

○ **RISIKO: WAHRNEHMUNG UND
KOMMUNIKATION**

○ ALLERGIE – EINE UMWELTERKRANKUNG

○ ULTRAFEINE PARTIKEL IN DER UMGEBUNGSLUFT –
AKTUELLER WISSENSSTAND

○ STRAHLENSCHUTZ BEIM STROMNETZAUSBAU –
DAS FORSCHUNGSPROGRAMM DES BFS



● UMWELT + MENSCH INFORMATIONSDIENST

NR. 2/2018



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

IMPRESSUM IMPRINT

UMID – UMWELT + MENSCH
INFORMATIONSDIENST
Nr. 2/2018
November 2018

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

HERAUSGEBER

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

REDAKTION

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

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

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

Dr. Hedi Schreiber
Umweltbundesamt
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: hedi.schreiber[at]uba.de

GESAMTKOORDINATION

Kerstin Gebuhr M.A.
Umweltbundesamt
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: kerstin.gebuhr[at]uba.de

GESTALTUNG

IKONUM Kommunikationsagentur
www.ikonum.com

E-MAIL FÜR UMID

umid[at]uba.de

UMID IM INTERNET

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

DRUCK

Umweltbundesamt
Gedruckt auf Recyclingpapier mit dem Umweltzeichen
"Blauer Engel".

TITELBILD

Detailfotos eines Sicherheitsnetzes
© imaginando/Fotolia.com

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

Bitte beachten Sie: Um Spam-Mails vorzubeugen, werden alle Mailadressen im UMID nicht mit dem @-Zeichen, sondern in der Form "vorname.name[at]einrichtung.de" angegeben.

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

INHALT CONTENT

RISIKO: WAHRNEHMUNG UND KOMMUNIKATION

7 **Risikowahrnehmung von Kontaminanten in
Lebensmitteln: Zusammenhang mit dem
individuellen Ernährungsstil**

*Risk perception of food contaminants: relationship with
individual eating habits*

ANN-KATHRIN LINDEMANN, SEVERINE KOCH, MARK LOHMANN,
GABY-FLEUR BÖL

17 **Workshop „Umwelt und Gesundheit:
Herausforderungen für die Risikokommunikation“**

*Workshop "Environmental Health: Challenges for
risk communication"*

ANDRÉ CONRAD, NADJA STEINKÜHLER

21 **Was tun wir eigentlich, wenn wir über Risiken
sprechen? Linguistische Theorien können bei der
Gestaltung von Risikokommunikation helfen**

What do we do when we speak about risks?

Linguistic theories can aid in designing risk communication

CHRISTOPH BÖHMERT

INHALT CONTENT

- 27** **Risikokommunikation und das Risiko der Kommunikation in der Umweltepidemiologie – Ein Erfahrungsbericht aus Niedersachsen**
Risk communication and the risk of communication in environmental epidemiology – a first-hand report from Lower Saxony
MICHAEL HOOPMANN

- 37** **Risikokommunikation bei der diagnostischen Bildgebung mit Computertomographie**
Risk communication in diagnostic imaging with computed tomography
ROMAN POKORA, EMILIO GIANICOLO, HILTRUD MERZENICH, DANIEL WOLLSCHLÄGER

WEITERE BEITRÄGE

- 47** **Allergie – Eine Umwelterkrankung**
Allergy – An environmental disease
CLAUDIA TRAUDL-HOFFMANN
- 57** **Ultrafeine Partikel in der Umgebungsluft – Aktueller Wissensstand**
Ultrafine particles in ambient air – current state of knowledge
WOLFRAM BIRMILI, KATRIN SÜRING, KERSTIN BECKER, HOLGER GERWIG, KATHRIN SCHWIRN, GUNTER LÖSCHAU, DIETRICH PLASS, MYRIAM TOBOLLIK
- 67** **Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung**
Analysis of heat health-related indicators in view of the national adaption strategy to climate change
ALEXANDER KRUG, HANS-GUIDO MÜCKE

INHALT CONTENT

- 81 Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen 2014–2017 (GerES V) – Ergebnisse der Zufriedenheitsbefragung**
The German Environmental Survey on Children and Adolescents (GerES V) – Results of the participant’s satisfaction survey
JENNIFER MOLDENHAUER, GERDA SCHWEDLER, CHRISTINE SCHULZ, MARIKE KOLOSSA-GEHRING FÜR DAS GERES-STUDIENTEAM
- 89 RENEb – Das Europäische Netzwerk für biologische und retrospektive physikalische Dosimetrie**
RENEb – the European Network for Biological and Retrospective Physical Dosimetry
ULRIKE KULKA, URSULA OESTREICHER, DAVID ENDESFELDER, MICHAEL ABEND, CHRISTINA BEINKE, MATTHIAS PORT
- 97 Welches Potenzial haben Geoinformationssysteme für das bevölkerungsweite Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut?**
Which potential do geographic information systems have for the population-wide health monitoring of the Robert Koch Institute?
MARTIN THISSEN, HILDEGARD NIEMANN, GIANNI VARNACCIA, ALEXANDER ROMMEL, ANDREA TETI, HANS BUTSCHALOWSKY, KRISTIN MANZ, JONAS DAVID FINGER, LARS ERIC KROLL, THOMAS ZIESE
- 107 Strahlenschutz beim Stromnetzausbau – Das Forschungsprogramm des Bundesamtes für Strahlenschutz**
Radiation protection in the process of power grid expansion – the research program of the federal office for radiation protection
BLANKA POPHOF, CHRISTOPH BÖHMERT, CORNELIA EGBLOMASSÉ-ROIDL, DIRK GESCHWENTNER, JENS KUHNE, CHRISTIANE PÖLZL-VIOL, JANINE-ALISON SCHMIDT, MARIA SCHNELZER, GUNDE ZIEGELBERGER

Risikowahrnehmung von Kontaminanten in Lebensmitteln: Zusammenhang mit dem individuellen Ernährungsstil

Risk perception of food contaminants: relationship with individual eating habits

ZUSAMMENFASSUNG

Verbraucherinnen und Verbraucher mit unterschiedlichen Ernährungsgewohnheiten haben eine unterschiedliche Risikowahrnehmung gegenüber Lebensmittelkontaminanten. Dies zeigte eine repräsentative Umfrage des Bundesinstituts für Risikobewertung. Personen, die sich vegetarisch beziehungsweise regelmäßig ökologisch ernähren, schätzen Kontaminanten in Lebensmitteln tendenziell als größeres gesundheitliches Risiko ein als Personen, die sich omnivor beziehungsweise vor allem mit konventionell produzierten Lebensmitteln ernähren. Allerdings beschränken sich diese Unterschiede auf die allgemeine Einschätzung von Kontaminanten. Bei konkreten Beispielen von Kontaminanten wie Dioxin in Eiern und Milch wurden keine Unterschiede in der Risikowahrnehmung zwischen Personen mit verschiedenen Ernährungsstilen festgestellt. Tendenzuell wurde allen Kontaminanten ein eher hohes Gesundheitsrisiko zugeschrieben.

ANN-KATHRIN
LINDEMANN,
SEVERINE KOCH,
MARK LOHMANN,
GABY-FLEUR BÖL

ABSTRACT

A representative study by the German Federal Institute for Risk Assessment shows a link between eating habits and risk perception of food contaminants. Participants who classify themselves as vegetarian or who regularly eat organic food see food contaminants as a bigger health risk than omnivores or people who mainly eat produce from conventional agriculture. However, these differences in risk perception only occurred when the participants were asked to rate the potential health risk of food contaminants in general. When they were given concrete examples like dioxin in eggs and milk, there were no differences between participants with different eating habits. However, most participants tended to rate the potential health risks of food contaminants as rather high.

EINLEITUNG

Der Mensch ist, was er isst – dieser Ausspruch des Philosophen Ludwig Feuerbach (1846) scheint heute nur noch bedingt wahr zu sein. Vielmehr ist identitätsstiftend, was *nicht* auf dem Teller landet. Ob Weizen, Milch, Fleisch oder Zucker: Kaum ein Nahrungsmittel bleibt von dem Trend des gezielten Verzichts verschont. Zwei bekannte Formen des Verzichts sind zum einen der auf Fleisch beziehungsweise generell auf tierische Produkte (Vegetarismus bzw. Veganismus, Pearson et al.

2011)* sowie die Abkehr von Lebensmitteln aus konventioneller Landwirtschaft (Pfeiler, Egloff 2018a). Wegen ihrer vermuteten gesundheitlichen Vorteile (Yarar, Orth 2018) werden diese Ernährungsstile häufig von gesundheitsbewussten Menschen adaptiert (Hughner et al. 2007; Rosenfeld, Burrow 2017). Das durchschnittlich höhere Gesundheitsbewusstsein von Personen, die sich vegetarisch beziehungsweise ökologisch ernähren, könnte auch im Zusammenhang damit stehen, wieviel Aufmerksamkeit die Personen unterschiedlichen Aspekten der Lebensmit-

* Da die vegane Ernährung als Unterform der vegetarischen Ernährung betrachtet werden kann, wird im Folgenden lediglich der Begriff „vegetarisch“ beziehungsweise „Vegetarierinnen und Vegetarier“ verwendet (Kessler et al. 2016).



FOTO
Von Kartoffelchips
bis Tee: Lebensmittel
können Kontaminanten
enthalten.
Quelle: BfR 2017.

telsicherheit widmen. Die vorliegende Studie hat deshalb untersucht, ob die Adaption eines bestimmten Ernährungsstils auch mit der Bekanntheit und Risikowahrnehmung von Lebensmittelkontaminanten zusammenhängt.

THEORETISCHER HINTERGRUND

Als Lebensmittelkontaminanten werden laut dem Rat der Europäischen Union (vorm. Rat der Europäischen Gemeinschaften) Stoffe bezeichnet, die bei der Produktion oder Herstellung unabsichtlich in Nahrungsmittel gelangen oder als Rückstände aus der Produktion im Lebensmittel verbleiben (EWG Nr. 315/93). Darunter fallen beispielsweise mit Quecksilber belastete Speisefische, Pyrrolizidinalkaloide aus versehentlich mit-

geernteten Wildkräutern in Tees aber auch Mineralöle aus Verpackungen (Koch et al. 2017). Bewusst eingesetzte Lebensmittelzusatzstoffe wie Konservierungsmittel oder Geschmacksverstärker gelten dagegen nicht als Kontaminanten (Fiack, Wittkowski 2017).

Die Auseinandersetzung mit den Motivationen für die Adaption eines Ernährungsstils kann Hinweise darauf liefern, ob auch ein damit einhergehender Einfluss auf die Risikowahrnehmung von Lebensmittelkontaminanten zu erwarten ist. So ist bereits bekannt, dass für den Kauf von Bio-Lebensmitteln unter anderem die eigene Gesundheit, die erwartete hohe Produktqualität sowie Umweltaspekte entscheidend sind (Pearson et al. 2011). Die Konsumentinnen und Konsumenten von ökologisch produzierten Lebensmitteln weisen zudem ein insgesamt größeres Bewusstsein für den

Einfluss der Ernährung auf die Gesundheit auf und beziehen eher Gesundheitsaspekte in ihre Kaufentscheidungen mit ein als die Käufer konventioneller Lebensmittel (BMEL 2016; Hughner et al. 2017).

Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, dass sich Bio-Käuferinnen und -Käufer auch häufiger vegetarisch ernähren als Personen, die vorwiegend konventionell produzierte Kost verzehren (Cicia et al. 2002). Auch Vegetarierinnen und Vegetarier entscheiden sich vorwiegend aus gesundheitlichen Gründen für diesen Ernährungsstil (Kessler et al. 2016; Rosenfeld, Burrow 2017). Im Vergleich zu Personen, die auch Fleischprodukte konsumieren (auch Omnivore genannt), zeichnen sich vegetarisch essende Personen zudem durch eine andere Wertschätzung von Natur und Umwelt aus (Pfeiler, Egloff 2018a, 2018b). Mit einem vermehrten Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln können jedoch auch gesundheitliche Risiken einhergehen. So weisen beispielsweise vegetarisch lebende Personen im Durchschnitt eine deutlich höhere Belastung mit dem Schwermetall Cadmium auf. In pflanzlichen Lebensmitteln kommt Cadmium in höheren Konzentrationen vor allem in Algen, Ölsaaten und Pilzen vor und kann unter anderem zu Nierenschädigungen und Knochendemineralisation führen (BfR 2010).

