanz beispielsweise von (Luft-)Schadstoffen (32%) wie Feinstaub oder Stickoxiden und Allergenen (34%) im ÖGD von nur einem Drittel berichtet. Gleichwohl werden Luftschadstoffe (44%) und Allergene (45%) in der Gruppe des ÖGD im Hinblick auf die Zukunft (□ **Abbildung 2b**) von nahezu der Hälfte als bedeutsame arbeitsbezogene Handlungsfelder anerkannt. Auch gesundheitliche Folgen von Extremwetterereignissen (37%) werden im ÖGD aktuell (□ **Abbildung 2a**) immerhin bei vier von zehn Befragten als relevantes Tätigkeitsfeld angegeben. Zu bedenken ist jedoch, dass die PACE-Daten sich wie erwähnt auf eine im Hinblick auf Alter, Geschlecht und Bundesland repräsentative Querschnittsstichprobe der Allgemeinbevölkerung stützen, während die beschriebene Online-Umfrage (n=161) selektiv Teilnehmende der Fachgespräche aus dem ÖGD und anderen Verwaltungen respektive Politikressorts im Themenfeld Klimawandel und Gesundheit befragte. Dennoch kann ein Vergleich beider unverbundener Stichproben für die Praxis hilfreiche Implikationen bieten, weil es im Rahmen zielgruppengerechter Klimawandelkommunikation durch die lokalen Akteure sinnvoll sein könnte, bisher vernachlässigte Handlungsfelder zu identifizieren und gegebenenfalls im Hinblick auf praktikable Umsetzungsmaßnahmen vor Ort zu prüfen.

Auf die Frage nach besonders nützlichen Formaten und Ressourcen (□ **Abbildung 3**) für die Arbeit mit Bezug zu Klimawandel und Gesundheit nannten große Teile der ÖGD-Befragten

Faktenblätter für die Fachöffentlichkeit (80%), Informationsveranstaltungen und Netzwerktreffen mit Gute-Praxis-Beispielen (78%), Informationen wie Infografiken auf Webseiten (75%) und die digitale Datenaufbereitung (74%) – etwa in Form von Dashboards. Zwei Drittel des ÖGD (67%) befürworteten auch ein Kurzformat für die Bevölkerung im Sinne einer Broschüre. Kommunikationsformate wie die im Kontext des Sachstandsberichts produzierten Erklär-Filme im Videoformat (56%) oder Besprechung in Podcasts (32%) erfuhren insgesamt weniger Zustimmung.

Abbildung 3: Nützliche arbeitsbezogene Formate und Ressourcen zu Klimawandel und Gesundheit