Angesichts dieser unterschiedlichen Einstellungen von Käufern von ökologisch beziehungsweise konventionell produzierten Lebensmitteln sowie Vegetariern und Omnivoren ist zu erwarten, dass sich diese Bevölkerungsgruppen auch anhand ihrer Einschätzung von Lebensmittelkontaminanten unterscheiden. Der erste erwartete Unterschied betrifft dabei die Bekanntheit von Kontaminanten. Da vegetarisch beziehungsweise ökologisch essende Personen häufig ein anderes Umwelt- beziehungsweise Gesundheitsbewusstsein aufweisen als Personen, die sich vorwiegend omnivor beziehungsweise konventionell ernähren, ist zu fragen, ob sich dies auch in dem Wissen um potenziell gesundheitsschädigende Stoffe widerspiegelt. In dieser Studie wurde

daher untersucht, ob der Ernährungsstil und die Kenntnis von Kontaminanten in einem Zusammenhang stehen. Analog zu dem größeren Wissen könnte das unterschiedliche Umwelt- und Gesundheitsbewusstsein auch einen Unterschied in der Bewertung von Kontaminanten bedingen. Hier wurde daher ein Zusammenhang zwischen dem Ernährungsstil und der Risikoeinschätzung von Kontaminanten allgemein untersucht.

Neben diesen sehr allgemeinen Effekten wurde in der vorliegenden Studie auch geprüft, ob sich die Unterschiede zwischen den Ernährungsgruppen auch bei konkreten Beispielen von Kontaminanten niederschlagen. Es wurde untersucht, ob der Ernährungsstil nicht nur mit der Kenntnis von Beispielen konkreter Kontaminanten zusammenhängt, sondern auch mit deren Risikoeinschätzung.

METHODE

Zur Untersuchung der oben genannten Fragen wurde eine Sekundäranalyse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage durchgeführt (Koch et al. 2017: 774f.). Die Stichprobe umfasste 1.001 deutschsprachige Personen über 14 Jahren aus zufällig ausgewählten Haushalten in Deutschland, die über computergestützte Telefoninterviews (Hansen 2007) befragt wurden. Um zu berücksichtigen, dass inzwischen ein nicht unerheblicher Teil der Bevölkerung über keinen Festnetzanschluss mehr verfügt (Sand 2014), wurden 20 Prozent der Befragten über eine Mobilfunkstichprobe ermittelt. Die zu befragende Person wurde in jedem Haushalt mittels der Last-Birthday-Methode ausgewählt (Gaziano 2005; Salmon, Nichols 1983).

Zu Beginn des Fragebogens wurde der Wissensstand, die allgemeine Risikoeinschätzung sowie die individuelle Einstellung zur Thematik Lebensmittelkontaminanten abgefragt. Anschließend wurden den Befragten konkrete Beispiele für Lebensmittelkontaminanten vorgelegt, zu denen sie ebenfalls eine Risikoeinschätzung abgaben. Zusätzlich wurden auch die subjektive Infor-

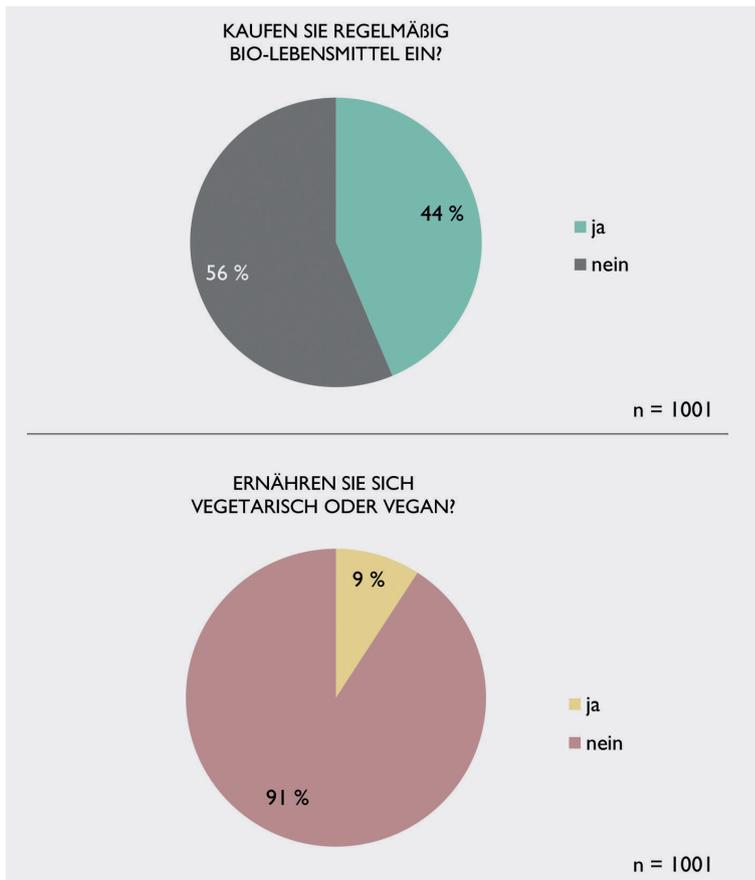


ABBILDUNG 1
Zusammensetzung der Stichprobe nach Einkaufs- und Ernährungsverhalten.

TABELLE 1
Durchschnittliche Anzahl von genannten Kontaminanten.

miertheit zum Thema sowie demografische Informationen abgefragt. Ob die Befragten sich vorwiegend mit konventionellen oder Bio-Lebensmitteln ernähren, wurde über ihr Einkaufsverhalten ermittelt. Gaben die Befragten an, dass sie *regelmäßig* Bio-Lebensmittel einkaufen, wurden sie dem ökologischen Einkaufsverhalten zugeordnet (= Bio-Käufer), andernfalls dem konventio-

nellen Einkaufstyp (= Konventionell-Käufer). Dadurch wurde die Stichprobe anhand des Kaufverhaltens in zwei annähernd gleich große Gruppen unterteilt (ABBILDUNG 1).

Für die Unterscheidung von Vegetarierinnen beziehungsweise Vegetariern sowie Omnivoren sollten die Befragten angeben, ob sie sich „vegetarisch“ ernähren oder nicht. Demnach folgen rund neun Prozent der Stichprobe einem vegetarischen Ernährungsstil (ABBILDUNG 1). Da nicht der Konsum von konkreten Nahrungsmitteln abgefragt wurde, ist es möglich, dass sich hier auch Personen als Vegetarierinnen beziehungsweise Vegetarier bezeichnen, die ab und zu doch fleischhaltige Produkte verzehren. Dies könnte auch den im Vergleich mit vorigen Studien (z.B. Pfeiler, Egloff 2018a) hohen Anteil an vegetarisch lebenden Personen in der Stichprobe erklären.

ERGEBNISSE

ALLGEMEINE BEKANNTHEIT VON KONTAMINANTEN

Vegetarisch lebende Personen beziehungsweise Bio-Käuferinnen und -Käufer zeichnen sich üblicherweise durch ein anderes Gesundheitsbewusstsein im Vergleich zu Omnivoren und Konventionell-Käuferinnen und -Käufern aus. Es wurde geprüft, ob sich dies auch in dem Wissen zu Kontaminanten widerspiegelt (TABELLE 1).

ERNÄHRUNGSSTIL	ANZAHL GENANNTER KONTAMINANTEN NACH ERNÄHRUNGSSTIL			
	VEGETARISCH	OMNIVOR	BIOLOGISCH	KONVENTIONELL
M	0,35	0,29	0,40	0,21
SD	0,67	0,64	0,75	0,53
n	91	892	431	554
Signifikanz	p = .430		p < .001	

M = Mittelwert; DS = Standardabweichung; n = Fallzahl

Personen, die Bio-Produkte einkaufen, nannten in einer offenen Abfrage signifikant mehr Kontaminanten als Käuferinnen und Käufer von konventionell erzeugten Lebensmitteln. Der Unterschied zwischen vegetarisch und omnivor lebenden Personen war dagegen nicht signifikant. Diese Ergebnisse decken sich auch mit der subjektiven Informiertheit der Befragten in Bezug auf Kontaminanten in Lebensmitteln: Hier schätzen sich Bio-Käuferinnen und -Käufer tendenziell als etwas besser informiert ein als Personen, die überwiegend konventionelle Lebensmittel kaufen. Zwischen sich vegetarisch und omnivor ernährenden Personen lässt sich dagegen wiederum kein signifikanter Unterschied nachweisen. Somit konnte lediglich zwischen Bio- und Konventionell-Käuferinnen und -Käufern ein Unterschied festgestellt werden.

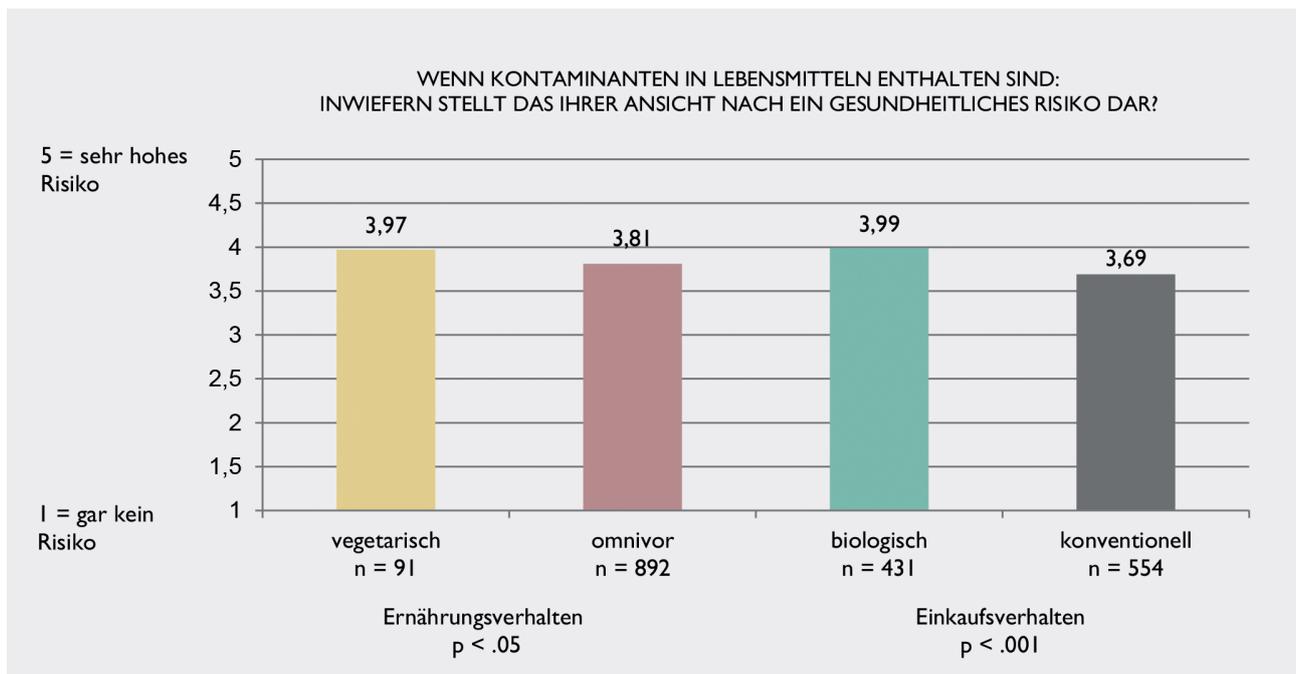
RISIKOWAHRNEHMUNG VON KONTAMINANTEN ALLGEMEIN

Es wurde untersucht, ob sich die Befragten-gruppen auch in ihrer Risikoeinschätzung von Kontaminanten unterscheiden. Hierzu wurden zwei Fragen des Fragebogens ausgewertet. Zunächst sollten die Befragten

auf einer fünfstufigen Skala angeben, inwieweit Kontaminanten in Lebensmitteln ein gesundheitliches Risiko darstellen. Der Begriff „Kontaminanten“ wurde vor dieser Frage konkret definiert, um ein einheitliches Verständnis des Begriffs zu gewährleisten (Koch et al. 2017: 775f.).

Die Befragten verbinden mit Kontaminanten tendenziell ein eher hohes gesundheitliches Risiko (ABBILDUNG 2). Dennoch zeigen sich auch hier Unterschiede: So bewerten sowohl Vegetarierinnen und Vegetarier als auch Bio-Käuferinnen und -Käufer das Risiko von Kontaminanten signifikant höher als Omnivore beziehungsweise Käuferinnen und Käufer von konventionell erzeugten Lebensmitteln. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei der Analyse der nächsten Frage. Hier sollten die Befragten angeben, welche der folgenden drei Aussagen am ehesten auf sie zutrifft: 1) „In meinem Alltag mache ich mir keine Gedanken über unerwünschte Stoffe in Lebensmitteln“; 2) „Ich meide bewusst Lebensmittel, denen eine hohe Belastung mit unerwünschten Stoffen nachgesagt wird“; 3) „Mir ist bewusst, dass manche Lebensmittel unerwünschte Stoffe enthalten können, aber das ist nicht ausschlaggebend dafür, welche

ABBILDUNG 2
Allgemeine Risikoeinschätzung von Kontaminanten nach Ernährungsstil.



Lebensmittel ich kaufe und wie ich sie zubereite“ (Koch et al. 2017: 777f.). Hier zeigen sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Ernährungsgruppen. Sowohl bei den vegetarisch als auch bei den ökologisch lebenden Personen gab ein signifikant größerer Anteil an, vermeintlich belastete Lebensmittel bewusst zu meiden als bei Omnivoren und Konventionell-Käuferinnen und -Käufern (ABBILDUNG 3). Diese gaben dagegen häufiger an, dass Kontaminanten kein Alltagsthema für sie sind.

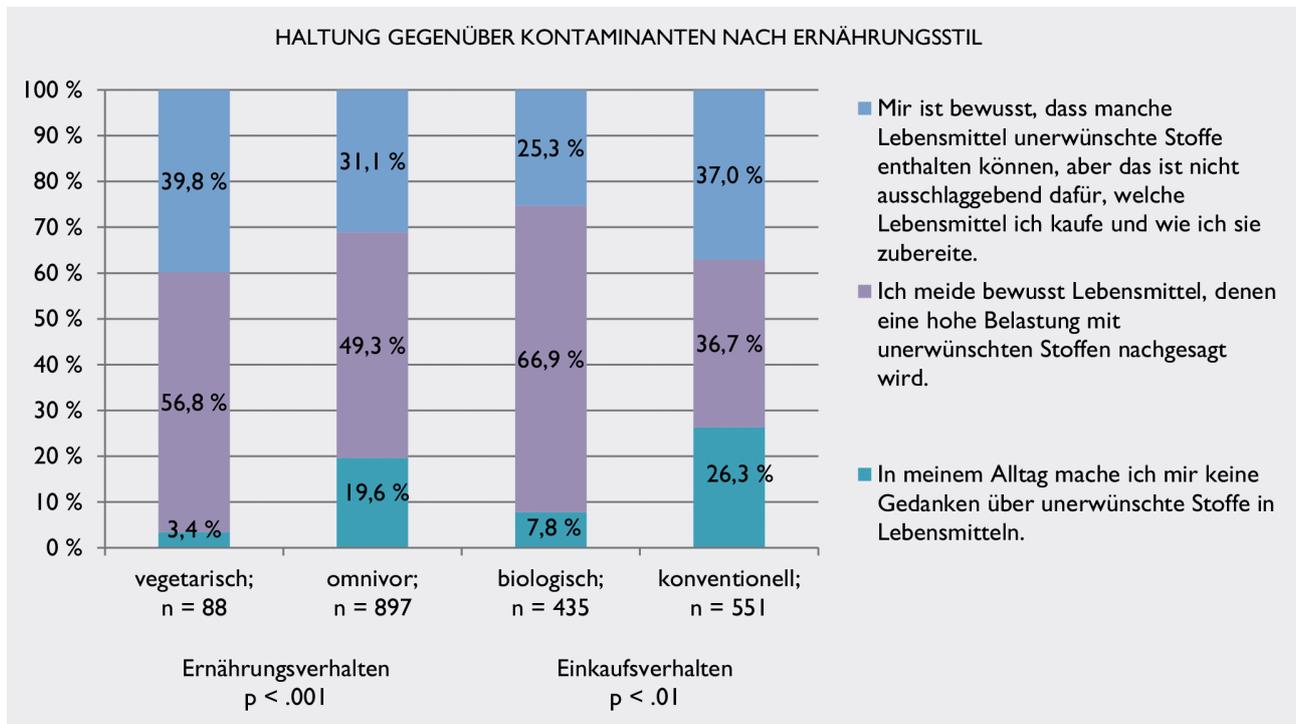
BEKANNTHEIT KONKRETER BEISPIELE VON KONTAMINANTEN

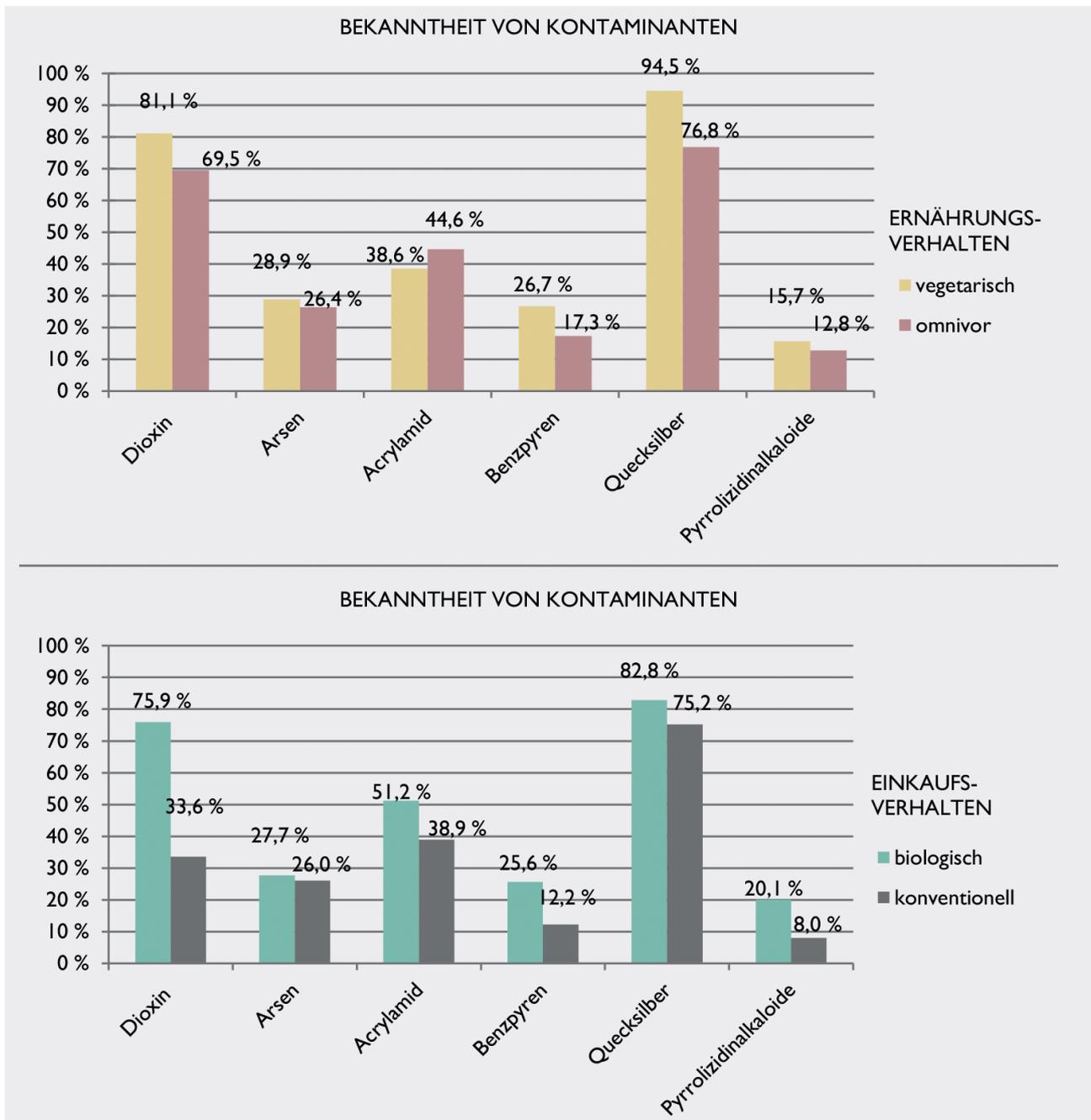
Während der Studie wurden den Befragten sechs konkrete Kontaminanten genannt: Dioxin in Eiern und Milch, Arsen in Reis und Reisprodukten, Acrylamid in Pommes Frites oder getoastetem Brot, Benzpyren in Grillfleisch, Quecksilber in Fisch sowie Pyrrolizidinalkaloide (kurz: PA) in Tee und Honig. Die Befragten sollten zu jedem Beispiel angeben, ob sie bereits davon gehört hatten oder nicht. Die Bekanntheit der einzelnen The-

men unterschied sich dabei zum Teil sehr deutlich voneinander: Während Quecksilber in Fisch rund 78 Prozent aller Befragten ein Begriff war, gaben dagegen nur 13 Prozent an, bereits von PA in Tees und Honig gehört zu haben (ABBILDUNG 4).

Der Anteil derer, denen die genannten Kontaminanten bekannt waren, war unter den Personen, die regelmäßig ökologisch einkaufen, signifikant größer als bei den Käuferinnen und Käufern von konventionellen Lebensmitteln. Lediglich für die Bekanntheit von Arsen in Reis und Reisprodukten erreichte dieser Unterschied kein signifikantes Niveau. Bei den vegetarisch lebenden Personen zeigte sich dagegen ein anderes Muster: Nur bei den Kontaminanten in tierischen Lebensmitteln (Dioxin in Eiern und Milch, Benzpyren in Grillfleisch, Quecksilber in Fisch) gaben signifikant mehr Vegetarierinnen und Vegetarier als Omnivore an, die Kontaminanten zu kennen. Der Ernährungsstil der Befragten hängt somit zumeist mit der Bekanntheit der konkreten Beispiele von Kontaminanten zusammen.

ABBILDUNG 3
Haltung gegenüber
Kontaminanten nach
Ernährungsstil.





RISIKOEINSCHÄTZUNG VON KONKRETEN KONTAMINANTEN

Die Risikoeinschätzung wurde auch für die konkreten Beispiele von Kontaminanten geprüft. Die entsprechende Frage wurde nur den Befragten gestellt, die vorab angegeben hatten, die jeweilige Kontaminante zu ken-

nen, weswegen hier die Gruppengrößen zum Teil stark variieren.

Wie in TABELLE 2 deutlich wird, zeigen sich nur geringe, nicht signifikante Unterschiede in der Risikoeinschätzung der konkreten Kontaminanten durch ökologisch beziehungsweise konventionell kaufende Personen. Etwas anders verhält sich dies bei der

ABBILDUNG 4
Bekanntheit der konkreten Beispiele für Kontaminanten in Prozent.

Risikoeinschätzung durch Vegetarierinnen beziehungsweise Vegetarier und Omnivore. Zwar unterscheidet sich auch hier die Risikoeinschätzung von Dioxin, Arsen, Acrylamid und Quecksilber nur unwesentlich voneinander, bei Benzpyren und PA dagegen zeigen sich deutliche Unterschiede. Während vegetarisch lebende Personen das gesundheitliche Risiko von Benzpyren im Grillfleisch signifikant höher bewerten als Omnivore, sehen diese wiederum ein signifikant größeres gesundheitliches Risiko in Pyrrolizidinalkaloiden (PA) in Tees und Honig. Aufgrund der sehr geringen Anzahl vegetarischer Personen in der Unterstichprobe sollten diese Unterschiede jedoch mit Vorsicht interpretiert werden.

FAZIT UND DISKUSSION

Die vorliegende Studie zeigt, dass zwischen dem Ernährungsstil sowie der Bekanntheit und Risikoeinschätzung von Lebensmittel-

kontaminanten Zusammenhänge bestehen. So nannten Bio-Käuferinnen und -Käufer in der offenen Abfrage signifikant mehr Kontaminanten als Personen, die vorwiegend konventionelle Lebensmittel einkaufen, während sich der Wissensstand vegetarisch lebender Personen von dem omnivor lebender Personen dahingehend nicht unterscheidet. Allerdings schätzten Personen, die sich vegetarisch beziehungsweise ökologisch ernähren, das gesundheitliche Risiko von Kontaminanten im Allgemeinen höher ein verglichen mit Omnivoren beziehungsweise Personen mit konventionellem Kaufverhalten.