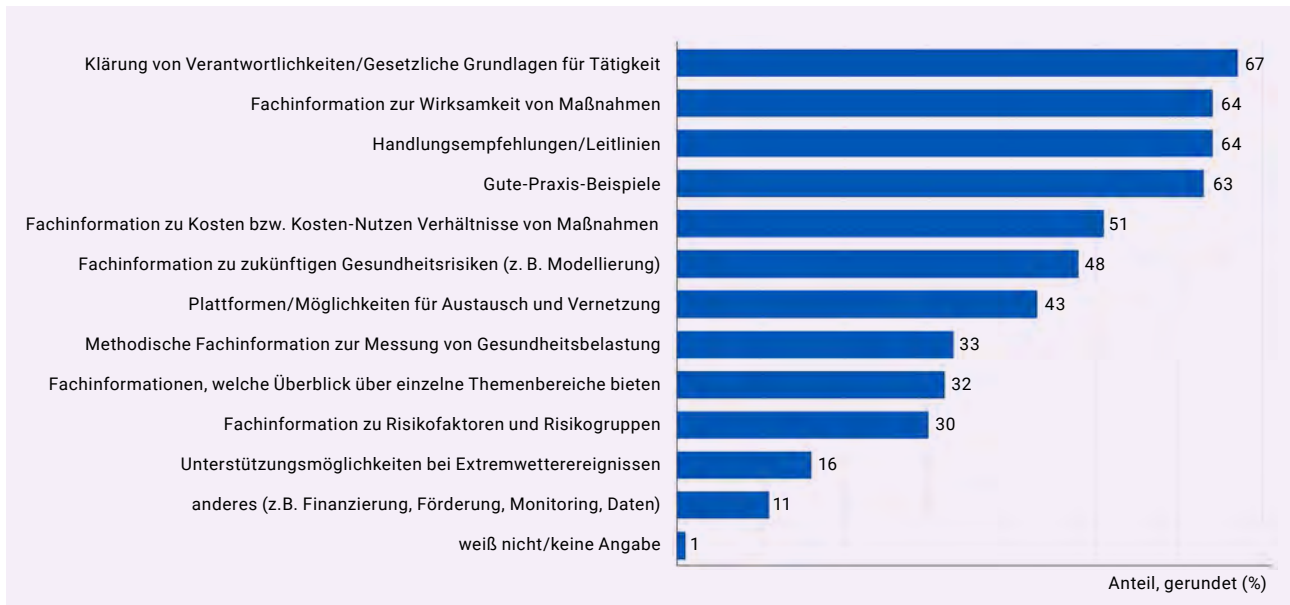


Im Rahmen der qualitativen Befragung von Expertinnen und Experten wurde ein Bedarf an Datengenerierung und Monitoring, an Gesundheitsindikatoren und Möglichkeiten zur Datenanalyse thematisiert. Auch hier wurde explizit das Beispiel eines „Dashboards“ genannt, in dem Daten zu Klimawandel und Gesundheit zusammengefasst und möglichst detailliert dargestellt werden könnten.

Über reine Informationsformate hinaus ging die Frage „Wie könnten Ihre aktuellen und zukünftigen Aktivitäten im Themenbereich Klimawandel und Gesundheit besser unterstützt werden?“, die sowohl in der Umfrage zu den Fachgesprächen als auch in den qualitativen Gesprächen gestellt wurde. In der Umfrage (Abbildung 4) wünscht sich eine Mehrheit von etwa zwei Dritteln der Befragten Unterstützung vor allem im Hinblick auf die Klärungen von Verantwortlichkeiten oder gesetzlichen Grundlagen für die eigene Tätigkeit (67%), Fachinformationen zur Wirksamkeit von Maßnahmen sowie leitlinienbasierte Handlungsempfehlungen (jeweils 64%) und Gute-Praxis-Beispiele (63%). Insbesondere den letzten Punkt betreffend zeigten die oben beschriebenen Fachgespräche, dass Gute-Praxis-Beispiele in Städten und Kommunen lediglich lückenhaft im Bereich Hitzeschutz existieren und in eher seltenen Fällen – bei regionaler Betroffenheit und vorhandenen Ressourcen – im Bereich Monitoring von Vektoren (z.B. Tigermücken). Dies deckt sich auch mit Befunden aus einer Studie des Umweltbundesamtes (UBA), laut derer viele Kommunen in Deutschland sich eher in der Entwicklungs- oder Etablierungsphase eines Hitzeaktionsplans befinden und einen solchen selten priorisieren können (Janson et al., 2023). In Bezug auf die Klärungen von Verantwortlichkeiten und gesetzlichen Grundlagen empfiehlt der Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit (2023) neben einer Anpassung der Gesundheitsdienstgesetze der Länder (GDG) die Weiterentwicklung

rechtlicher Rahmenbedingungen für abgestimmte Verhältnis- und Verhaltensprävention im Sinne von Health-in-All-Policies, vor allem in den Bereichen Gesundheit, Umwelt, Klima, Bauen/Wohnen, Energie, Verkehr, sowie die institutionelle Stärkung intersektoralen Ressorthandelns (Mlinarić et al., 2023).

Abbildung 4: Unterstützung aktueller und zukünftiger Aktivitäten im Themenbereich Klimawandel und Gesundheit



Das Schaffen eines klaren rechtlichen Handlungsrahmens für den ÖGD im Kontext Klimawandel und Gesundheit wurde auch im Rahmen der Konsultationen mit Expertinnen und Experten explizit geäußert und könnte die aktive Mitwirkung des ÖGD im Kontext Klimawandel und Gesundheit fördern. Neben dem Bedarf an Leitlinien, Handlungsempfehlungen und Fachinformationen wurden unter anderem Bedarfe an Indikatoren mit Relevanz für die Gesundheit der Bevölkerung, Evidenz als Grundlage für Politikberatung, Gute-Praxis-Beispiele und auch Austauschmöglichkeiten zu Aktivitäten im Kontext Klimawandel und Gesundheit mehrfach thematisiert.

Fazit und Ausblick

Die Evaluation der Fachgespräche im Rahmen der begleitenden Kommunikation zum Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit sowie qualitative Daten aus den Hintergrundgesprächen zeichnen ein insgesamt vielschichtiges Bild. Sie zeigen jedoch eindeutig auf, dass die direkte Vernetzung von Wissenschaft mit ÖGD und angrenzenden Ressorts lokaler Entscheidungsträger ein gewünschter und wichtiger Bestandteil der Kommunikation ist und künftig auch weiterhin erfolgen sollte. Ohne die Bedarfe, Ressourcen und Barrieren der Akteurinnen und Akteure vor Ort von A bis Z mitzudenken, stellen wissenschaftliche Erkenntnisse für Entscheidungsträger und die Bevölkerung keinen unmittelbaren Mehrwert dar und könnten an einem Mangel an Umsetzbarkeit leiden.

Auch wenn viele – zum Großteil konsistente – Bedarfe mittels quantitativer und qualitativer Befragungen ermittelt wurden, ist eine Umsetzung natürlich nur vorbehaltlich entsprechend geregelter Verantwortlichkeiten, Haushaltslagen und mit ausreichend (Personal-)Ressourcen möglich. Bedingt durch die unterschiedlichen Zuständigkeiten zwischen den Ebenen Bund, Land und Kommune – einschließlich Kreisen – in Deutschland kann nur ein grober Rahmen an Optionen aufgezeigt werden, die für die entsprechende Ebene kontextuell im Sinne eines lernenden Systems anzupassen ist (Mlinarić et al., 2023).

Für die Behörden auf Bundesebene in den Ressorts Gesundheit und Umwelt kann dies implizieren, die bestehenden Verbindungen mit dem ÖGD weiterhin zu nutzen und nach Möglichkeit zu vertiefen. Die Kollaborationsplattform „Agora“ könnte hierfür etwa in Zukunft noch intensiver genutzt und mit aktualisierten Ressourcen aus dem Bereich Klimawandel und Gesundheit befüllt werden.

In naher Zukunft wird am RKI neben dem seit 2024 anlaufenden Panel „Gesundheit in Deutschland“ ein Indikatorenset zum Monitoring von klimarelevanten Gesundheitsaspekten erstellt, das perspektivisch in das entstehende Health Information System einfließen soll. Die Indikatoren könnten auch für künftige Sachstandsberichte im Themenfeld genutzt werden, indem sie eine solide Datenbasis für die Berichterstattung sowie abbildbare Trends zu Klimawandel und Gesundheit ermöglichen. So wird dem Bedarf nach digitaler Datenaufbereitung aktueller Gesundheitsdaten mit Klimawandelbezug Rechnung getragen.

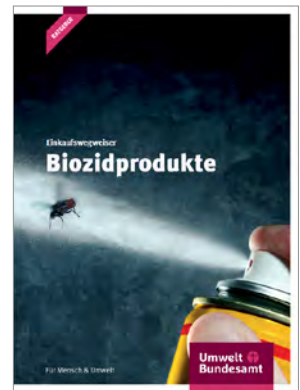
Zusätzlich wird seit Frühjahr 2024 das Wissenschaftsnetzwerk Klimawandel und Gesundheit „KLIG-Net“ etabliert – ein Zusammenschluss von über 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und wissenschaftlich interessierten Vertreterinnen und Vertretern aus der Praxis, die sektorübergreifend im Bereich Klimawandel und Gesundheit arbeiten und durch eine strategische Vernetzung in diesem dynamischen Themenfeld gemeinsame Resultate erzielen wollen. Der Wissenschafts-Praxis-Transfer ist dabei ein wichtiges Anliegen des Netzwerks und soll zukünftig durch gemeinsame Veranstaltungen, Projekte und aktiven Austausch erreicht werden. Dieses intersektorale Vernetzen ist auch im Sinne des Editorials des Sachstandsberichts, geschrieben von den Leitungen aller am Bericht beteiligter Behörden, welches die Notwendigkeit betont, ressortübergreifend zu arbeiten, um die immensen Herausforderungen zu bewältigen: [Nur] „gemeinsam können wir den Auswirkungen des Klimawandels begegnen.“ (Adrian et al., 2023). [RKI] ●

Literatur

- [1] Adrian, G., Dietrich, M., Esser, B. et al. (2023). Gemeinsam können wir den Auswirkungen des Klimawandels begegnen. *J Health Monit*, 8(S3), 3–6. <https://doi.org/10.25646/11390>
- [2] Baldermann, C., Laschewski, G., Grooß, J. U. (2023). Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch UV-Strahlung. *J Health Monit*, 8(S4), 61–81. <https://doi.org/10.25646/11647>
- [3] Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R. F. et al. (2023). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nat Medicine*, 29, 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>