Ein anderes Bild ergab sich dagegen bei der Analyse der konkreten Beispiele für Kontaminanten. Während die Bekanntheit der genannten Kontaminanten bei ökologisch beziehungsweise vegetarisch lebenden Personen tendenziell etwas größer ist, unterschieden sich die Personengruppen mit unterschiedlichen Ernährungsstilen bei der Risikoeinschätzung gegenüber kon-

TABELLE 2
Mittlere Risikoeinschätzung der konkreten Beispiele für Kontaminanten.

ERNÄHRUNGSSTIL		RISIKOEINSCHÄTZUNG DER KONTAMINANTEN					
		DIOXIN	ARSEN	ACRYLAMID	BENZPYREN	QUECKSILBER	PYRROLIZIDIN-ALKALOIDE
biologisch	M	3,73	3,87	3,78	3,93	4,18	3,67
	SD	1,42	1,23	1,16	1,08	1,06	1,40
	n	331	120	222	110	360	87
konventionell	M	3,82	4,00	3,64	3,77	4,07	3,71
	SD	1,67	1,74	1,34	1,53	1,34	1,98
	n	371	1,43	215	66	419	44
vegetarisch	M	3,62	3,90	3,86	4,53	4,24	2,76
	SD	1,38	1,49	0,93	0,95	1,37	0,98
	n	73	26	34	24	86	14
omnivor	M	3,80	3,94	3,68	3,76	4,10	3,80
	SD	1,58	1,53	1,23	1,25	1,20	1,62
	n	626	235	400	152	691	114

Skala von 1 bis 5 ; 1 = gar kein Risiko; 5 = sehr hohes Risiko
M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; n = Fallzahl

kreten Beispielen für Kontaminanten nicht voneinander. Die festgestellten Unterschiede im Wissen und in der Risikoeinschätzung fielen allerdings oft nur gering aus und spiegeln daher eher Tendenzen wider.

Als zugrundeliegende Ursache für die Unterschiede kommen mehrere Erklärungen in Betracht. So ist es denkbar, dass Personen aus Sorge über gesundheitliche Risiken von Lebensmittelkontaminanten zu Vegetariern oder Bio-Käufern werden. Genauso könnte jedoch auch eine vegetarische beziehungsweise ökologische Ernährung eine intensivere Auseinandersetzung mit Ernährung und damit verbundenen gesundheitlichen Risiken bewirken – nicht zuletzt, da sich zum Beispiel Vegetarier häufig für ihren Ernährungsstil rechtfertigen müssen (Earle, Hodson 2017). Diese Einsichten können zukünftige Studien liefern, die Personen über einen längeren Zeitraum befragen und so auch die Entwicklungen von Risikoeinschätzungen beziehungsweise Veränderungen im Ernährungsstil erfassen. Die vorliegende Studie liefert Anknüpfungspunkte für die Risikokommunikation im Bereich Lebensmittelkontaminanten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Ernährungsstile und unterstreicht zugleich eine zentrale Herausforderung in der Kommunikation gesundheitlicher Risiken: die Verdeutlichung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen. In der Analyse zeigte sich, dass die Befragten Kontaminanten generell als ein hohes Gesundheitsrisiko wahrnahmen. Das tatsächliche gesundheitliche Risiko hängt jedoch maßgeblich von der Konzentration ab, in der ein bestimmter Stoff in einem Lebensmittel vorhanden ist, und in welchen Mengen dieser Stoff vom Menschen aufgenommen wird. Aufgabe der Risikokommunikation ist es daher auch, grundlegende Prinzipien einer objektiven Risikoeinschätzung auf laienverständliche Weise zu vermitteln, um so zu einem differenzierten Risikoverständnis in der Bevölkerung beizutragen. ●

LITERATUR

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (Hrsg.) (2010): Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel. Ergebnisse des Forschungsprojektes LExUKon. ISBN: 3-938163-70-4. http://www.bfr.bund.de/cm/350/aufnahme_von_umweltkontaminanten_ueber_lebensmittel.pdf (Zugriff am: 19.07.2018).

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) (2016): Ökobarometer 2016. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Oekobarometer2016.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff am: 15.06.2018).

Cicia G, Giudice TD, Scarpa R (2002): Consumers' perception of quality in organic food: A random utility model under preference heterogeneity and choice correlation from rank-orderings. *British Food Journal*, 104 (3): 200–213. DOI: 10.1108/00070700210425660.

Earle M, Hodson G (2017): What's your beef with vegetarians? Predicting anti-vegetarian prejudice from pro-beef attitudes across cultures. *Personality and Individual Differences*, 119: 52–55. DOI: 10.1016/j.paid.2017.06.034.

EWG – Verordnung Nr. 315/93 des Rates vom 08. Februar 1993 zur Festlegung von gemeinschaftlichen Verfahren zur Kontrolle von Kontaminanten in Lebensmitteln (ABl. L 37 vom 13.2.1993, S. 1), die durch Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003 und Verordnung (EG) Nr. 596/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2009 geändert worden ist.

Feuerbach L (1846): Gesammelte Werke, Band 10, Kleinere Schriften III.

Fiack S, Wittkowski R (2017): Kontaminanten in Lebensmitteln – Erfolge, Herausforderungen und Trends. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60 (7): 685–688. DOI: 10.1007/s00103-017-2583-0.

Gaziano C (2005): Comparative Analysis of Within-Household Respondent Selection Techniques. *Public Opinion Quarterly* 69 (1), 124–157. DOI: 10.1093/poq/nfi006.

Hansen KM (2007): The effects of incentives, interview length, and interviewer characteristics on response rates in a CATI-study. *International Journal of Public Opinion Research* 19 (1): 112–121. DOI: 10.1093/ijpor/edl022.

Hughner RS, McDonagh P, Prothero A et al. (2007): Who are organic food consumers? A compilation and review of why people purchase organic food. *Journal of Consumer Behaviour* 6 (2–3): 94–110. DOI: 10.1002/cb.210.

Kessler CS, Holler S, Joy S et al. (2016): Personality profiles, values and empathy: Differences between lacto-ovo-vegetarians and vegans. *Complementary Medicine Research* 23 (2): 95–102. DOI: 10.1159/000445369.

Koch S, Lohmann M, Epp A et al. (2017): Risikowahrnehmung von Kontaminanten in Lebensmitteln. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 60 (7): 774–782. DOI: 10.1007/s00103-017-2557-2.

Pearson D, Henryks J, Jones H (2011): Organic food: What we know (and do not know) about consumers. Renewable Agriculture and Food Systems 26 (2): 171–177. DOI: 10.1017/S1742170510000499.

Pfeiler TM, Egloff B (2018a). Examining the “Veggie” personality: Results from a representative German sample. Appetite 120: 246–255. DOI: 10.1016/j.appet.2017.09.005.

Pfeiler TM, Egloff B (2018b). Personality and attitudinal correlates of meat consumption: Results of two representative German samples. Appetite 121: 294–301. DOI: 10.1016/j.appet.2017.11.098.

Rosenfeld DL, Burrow AL (2017): Vegetarian on purpose: Understanding the motivations of plant-based dieters. Appetite 116: 456–463. DOI: 10.1016/j.appet.2017.05.039.

Salmon CT, Nichols JS (1983): The next-birthday method of respondent selection. Public Opinion Quarterly 47 (2): 270–276. DOI: 10.1086/268785.

Sand M (2014): Dual-Frame-Telefonstichproben: Entwicklung, Handhabung und Gewichtung. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-377859> (Zugriff am: 20.07.2018).

KONTAKT

Dr. Ann-Kathrin Lindemann
Bundesinstitut für Risikobewertung
Abteilung Risikokommunikation
Max-Dohrn-Straße 8–10
10589 Berlin
E-Mail: [ann-kathrin.lindemann\[at\]bfr.bund.de](mailto:ann-kathrin.lindemann[at]bfr.bund.de)

[BfR]

Workshop „Umwelt und Gesundheit: Herausforderungen für die Risikokommunikation“

Workshop "Environmental Health: Challenges for risk communication"

ZUSAMMENFASSUNG

Die Kommunikation umweltbedingter Gesundheitsrisiken stellt Behörden und andere Institutionen vor besondere Herausforderungen. In einem Workshop im Juni 2018 in Berlin wurden anhand aktueller Beispiele aus der Forschung typische Herausforderungen der Risikokommunikation und Lösungsansätze aus der Praxis besprochen. Viele der anwesenden Fachleute sprachen sich in der Abschlussdiskussion insbesondere dafür aus, mit der Risikokommunikation zeitnah zu beginnen. Dabei sollten auch die Unsicherheiten der zugrunde gelegten Informationen thematisiert werden.

ANDRÉ CONRAD
NADJA STEINKÜHLER

ABSTRACT

The communication of environmental health risks confront authorities and other institutions with various challenges. In a workshop, carried out in Berlin in June 2018, typical challenges of risk communication and practical solutions were discussed on the basis of current research. In the final discussion, many of the experts advocated a timely risk communication, which also addresses the uncertainties of the underlying information.

EINLEITUNG

Der diesjährige Workshop des Arbeitskreises „Umweltmedizin, Expositions- und Risikoabschätzungen“ der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi), der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (GMDS) und der Deutschen Gesellschaft für Sozialmedizin und Prävention (DGSM) zum Thema „Umwelt und Gesundheit: Herausforderungen für die Risikokommunikation“ fand am 8. Juni 2018 im Umweltbundesamt (UBA) in Berlin statt. 20 Fachleute aus Forschungseinrichtungen und Behörden nahmen am Workshop teil, der gemeinsam mit der Abteilung Umwelthygiene des UBA veranstaltet wurde.

RISIKOKOMMUNIKATION IM BEREICH UMWELT UND GESUNDHEIT

Umwelt- und Gesundheitsrisiken stellen ein wichtiges Thema des gesellschaftlichen Dialogs dar. Die angemessene Kommunikation über diese Risiken bildet einen wichtigen Aufgabenbereich der entsprechenden Institutionen und Behörden, die im Bereich des umweltbezogenen Gesundheitsschutzes beziehungsweise gesundheitsbezogenen Umweltschutzes tätig sind (lögd 2003).

Insbesondere umweltassoziierte Gesundheitsrisiken sind häufig komplex und multikausal bedingt und daher oft schwierig zu vermitteln. Da für Gesundheitsrisiken meistens keine eindeutigen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bekannt sind, können gesundheitliche Effekte nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorherge-



FOTO
© alotofpeople / Fotolia.

sagt werden (TAB 2005). Dies betrifft unter anderem die Wirkungen von Chemikalien auf das menschliche Hormonsystem (Choi et al. 2016) oder die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels (Eis et al. 2010). Beispielsweise kann ein gleiches oder ähnliches Ausmaß einer Exposition bei verschiedenen Personen zu unterschiedlichen gesundheitlichen Wirkungen führen (TAB 2005). Die Risikoabschätzung bei umweltbezogenen Gesundheitsrisiken ist daher gekennzeichnet durch ein gewisses Maß an Unsicherheit, das es im Rahmen der Risikokommunikation zu managen gilt (Epp et al. 2008).

Die Wahrnehmung von Risiken wird zudem durch unterschiedliche Weltbilder der

Beteiligten mitbestimmt. Eine wichtige Aufgabe der mit der Risikokommunikation befassten Behörden ist es, sachlich fundierte Informationen über den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Forschung zu liefern. Darüber hinaus sind jedoch die Öffentlichkeit und andere Akteure, wie zum Beispiel Interessengruppen, in den Dialog einzubeziehen (Epp et al. 2008; Hertel, Henseler 2005). Risikokommunikation ist somit ein interaktiver Prozess des Informations- und Meinungsaustausches zu Risiken zum Beispiel zwischen Wissenschaftlern, Behörden und betroffenen Bevölkerungsgruppen (Risikokommission 2003). Sie geht damit über reines Informieren hinaus und setzt

eine transparente und adressatengerechte Kommunikation voraus. Wissenschaftliche Erkenntnisse verständlich und für alle relevanten Bevölkerungsgruppen nachvollziehbar weiterzugeben und gleichzeitig in einen wechselseitigen Dialog zu treten, ist jedoch oft nicht einfach (Epp et al. 2008; lögd 2003).

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Workshops Fragen zur zielgruppen-gerechten Einbeziehung der Öffentlichkeit in den Prozess der Risikokommunikation sowie zum Umgang mit möglichen Unsicherheiten in der Risikoabschätzung anhand von fünf Beiträgen diskutiert (dazu auch die Beiträge der Autoren Hoopmann, Böhmert und Pokora in diesem Heft).