- [4] Beermann, S., Dobler, G., Faber, M. et al. (2023). Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Vektor- und Nagetier-assoziierte Infektionskrankheiten. *J Health Monit*, 8(S4), 36–66. <https://doi.org/10.25646/11392>
- [5] Bergmann, K. C., Brehler, R., Endler, C. et al. (2023). Auswirkungen des Klimawandels auf allergische Erkrankungen in Deutschland. *J Health Monit*, 8(S4), 82–110. <https://doi.org/10.25646/11648>
- [6] Bolte, G., Dandolo, L., Gepp, S. et al. (2023). Klimawandel und gesundheitliche Chancengerechtigkeit: Eine Public-Health-Perspektive auf Klimagerechtigkeit. *J Health Monit*, 8(S6), 3–38. DOI: <https://doi.org/10.25646/11769>
- [7] Breitner-Busch, S., Mücke, H. G., Schneider, A. et al. (2023). Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen der Außenluft. *J Health Monit*, 8(S4), 111–131. <https://doi.org/10.25646/11649.2>
- [8] Butsch, C., Beckers, L. M., Nilson, E. et al. (2023). Gesundheitliche Auswirkungen von Extremwetterereignissen – Risikokaskaden im anthropogenen Klimawandel. *J Health Monit*, 8(S4), 35–60. <https://doi.org/10.25646/11646.2>
- [9] Dietrich, J., Hammerl, J. A., Johne, A. et al. (2023). Auswirkungen des Klimawandels auf lebensmittelbedingte Infektionen und Intoxikationen. *J Health Monit*, 8(S3), 85–101. <https://doi.org/10.25646/11393>
- [10] Dupke, S., Buchholz, U., Fastner, J. et al. (2023). Auswirkungen des Klimawandels auf wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen. *J Health Monit*, 8(S3), 67–84. <https://doi.org/10.25646/11394>
- [11] Gebhardt, N., van Bronswijk, K., Bunz, M. et al. (2023). Scoping Review zu Klimawandel und psychischer Gesundheit in Deutschland – Direkte und indirekte Auswirkungen, vulnerable Gruppen, Resilienzfaktoren. *J Health Monit*, 8(S4), 132–161. <https://doi.org/10.25646/11650>
- [12] Hertig, E., Hunger, I., Kaspar-Ott, I. et al. (2023). Klimawandel und Public Health in Deutschland – Eine Einführung in den Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023. *J Health Monit*, 8(S3), 7–35. <https://doi.org/10.25646/11391>
- [13] Huber, V., Breitner-Busch, S., He, C. et al. (2024). Hitzeassoziierte Mortalität im Extremsommer 2022. *Dtsch Arztebl Int*, 121, 79–85. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2023.0254>
- [14] IANPHI – International Association of National Public Health Institutes. (2021) IANPHI roadmap for action on health and climate change: Engaging and supporting national public health institutes as key climate actors. Aufgerufen am 27. August 2024 von https://ianphi.org/_includes/documents/sections/tools-resources/climate-change/roadmap-climate-english.pdf
- [15] Janson, D., Kaiser, T., Kind, C. et al. (2023). Analyse von Hitzeaktionsplänen und gesundheitlichen Anpassungsmaßnahmen an Hitzeextreme in Deutschland. Im Auftrag des Umweltbundesamtes *Umwelt & Gesundheit* 03/2023
- [16] Lehrer, L., Hellmann, L., Temme, H. et al. (2023). Kommunikation zu Klimawandel und Gesundheit für spezifische Zielgruppen. *J Health Monit*, 8(S6), 39–60. <https://doi.org/10.25646/11770>
- [17] Meinen, A., Tomczyk, S., Wiegand, F. N. et al. (2023). Antibiotikaresistenz in Deutschland und Europa – Ein systematischer Review zur zunehmenden Bedrohung beschleunigt durch den Klimawandel. *J Health Monit*, 8(S3), 102–119. <https://doi.org/10.25646/11395>
- [18] Mlinarić, M., Moebus, S., Betsch, C. et al. (2023). Klimawandel und Public Health in Deutschland – Eine Synthese der Handlungsoptionen des Sachstandsberichts Klimawandel und Gesundheit 2023. *J Health Monit*, 8(S6), 61–91. <https://doi.org/10.25646/11771>

- [19] Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S. et al. (2022). IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In Pörtner HO, Roberts DC, Tignor M et al. (Hrsg.): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge University Press)
- [20] Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit (2023). Deutsche Ausgabe: https://www.rki.de/DE/Content/GesundAZ/K/Klimawandel_Gesundheit/KlimGesundAkt.html. Englische Ausgabe: https://www.rki.de/EN/Content/Health_Monitoring/Main_Topics/Climate-change/climatereport.html
- [21] WHO – World Health Organization. (2015). WHO calls for urgent action to protect health from climate change – Sign the call. Abgerufen am 27. August 2024 von <https://www.who.int/news/item/06-10-2015-who-calls-for-urgent-action-to-protect-health-from-climate-change-sign-the-call>
- [22] Winklmayr, C., Matthies-Wiesler, F., Muthers, S. et al. (2023). Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. J Health Monit, 8(S4), 3–34. <https://doi.org/10.25646/11645>
- [23] Winklmayr, C. & an der Heiden, M. (2022). Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022. Epid Bull, 42, 3–9. <https://doi.org/10.25646/10695.3>



Diese Publikationen können Sie auf der Internetseite des Umweltbundesamtes www.umweltbundesamt.de kostenfrei lesen und herunterladen.