BEITRÄGE DES WORKSHOPS

In seinem Einführungsvortrag gab Michael Hoopmann vom Niedersächsischen Landesgesundheitsamt einen umfassenden Überblick über Probleme, die bei der Kommunikation von Gesundheitsrisiken entstehen können. So ging er beispielsweise auf Unterschiede in der Risikowahrnehmung zwischen Laien und Fachleuten ein und thematisierte typische Fehlinterpretationen statistischer Daten. Erfahrungen aus der Praxis der Risikokommunikation stellte er an einem aktuellen Fallbeispiel zu Krebsclustern und Erdgasförderung dar.

Christoph Böhmert vom Bundesamt für Strahlenschutz referierte zur Rolle von Zielen bei der Kommunikation über Umwelt- risiken im Strahlenschutz. Sein Vortrag thematisierte, dass für eine erfolgreiche Risikokommunikation zunächst die verfolgten Ziele – wie zum Beispiel Verhaltensänderungen, Wissenserwerb oder Einstellungsänderungen – zu klären sind. Anschließend müssen dazu passende, spezifische Kommunikationsmaßnahmen formuliert werden.

Roman Pokora von der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz stellte in seinem Vortrag zur Risikokommunikation bei der diagnostischen Bildgebung mit pädiatrischer Computertomo-

graphie (CT) die Ergebnisse einer Online-Recherche zu schriftlichen Patientenaufklärungen für CT-Untersuchungen vor. In einigen Fällen waren die gefundenen Patientenaufklärungen nicht vollständig geeignet, um Strahlenrisiken der Behandlung ausreichend mit Patientinnen und Patienten zu diskutieren. Die Entwicklung von Gesprächsleitfäden für medizinisches Fachpersonal oder Leitlinien für die Erstellung von Patienteninformationen sind vor diesem Hintergrund wünschenswert.

Über die Kommunikation individueller Ergebnisse der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (GerES V) berichtete Katrin Bossmann aus dem Fachgebiet Umweltmedizin des UBA. Die Erfahrungen legen nahe, dass Studienteilnehmende mit einem niedrigen Sozialstatus weniger Rückfragen zu ihren Ergebnissen (bspw. Schadstoffkonzentrationen in Urinproben oder der Innenraumluft) stellen. Eine systematische Erhebung unter allen Teilnehmenden zur Wahrnehmung der individuellen Ergebnisse könnte die Risikokommunikation in GerES weiter verbessern.

Catarina Schiborn vom Deutschen Institut für Ernährungsforschung in Potsdam-Rehbrücke referierte zu Formen der Risikokommunikation im Rahmen des Deutschen Diabetes-Risiko-Tests (DRT). Ziel des DRT ist es, den Teilnehmenden eine realistische Einschätzung ihres individuellen Diabetesrisikos zu ermöglichen. Im Vortrag wurde insbesondere dargestellt, inwieweit die subjektive Risikoeinschätzung vor dem Test mit dem tatsächlichen DRT-Ergebnis übereinstimmt. Es zeigte sich, dass etwas 50 Prozent der Teilnehmenden eine Risikoerwartung angaben, die der berechneten Kategorie entsprach. Bei Fehleinschätzung tendierten eher Frauen zur Überschätzung ihres Diabetesrisikos.

DISKUSSION

Die abschließende Diskussion machte deutlich, dass die Kommunikation über Risiken immer auf den spezifischen Fall sowie die

jeweils betroffenen Risiko- beziehungsweise Zielgruppen ausgerichtet werden sollte. Diese Gruppen sollten daher immer im Vorfeld einer Kommunikationsmaßnahme definiert werden.

Eine besondere Herausforderung stellt das Spannungsfeld zwischen einer zu intensiven und einer zu geringen Kommunikation über mögliche umweltbezogene Gesundheitsrisiken dar. Dieses sollte auch vor dem Hintergrund einer möglichen Informations-Überfrachtung im Auge behalten werden. Viele der anwesenden Fachleute plädierten dafür, eher auf Basis einer unvollständigen Datenlage, dafür jedoch zeitnah Kommunikationsmaßnahmen zu veranlassen. Die durch längere Wartezeit erhoffte „maximale Sicherheit“ der kommunizierten Informationen ist in der Praxis ohnehin kaum erreichbar. In diesem Zusammenhang sprachen sich viele Teilnehmende der Diskussion dafür aus, die Unsicherheiten der kommunizierten Einschätzung stets zu thematisieren. ●

DANKSAGUNG

Die Sprecherin und der Sprecher des Arbeitskreises danken der DGEpi und der DGSMF für die finanzielle Förderung des Workshops und allen Teilnehmenden für Ihre Vorträge und Diskussionsbeiträge.

LITERATUR

Choi J, Knudsen LE, Mizrak S et al. (2016): Identification of exposure to environmental chemicals in children and older adults using human biomonitoring data sorted by age: Results from a literature review. *Int J Hyg Environ Health*, 220 (2 Pt A): 282–298.

Eis D, Helm D, Laußmann D et al. (2010): Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht. Robert Koch-Institut. Berlin. <http://edoc.rki.de/oa/articles/re0BdUKX9pUL6/PDF/29ETCuO6ZOtk.pdf> (Zugriff am: 24.09.2018).

Epp A, Hertel R, Böhl G-F (Hrsg.) (2008): Formen und Folgen behördlicher Risikokommunikation. Bundesinstitut für Risikobewertung. Berlin. https://bfr.bund.de/cm/350/formen_und_folgen_behoerdlicher_risikokommunikation.pdf (Zugriff am: 24.09.2018).

Hertel RF, Henseler G (Hrsg.) (2005): ERiK – Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens der Risikokommunikation. Bundesinstitut für Risikobewertung. BfR Wissenschaft. Berlin. https://www.bfr.bund.de/cm/350/erik_entwicklung_eines_mehrstufigen_verfahrens_der_risikokommunikation.pdf (Zugriff am: 24.09.2018).

Lögd – Landesinstitut für den Öffentlichen Gesundheitsdienst des Landes Nordrhein-Westfalen (2003): Kommunikation im Arbeitsalltag des ÖGD. 4. Jahrestagung des lögd, 29. und 30. März 2001. Bielefeld. https://www.lzg.nrw.de/_php/login/dl.php?u=/_media/pdf/service/Publ/wr/wr13_oegd_4_tagung.pdf (Zugriff am: 24.09.2018).

Risikokommission (Hrsg.) (2003): Abschlussbericht der Risikokommission – ad hoc-Kommission “Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland”. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Salzgitter. http://www.apug.de/archiv/pdf/RK_Abschlussbericht.pdf (Zugriff am: 24.09.2018).

TAB – Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (2005): Risikoregulierung bei unsicherem Wissen: Diskurse und Lösungsansätze. Dokumentation zum TAB-Workshop „Die Weiterentwicklung des gesundheitlichen Verbraucherschutzes als ressortübergreifende Aufgabe“. Diskussionspapier Nr. 11. Berlin. <http://www.forschungsnetzwerk.at/download-pub/Risikoregulierung%20bei%20unsicherem%20Wissen.pdf> (Zugriff am: 24.09.2018).

KONTAKT

André Conrad
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.2 „Toxikologie, gesundheitsbezogene Umweltbeobachtung“
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: [andre.conrad\[at\]uba.de](mailto:andre.conrad[at]uba.de)

[UBA]

Was tun wir eigentlich, wenn wir über Risiken sprechen? Linguistische Theorien können bei der Gestaltung von Risikokommunikation helfen

*What do we do when we speak about risks?
Linguistic theories can aid in designing risk communication*

ZUSAMMENFASSUNG

Risikokommunikatoren müssen nicht nur entscheiden, *was* sie kommunizieren sollen, sondern auch, *wie* sie dies tun sollen. Insbesondere unter wissenschaftlicher Unsicherheit ist diese Entscheidung schwierig. Soll gewarnt werden? Soll eine Empfehlung ausgesprochen werden? Oder genügt eine nüchterne Feststellung? Eine Entscheidungshilfe kann an dieser Stelle die Sprechakttheorie aus der Linguistik bieten. Mit ihr lassen sich Kommunikationsprodukte analysieren und systematisieren. Jedoch sollte die Rolle von Sprechakten in der Risikokommunikation noch besser erforscht werden.

CHRISTOPH
BÖHMERT

ABSTRACT

Risk communicators do not only face decisions about what to communicate, but also about how to communicate. This is often difficult to decide, particularly when scientific uncertainty is involved. Should the public be warned? Should risk reduction be recommended? Or is a neutral statement the best option? A linguistic theory, the so called speech act theory, can serve as a decision aid, helping communicators to analyse and systemise their communication products. Further research about the role of speech acts in risk communication is needed, however.

Bei der Kommunikation über Risiken stellen wissenschaftliche Unsicherheiten häufig ein Problem dar. Der aktuelle Forschungsstand lässt dann keine eindeutige Aussage zu. So zum Beispiel wenn sich die Ergebnisse verschiedener Studien widersprechen: Gibt es ein Risiko oder gibt es gar keines? Wie hoch ist die Unsicherheit rund um das geschätzte Risiko? Gibt es Wirkungen auf Endpunkte, die noch gar nicht untersucht wurden? Diese Fragen stellen Kommunikatoren vor Probleme. Zum einen muss entschieden werden, *was* kommuniziert wird und was nicht. Zum anderen ist es aber auch von Bedeutung, *wie* kommuniziert wird. Soll ein Sachverhalt nüchtern dargestellt werden oder soll eine Empfehlung ausgesprochen werden, das entsprechende Risiko zu minimieren, also den entsprechenden, potenziellen Gefahrenträger zu meiden? Soll vielleicht sogar

gewarnt werden? Bei manchen Risiken, wie zum Beispiel bei der Gefahr einer Kontamination von Eiern mit Salmonellen, fällt die Entscheidung leicht. Die Kommunikatoren müssen die Bevölkerung warnen.

WISSENSCHAFTLICHE UNSICHERHEIT BRINGT UNSICHERHEITEN FÜR DIE KOMMUNIKATION

Wissenschaftliche Unsicherheit hingegen erschwert die Antwort auf diese Fragen. So zum Beispiel im Fall der elektromagnetischen Felder, die von Technologien zur mobilen Kommunikation wie Smartphones oder WLAN-Geräten und deren Basisstationen beziehungsweise Routern zur Informati-

onsübermittlung eingesetzt werden. Laut nationalen und internationalen Strahlenschutzkommissionen sind nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte keine negativen gesundheitlichen Wirkungen zu erwarten. Dies kommunizieren die maßgeblichen Behörden. Neben dieser Information findet man auf den Internetseiten vieler nationaler Strahlenschutzbehörden jedoch zusätzlich Informationen zur individuellen Vorsorge beim Umgang mit dem Mobiltelefon beziehungsweise Smartphone (Stam 2017). Hier liest man beispielsweise, dass das Telefonieren mit dem Festnetztelefon, das Telefonieren bei gutem Empfang oder mit einem Headset die persönliche Strahlenbelastung senkt. Allerdings unterscheiden sich die verschiedenen nationalen Behörden darin, wie sie diese Informationen übermitteln: So „empfehlen“ zum Beispiel das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und das österreichische Bundesministerium für Gesundheit und Frauen, die individuelle Strahlenbelastung zu reduzieren. Hingegen bleibt die australische Strahlenschutzbehörde ARPANSA deutlich neutraler, indem sie einfach „feststellt“, dass es diese Möglichkeiten zur Reduktion gibt. Der wesentliche Inhalt ist in diesem Fall also derselbe. Der Unterschied liegt darin, wie es gesagt wird.

SPRECHAKTE IN DER RISIKOKOMMUNIKATION

In der Linguistik beschäftigt sich die Sprechakttheorie (z. B. Austin 1962; Searle 1976, 1969) mit der Frage, was wir eigentlich tun, wenn wir kommunizieren. Die Parole „Genug geredet, jetzt lasst uns endlich handeln!“ lassen Sprechakttheoretiker nicht durchgehen, denn das Sprechen selbst ist ihnen zufolge schon eine Handlung. Genauer gesagt identifizieren sie drei Komponenten in jedem Sprechakt:

- 1 Den lokutionären Akt: die motorische Ausführung des Sprechens mit Lippen, Zunge usw.
- 2 Den illokutionären Akt: das, was ein Sprechender tut, indem er spricht, also zum Beispiel etwas empfehlen oder feststellen, etwas fragen oder um etwas bitten und so weiter. Der vorliegende Artikel fokussiert auf diesen Sprechakt. TABELLE I zeigt einige Beispiele für weitere Sprechakte, die in einer vereinfachten Version des Klassifikationsschemas nach Searle (1976) angeordnet sind.
- 3 Den perlokutionären Akt: der vom Sprecher intendierte Effekt beim Rezipienten, also zum Beispiel ihn zu überzeugen, ihn zu einer Handlung zu bewegen, ihn zum Lachen zu bringen usw.

TABELLE I
Arten von illokutionären Sprechakten, adaptiert nach Searle 1976.

KLASSE VON ILLOKUTIONÄREM SPRECHAKT	KOMMUNIKATIVE FUNKTION	BEISPIELE
Repräsentative Sprechakte	verpflichten den Sprecher auf die Wahrheit des Gesagten	vermuten, annehmen, schwören etc.
Direktive Sprechakte	Der Sprecher versucht, eine Handlung des Rezipienten hervorzurufen.	befehlen, auffordern, zurechtweisen, empfehlen etc.
Kommissive Sprechakte	verpflichten den Sprecher zu einer künftigen Handlung	versprechen, drohen, anbieten etc.
Expressive Sprechakte	drücken einen psychischen Zustand (im weiteren Sinne) aus	danken, entschuldigen, begrüßen, gratulieren etc.
Deklarationen	führen zu einem (z. B. offiziellen) Zustandswechsel	jemanden zu etwas erklären, taufen, einstellen, befördern, entlassen, nominieren etc.

Während man über das vom Kommunikator verfolgte Ziel, also den perlokutionären Akt, ohne Rücksprache mit dem Kommunikator nur Annahmen treffen kann, sieht dies beim illokutionären Akt anders aus: Das BfS und die australische Strahlenschutzbehörde ARPANSA verwenden augenscheinlich unterschiedliche illokutionäre Sprechakte, um Bürgerinnen und Bürgern Vorsorgeinformationen zu vermitteln. Risikokommunikation lässt sich also anhand dieses Theoriegerüsts analysieren. Natürlich ist dabei zu berücksichtigen, dass die Theorie auch Grenzen hat: Der Kontext, in dem etwas gesprochen wird oder in dem ein Text gelesen wird, hat einen erheblichen Einfluss darauf, ob eine Äußerung zum Beispiel als Feststellung oder als Aufforderung anzusehen ist. Je nach Situation kann zum Beispiel der Satz „Mir ist kalt.“ als bloße Feststellung oder als Aufforderung verstanden werden, das Fenster zu schließen. Hier zeigen sich dann Parallelen zum sogenannten „Kommunikationsquadrat“ des Hamburger Psychologen Friedemann Schulz von Thun (auch bekannt als „Vier-Ohren-Modell“). Das Kommunikationsquadrat bietet einen Rahmen, in dem sich alltägliche Missverständnisse zwischen Kommunikator und Rezipient erklären lassen. So ist es möglich, dass der obige Satz („Mir ist kalt.“) vom Sprecher als bloße Selbstkundgabe gemeint ist, der Hörer jedoch einen Appell heraushört, das Fenster zuzumachen. Je nachdem, wer gerade mit wem kommuniziert und je nach Situation

kann also ein und derselbe Satz einen unterschiedlichen illokutionären Gehalt haben.

Was ist also besser – im Falle von wissenschaftlicher Unsicherheit die verschiedenen Möglichkeiten zur Reduktion einer Belastung zu empfehlen, oder sie lediglich festzustellen? Eine pauschale Antwort darauf gibt es nicht. Es kommt zunächst einmal auf die Risikobewertung durch die jeweilige Institution an. Wenn davon ausgegangen wird, dass ein negativer gesundheitlicher Effekt nicht nur „nicht nachgewiesen“, sondern auch extrem unwahrscheinlich ist, bietet sich womöglich eher eine Feststellung an. In mehreren Studien hat sich gezeigt, dass Informationen zur Vorsorge zu einer erhöhten Risikowahrnehmung in der Bevölkerung führen (KASTEN 1). Der illokutionäre Akt wurde bei diesen Studien jedoch nicht untersucht. Manche der Untersuchungen arbeiteten mit Empfehlungen oder Aufforderungen, andere mit Feststellungen. Da dies jedoch unsystematisch geschah, lassen sich keine Erkenntnisse zur Rolle des illokutionären Akts ableiten. Aus Sicht des Verfassers wäre es sinnvoll, wenn sich künftige Forschung diesem Aspekt widmen würde. In Ermangelung empirischer Evidenz lässt sich aktuell nur vermuten, dass eine Information mit aufforderndem Charakter – wie etwa eine Empfehlung oder eine direkte Aufforderung – eher zu Verunsicherung auf Seiten der Bevölkerung führt, da ihr mehr Gewicht beigegeben wird als einer bloßen Feststellung.

DIE WIRKUNG VON VORSORGEINFORMATIONEN

In verschiedenen Experimenten zeigte sich weitgehend konsistent, dass Informationen zur Vorsorge bezüglich der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zu einer erhöhten Risikowahrnehmung von Rezipienten führen (z. B. Boehmert et al. 2017; Cousin, Siegrist 2011; Wiedemann, Schütz 2005; Wiedemann et al. 2013). In den Experimenten verglichen die Forscher Gruppen von Personen, die Informationen zum Mobilfunk entweder mit oder ohne zusätzliche Vorsorgeinformationen erhalten hatten. Das experimentelle Material bestand entweder aus einzelnen Textbausteinen oder aus Broschüren. In der Mehrzahl der Studien zeigte jene Gruppe, die die Vorsorgeinformationen erhalten hatte, eine höhere Risikowahrnehmung. Eine Ursache dieses Effekts könnte die Wahrnehmung eines scheinbaren Widerspruchs sein, den die Vorsorgeinformation erzeugt: Wenn auf der einen Seite gesagt wird, dass es bislang keine nachgewiesenen gesundheitlichen Effekte gibt, warum wird dann dennoch Vorsorge empfohlen? Bei der Interpretation dieser Forschungsergebnisse sollten jedoch auch deren Limitationen mitbedacht werden. So fanden die Untersuchungen zum Beispiel überwiegend mit Studierenden statt. Zudem ist unklar, welche Auswirkungen die erhöhte Risikowahrnehmung für die Betroffenen in deren Alltag hat.

Vertritt eine Behörde dagegen die Ansicht, dass ein negativer Effekt nicht extrem unwahrscheinlich ist, kann es mehr Sinn machen, Empfehlungen auszusprechen. Darüber hinaus kommt es auch darauf an, wie die jeweilige Institution das Vorsorgeprinzip interpretiert und welchen Stellenwert sie ihm beimisst. Es ist daher möglich, dass im oben genannten Fall sowohl ARPANSA als auch das BfS genau auf die Art und Weise kommunizieren, die sie für richtig halten. Dies wäre der Fall, wenn beide Organisationen unterschiedliche Ziele verfolgen würden, also das BfS Vorsorgeverhalten anregen möchte, während ARPANSA dies nicht möchte.

Möglich ist jedoch auch, dass bei der Gestaltung von Risikokommunikation nicht explizit darüber nachgedacht wird, welchen illokutionären Akt man bemüht. In diesem Sinne ist der vorliegende Artikel auch ein Plädoyer an Risikokommunikatoren, sich nicht nur darüber Gedanken zu machen, was man sagt, sondern auch darüber, wie man das eigene Kommunizieren darstellt. Wie oben skizziert, kann es einen Unterschied darin geben, wie ein illokutionärer Akt vom Verfasser gemeint ist und wie er beim Rezipienten ankommt. Ein Gegenmittel gegen diese Quelle von Missverständnissen ist, explizit zu schreiben, um welche Art Sprechhandlung es sich gerade handelt, gegebenenfalls in Abgrenzung zu anderen Handlungen. Ein Beispiel wäre etwa: „Unsere Behörde stellt fest, dass Handlung X zu einer Reduktion der Belastung mit Y führt. Wir empfehlen Handlung X aber nicht, da wir sie ausgehend vom wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht für nötig halten.“

Die Art der Sprechhandlung in Bezug auf ein Risiko sollte zudem über ein Kommunikationsprodukt (z.B. einen Text oder mehrere zusammenhängende Webseiten) hinweg konsistent sein. Hat man beschlossen, Handlung X zu empfehlen, dann sollte der Rezipient auch durchweg den Eindruck einer Empfehlung erhalten. Denn eine sprachliche Mischung aus Empfehlung („Wir empfehlen Ihnen, X zu tun.“), starker Aufforderung („Machen Sie X!“) und Feststellung („Mit X lässt sich die Belastung durch Y reduzieren.“)

lässt den Rezipienten bei der Interpretation des Geschriebenen allein. Man könnte vermuten, dass die Bandbreite an verschiedenen Interpretationen durch verschiedene Rezipienten dadurch zunimmt. Eine weitere plausible Hypothese wäre, dass der stärkste illokutionäre Akt, im Beispiel die Aufforderung, die Interpretation beherrscht. Ohne Datengrundlage lässt sich dies jedoch nicht mit Bestimmtheit sagen. Daher sollte die Rolle illokutionärer Akte bei der Risikokommunikation besser untersucht werden.

FAZIT

Bei der Gestaltung von Risikoinformationen geht es nicht nur darum, welche Informationen man vermittelt, sondern auch darum, auf welche Weise man sie übermittelt. Insbesondere dann, wenn wissenschaftliche Unsicherheit eine Rolle spielt, sollten Kommunikatoren sich dies gut überlegen. Die Sprechakttheorie bietet an dieser Stelle eine Möglichkeit, die eigene Kommunikation auf systematische Weise zu betrachten und zu gestalten. Der vorliegende Artikel hat dies am Beispiel von Vorsorgeinformationen aufgezeigt – der Nutzen der Sprechakttheorie für die Risikokommunikation ist jedoch keineswegs auf die Vorsorgethematik beschränkt. ●

LITERATUR

- Austin J (1962): *How to Do Things with Words: The William James Lectures delivered at Harvard University in 1955*. Clarendon Press. Oxford.
- Boehmert C, Wiedemann P, Pye J et al. (2017): *The Effects of Precautionary Messages about Electromagnetic Fields from Mobile Phones and Base Stations Revisited: The Role of Recipient Characteristics*. *Risk Anal.* 37 (3): 583–597. DOI: 10.1111/risa.12634.
- Cousin M-E, Siegrist M (2010): *Cell Phones and Health Concerns: Impact of Knowledge and Voluntary Precautionary Recommendations*. *Risk Anal.* 31 (2): 301–311. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01498.x.
- Searle J (1976): *A Classification of Illocutionary Acts*. *Lang Soc.* 5 (1): 1–23. DOI: 10.1017/S0047404500006837.

Searle J (1969): Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language. Philos Quart. 20 (79): 172–179. DOI: 10.2307/2218090.

Stam R (2017): Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields). https://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Algemeen_Actueel/Uitgaven/Milieu_Leefomgeving/Comparison_of_international_policies_on_electromagnetic_fields_2018 (Zugriff am: 13.08.2018).

Wiedemann P, Schuetz H, Boerner F et al. (2013): When Precaution Creates Misunderstandings: The Unintended Effects of Precautionary Information on Perceived Risks, the EMF Case. Risk Anal. 33 (10): 1788–1801. DOI: 10.1111/risa.12034.

Wiedemann P, Schuetz H (2005): The Precautionary Principle and Risk Perception: Experimental Studies in the EMF Area. Environ Health Persp. 113 (4): 402–405.

KONTAKT

Christoph Böhmert
Bundesamt für Strahlenschutz
Stabstelle Risikokommunikation
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: cboehmert[at]bfs.de

[BfS]

Risikokommunikation und das Risiko der Kommunikation in der Umweltepidemiologie – Ein Erfahrungsbericht aus Niedersachsen

Risk communication and the risk of communication in environmental epidemiology – a first-hand report from Lower Saxony

ZUSAMMENFASSUNG

Risikokommunikation betrifft alle Kommunikationsprozesse zwischen den Beteiligten, die sich auf die Identifizierung, Analyse, Bewertung sowie das Management von Risiken beziehen. Die Risikokommunikation mit Bürgerinnen, Bürgern und Medien stellt andere Anforderungen als die in wissenschaftlichen Publikationen und Präsentationen. Anstelle von exakten Definitionen von Fachbegriffen sind verständliche Umschreibungen gefragt. Es gilt eher zu erklären, weshalb man bei einer Problemstellung ein bestimmtes Verfahren wählt, und nicht, es im Detail zu erläutern. Es zeigt sich, dass eine zielgruppenspezifische Kommunikation der Ergebnisse umweltepidemiologischer Untersuchungen häufig wichtiger ist als die Aussagekraft der Untersuchungen selbst. Transparenz und verständliche Kommunikation schafft Akzeptanz der Ergebnisse und damit der weiteren Maßnahmen.

MICHAEL
HOOPMANN

ABSTRACT

Risk communication incorporates all communication processes between each participant and each party referring to the identification, analysis, evaluation, and management of risk. Risk communication with citizens or media demands other requirements than scientific publications or presentations. So instead of exact definitions of technical terms more understandable circumlocutions are required. It is better to explain why a specific procedure is chosen than to explain the procedure in detail. It becomes apparent that often the kind of the specific communication of a result from environmental epidemiologic analysis to the target group is more important than the result itself. Transparency and understandable communication create acceptance of scientific results and therefore as well for ongoing measures.

HINTERGRUND UND HERAUSFORDERUNG

Der Arbeitsbereich Umweltepidemiologie am Niedersächsischen Landesgesundheitsamt (NLGA) beschäftigt sich mit möglichen gesundheitlichen Risiken durch Umweltfaktoren, insbesondere auch mit möglichen „Krebsrisiken“. Das Aufgabenspektrum umfasst dabei vor allem die Beratung und Unterstützung der kommunalen Gesundheitsbehörden bei der Durchführung von kleinräumig beobachteten Häufungen von Krebserkrankungen („Krebsclusteruntersu-

chungen“). Informationen und Berichte dazu finden sich auf den entsprechenden Internetseiten des NLGA. Hier besteht die Herausforderung, nicht allein die Häufigkeit von Krebserkrankungen zu referieren, sondern auch mögliche Risiken im Rahmen öffentlicher Veranstaltungen aufzubereiten oder verschiedene Behörden nicht allein fachlich, sondern zudem in Fragen zum Umgang mit Politik und Medien zu beraten. Der Arbeitsbereich Umweltepidemiologie orientiert sich dabei seit 2005 an dem in **ABBILDUNG 1** dargestellten Ablaufschema, das auch Eingang in ein Empfehlungspapier zum Umgang mit



FOTO
Pressekonferenz zu
einem EHEC/HUS-Aus-
bruch in Norddeutsch-
land 2011.
Quelle: NLGA.

Krankheitsclustern gefunden hat (Schümann et al. 2009). Dabei wird bereits der enge Bezug zur Risikokommunikation ersichtlich: An verschiedenen Stellen im Ablaufschema ist es notwendig, die Öffentlichkeit über die Ergebnisse zu informieren („Bericht“).

Ein aktuelles Beispiel mit überregionaler Bedeutung stellt ein Cluster in einer Samtgemeinde mit intensiver Erdgasförderung (NLGA 2018) dar: Hier wurde für den Zeitraum 2003 bis 2012 vom Epidemiologischen Krebsregister Niedersachsen (EKN) eine sehr ausgeprägte Häufung an hämatologischen Krebsneuerkrankungen bei Männern festgestellt und damit der Verdacht vermehrter Krebserkrankungen im Rahmen einer orientierenden Evaluation bestätigt. Aufgrund dieses bestätigten epidemiologi-

schen Anfangsverdacht wurde einer vertiefenden Evaluation („Nähere Beschreibung des Clusters“) unter anderem eine Befragung aller Einwohner über 16 Jahren durchgeführt. Dies führte zu einem Hinweis auf eine Assoziation zwischen der Häufigkeit der Krebsfälle und dem Wohnabstand zu Bohrschlammgruben sowie zu Erdgasförderstellen. Der Verdacht eines Zusammenhanges zwischen Krebshäufung und Erdgasförderung wurde damit gestützt. Auch wenn bei dieser explorativen Herangehensweise die gefundenen Assoziationen als eher schwach ausgeprägt anzusehen sind, wurde aufgrund der Public Health-Relevanz vom NLGA eine niedersachsenweite Fall-Kontroll-Studie zwischen hämatologischen Krebserkrankungen und der Nähe zur Kohlenwasser-

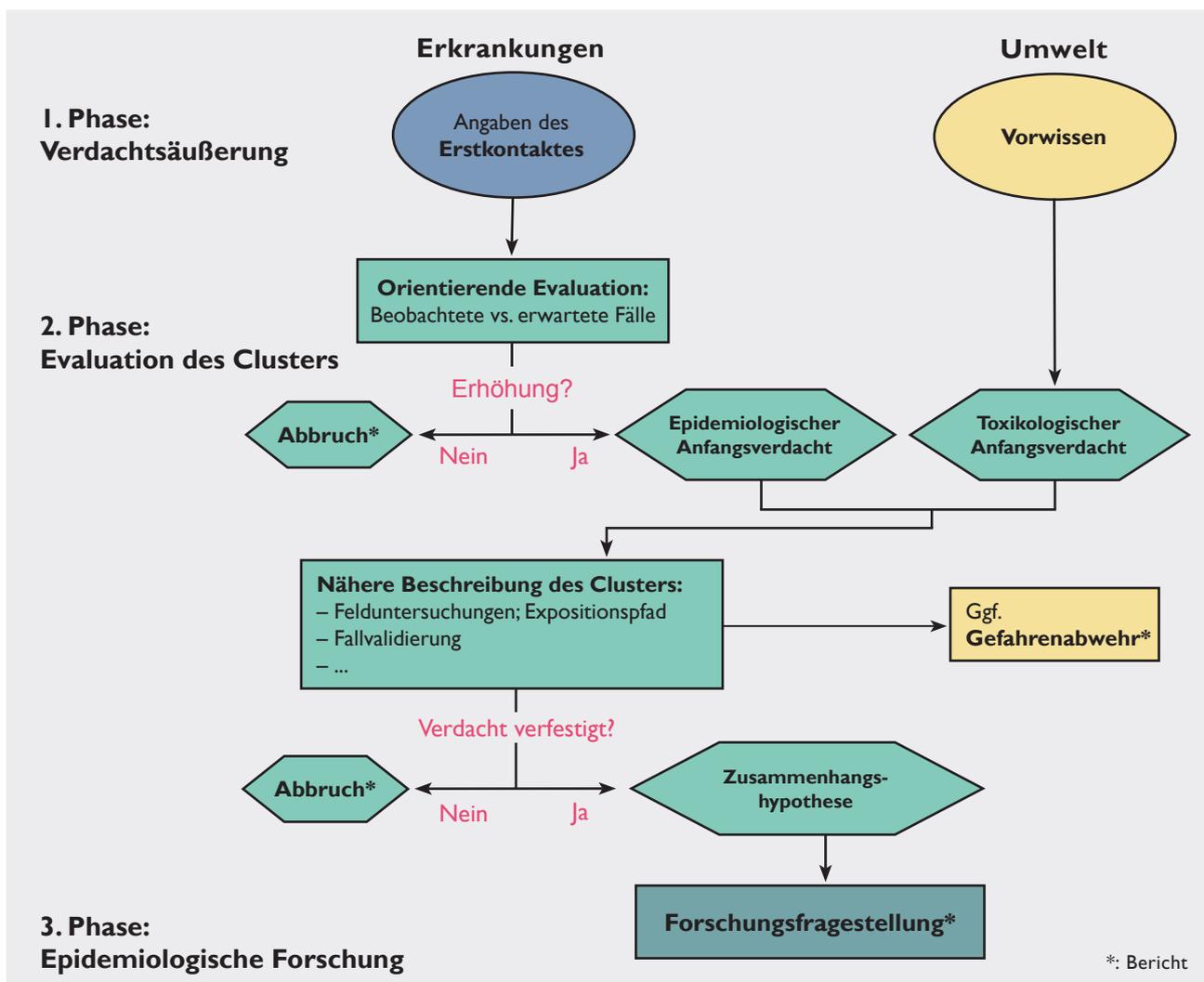
stoffförderung empfohlen; hiermit erfolgte der Übergang zur 3. Phase einer Krebsclusteruntersuchung, der epidemiologischen Forschung.

Maßnahmen der Risikokommunikation begleiteten den gesamten Prozess von der Formulierung der Anfrage an das EKN bis hin zur Empfehlung, eine epidemiologische Studie durchzuführen. Die Rolle der Umweltepidemiologie umfasst dabei die Quantifizierung des Ausmaßes der Inzidenzerhöhung, die Bewertung der in der wissenschaftlichen Literatur dargestellten Risikofaktoren wie auch Machbarkeitsüberlegungen zu zukünftigen Studien. Dabei fand die Risikokommunikation auf verschiedenen Partizipationsstufen (Carius, Renn

2003) statt: von der rein behördlichen Risikokommunikation über diejenige mit gesellschaftlichen Gruppen etwa in gemeinsamen Arbeitskreisen bis hin zu derjenigen in der allgemeinen Öffentlichkeit, vornehmlich in Form von Informationsveranstaltungen.

Die Risikokommunikation betrifft hierbei keine akute Gefahrenlage oder Unfallsituation, aber dafür umso mehr einen Bereich, in dem sich unterschiedlich wahrgenommene Risikovorstellungen in der Öffentlichkeit konträr gegenüberstehen und umso mehr eine ausgewogene Information über tatsächliche oder eben eher nicht-wahrscheinliche Risiken notwendig ist. Gerade bei öffentlichen Informationsveranstaltungen findet dies im unmittelbaren Dialog mit der Zivil-

ABBILDUNG I
 Ablaufschema Krebsclusteruntersuchung.



gesellschaft statt. Insofern setzt der Beitrag seinen Fokus gerade auf dieses Instrument der Risikokommunikation.

RISIKOKOMMUNIKATION – WORUM GEHT ES?

Die Risikokommunikation betrifft alle Kommunikationsprozesse, die sich auf die Identifizierung, Analyse, Bewertung sowie das Management von Risiken und die dafür notwendigen Interaktionen zwischen den Beteiligten beziehen (Jungermann et al. 1990). Über diese verschiedenen risikobezogenen Themenbereiche muss zielgruppengerecht informiert werden, da hier Wissenslücken bestehen.

Die Umweltepidemiologie des NLGA informiert Entscheidungsträger – auf kommunaler oder Landesseite – über umweltmedizinische Risiken. Am Beispiel von Krebsclusteruntersuchungen geschieht dies nicht allein mit der Identifikation eines Krebsclusters, welches in Zusammenhang mit regionalen Umweltfaktoren gerückt wird, sondern überdies auch mit der Beratung über geeignete Maßnahmen des Umganges mit dem Cluster beziehungsweise zu dessen Aufklärung. Hierzu gehört auch die Kommunikation mit der Öffentlichkeit über tatsächliche oder auch nur diskutierte Umweltrisiken. Zur Öffentlichkeit zählen nicht nur direkt betroffene Bevölkerungsgruppen, sondern darüber hinaus interessierte Bürgerinnen und Bürger wie auch Bürgerinitiativen als Teil der modernen Zivilgesellschaft. Risikokommunikation ist somit auch ein wichtiges Instrument, um ein besseres Verständnis für umwelt- und gesundheitspolitische Entscheidungsfindungen in der Öffentlichkeit zu erreichen. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass unterschiedliche Interessengruppen (z. B. Fachleute, Laien, NGOs, Unternehmen, Behörden) von verschiedenen Risikokonzepten ausgehen.

Insofern betrifft die Risikokommunikation eben nicht allein die Vermittlung von

Sachaussagen zum „objektiven“ Risiko, sondern berücksichtigt auch die Wahrnehmung, Einstellung und Einschätzung von Risiken durch „wissenschaftliche Laien“.

Eine allgemeine Richtlinie zur Risikokommunikation geht auf die amerikanische Umweltschutzbehörde zurück und formuliert sieben Regeln einer guten Risikokommunikation (Covello, Sandman 2001; Covello 2003), die wie folgt konkretisiert werden können:

- 1 Umgang mit den verschiedenen Interessensvertretern? – Binde alle ein!
- 2 Umgang mit der Öffentlichkeit? – Höre den Leuten zu!
- 3 Umgang mit den eigenen Informationen (und Informationslücken)? – Sei ehrlich und offen!
- 4 Umgang mit anderen Informationsquellen? – Suche die Zusammenarbeit!
- 5 Umgang mit den Medien? – Gehe auf ihre Bedürfnisse ein!
- 6 Wie soll kommuniziert werden? – Klar verständlich und mit Mitgefühl!
- 7 Wie soll das Problem angegangen werden? – Plane durchdacht und sorgfältig!

Die Punkte 1, 2, 4 und 5 betreffen somit den Umgang mit anderen (potenziell) Beteiligten, während 3 und 6 aussagen, wie das eigene Wissen – inklusive in welchem Umfang – kommuniziert werden soll.

Ein wichtiges Instrument in dem gesamten Prozess der Risikokommunikation ist zweifelsohne das der öffentlichen Informationsveranstaltung, bei dem nicht eine einseitige Information erfolgt, sondern der Dialog mit der Öffentlichkeit gesucht wird. Anders als die Information über Berichte und Presseinformationen steht hier nicht allein im Fokus, die eigene Botschaft klar und verständlich zu transportieren, sondern auch bereits unmittelbar auf Kritikpunkte gleich welcher

Art zu reagieren. Dabei ist, anders als bei Fachgesprächen oder Arbeitskreissitzungen, das Publikum beliebig heterogen.

RISIKO: ABSCHÄTZUNG, BEWERTUNG UND WAHRNEHMUNG

ABBILDUNG 2 veranschaulicht das Risiko, wie es in der Toxikologie beschrieben wird, als Funktion sowohl des Schadenspotenzials, dem sogenannten „hazard“, sowie der Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadensereignisses.

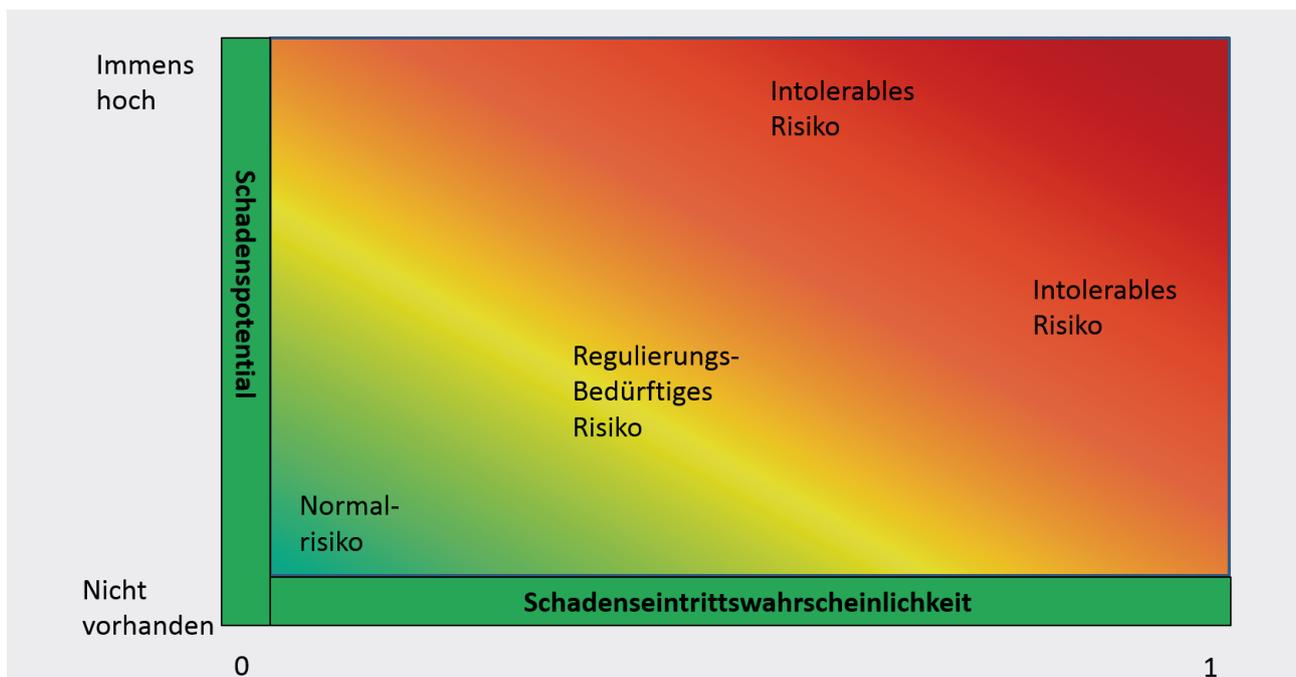
Eine derartige Darstellung könnte somit als geeigneter Einstieg für eine umweltbezogene Risikobetrachtung vor einem Laienpublikum angesehen werden, zumal es gleichsam eine „objektive“ Bewertung von Risiken zu erlauben scheint. Diese Abbildung wäre aber mit ihren Fachtermini zu technisch und könnte zum Eindruck führen, dass ein Risikobewertungsschema geradezu dogmatisch in die Diskussion um mögliche Risiken eingeführt werden soll. Folgende Fragen könnten gestellt werden:

- Warum werden zur Erläuterung eines an sich einfachen Sachverhaltes neue (fremdsprachliche) Fachbegriffe eingeführt?
- Was ist unter einem „normalen Risiko“ zu verstehen? Unter welchen Umständen normal?
- Ist „regulierungsbedürftig“ eine euphemistische Umschreibung für „eigentlich schon deutlich zu hoch“?
- Intolerables Risiko beinhaltet ja wohl auch, dass es tolerable Risiken gibt. Fremdverschuldete Risiken sind aber ja wohl kaum zu tolerieren!

Derartige Reaktionen sind durchaus nachvollziehbar, schließlich bestehen unterschiedliche Risikowahrnehmungen zwischen Laien und Fachkundigen, wie auch zwischen verschiedenen Fachleuten. Beide Gruppen machen bei der Informationsverarbeitung Fehler: Informationen fehlen oder werden nicht richtig verarbeitet.

Die individuelle oder auch intuitive Risikowahrnehmung ist emotional geprägt und beinhaltet beispielsweise Aspekte wie „per-

ABBILDUNG 2
 Risiko als Funktion von Schadenseintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotenzial – Einschätzung von Risiken.



sönliches Kontrollvermögen“ oder „Gewöhnung an eine Risikoquelle“ (Carius, Renn 2003). Sie berücksichtigt eben nicht nur die sogenannten „objektiven“ mess- beziehungsweise schätzbaren Kriterien Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotenzial (Bechmann, Stehr 2000). So sind insbesondere fremd verursachte Risiken ohne eigenen Nutzen schwer zu akzeptieren – selbst gewählte Szenarien mit identischem oder gar höherem Risiko (gemäß Wahrscheinlichkeit und Potenzial) werden intuitiv als geringfügiger angesehen. Passend dazu sind die Anforderungen an die Risikovermeidung dann besonders hoch, wenn diese nicht mit eigenen Kosten verbunden sind.

DIE ROLLE DER STATISTIK

Nach den bereits zitierten Empfehlungen zur Risikokommunikation (Covello 2003) sind Ursachen und Ausmaß der Unsicherheit in der Risikoabschätzung offen zu kommunizieren. Die Gefahr dabei ist, dass schlimmstenfalls die gesamte Risikobewertung in Zweifel gezogen werden könnte und insbesondere auch die Kompetenz des Experten, vor allem wenn dessen Darstellungen zu abstrakt beziehungsweise zu wenig zielgruppenspezifisch erfolgten.

Dies wurde empirisch untersucht (Johnson, Slovic 1995): Hierfür wurden Studienteilnehmenden verschiedene Versionen eines Zeitungsberichtes mit einem fiktiven Risikoszenario zu einem Krebsrisiko durch Fremdstoffe in der Umwelt vorgestellt. Diese Versionen unterschieden sich in ihrer Darstellung der Unsicherheit, das heißt im Bereich der Risikoschätzung sowie der Form der grafischen Aufbereitung. Die Studienteilnehmenden, meist Studierende an einem College, wurden befragt, welcher Zeitungsartikel glaubwürdiger sei oder zu einem „besseren“ Risikoverständnis führe: Es zeigte sich, dass die Diskussion der Unsicherheiten zwar die Aufrichtigkeit der über das mögliche Risiko berichtenden Behörden

signalisierte, aber für einige der Befragten auch deren Inkompetenz.

Neben dem Problem der Vermittlung der „eigenen Unsicherheiten“ in der Risikoabschätzung ist es bei umweltepidemiologischen Fragestellungen problematisch, dass andere Fachleute oder Interessenvertreter zu völlig anderen Einschätzungen kommen. Wie geht man aber mit der Situation um, dass – parallel zu den eigenen Risikoabschätzungen – „fehlerhafte“ Statistiken beziehungsweise Interpretationen von Statistiken in die Risikodiskussion gebracht werden?

Schließlich wird wohl keine andere Wissenschaftsdisziplin in der öffentlichen Diskussion um Risiken derart missbraucht wie die Statistik (Krämer 2011; Gigerenzer 2004). Und dies nicht nur seitens der Laien aufgrund von Unwissenheit oder mangelnder Ausbildung in dem Bereich. Leider treten immer wieder sogenannte Experten mit mangelhaften „Statistikkenntnissen“ öffentlich hervor. Laien werden meist nicht erkennen können, wo wissenschaftlich korrekt gearbeitet wurde, und anhand von „wahrgenommener Glaubwürdigkeit“ oder auch aufgrund einer vorgefassten Meinung sowie Risikowahrnehmung die Entscheidung treffen, welchen Statistiken zu „glauben“ ist.

Ein lediglich mangelndes Statistik-Verständnis bei der Zuhörerschaft ist dabei fast schon ein geringes Problem, dem man mit geeigneten Informationen entgegenwirken kann. Ein (bereits) falsches Verständnis bei den Zuhörenden ist hingegen aufwendiger zu korrigieren. Schließlich führen Statistiken bei den Zuhörenden zu Misstrauen, sobald sie über den eigenen Erfahrungsschatz hinausgehen. Gerade in Diskussionen um mögliche Umweltgefährdungen trifft man im Extremfall auf das Phänomen der Bestätigungstendenz, wonach nur die Informationen aufgenommen werden, die in das bereits bestehende Weltbild passen (Bördlein 2000). Wo bereits festgefügte Weltanschauungen vorherrschen, stößt die Risikokommunikation an ihre Grenzen.

Insofern tragen statistische Informationen häufig nicht (mehr) zur Meinungsbildung bei:

Die Glaubwürdigkeit vorgetragener Statistiken wird aus Sicht der eigenen „Weltanschauung“ bewertet; die Qualität ist nachrangig. Oder kurz: „Ergebnis gut, Methode gut“.

Häufige Kardinalfehler bei der Darstellung und Interpretation statistischer Ergebnisse in der Risikokommunikation sind:

- Wenn zwei Größen stark assoziiert oder korreliert sind, wird daraus eine Kausalbeziehung abgeleitet. Ein besonders schönes Beispiel hierfür liefert die Storchtheorie (Höfer et al. 2004).
- Statistische Signifikanz wird mit Relevanz verwechselt (Gigerenzer 2004; Krämer 2011; Ziliak, McCloskey, 2009). Es gibt inhaltlich relevante Zusammenhänge, die – zum Beispiel wegen eines zu kleinen Untersuchungskollektivs – nicht statistisch signifikant sind, ebenso wie statistisch signifikante Effekte dennoch inhaltlich völlig irrelevant sein können. Entsprechend folgt auch nicht aus einem fehlenden statistischen Nachweis eines Effektes das Fehlen eines Effektes.
- Falls eine Exposition einen Effekt bedingt, bedeutet dies auch, dass, wenn dieser Effekt nicht eintritt, damit auch diese Exposition nicht vorgelegen haben kann. Wenn der Effekt eintritt, bedeutet dies aber keinesfalls, dass auch zwangsläufig genau diese Exposition vorgelegen haben muss – dies würde nur bei einer strikten bijektiven 1 : 1-Beziehung gelten, die noch nicht einmal beim Zusammenhang zwischen Asbest und Mesotheliom vorliegt (Selikoff et al. 1965). Dennoch wird dieser Denkfehler mit der Bemerkung „Was soll es denn sonst sein?“ implizit als beweiskräftiges Indiz in die Diskussion gebracht.
- Verbreitet ist auch der sogenannte „ökologische Fehlschluss“, der darauf beruht, dass Beziehungen, die auf der Strukturebene bestehen, auf die Individualebene heruntergebrochen werden (Morgenstern 1995; Robinson 2009). Ein Beispiel dafür wäre,

Wahlerfolge rechtspopulistischer Parteien in Wahlbezirken mit hohem Anteil von Migrantinnen und Migranten damit zu erklären, dass gerade letztgenannte die Wählerschaft dieser Parteien ausmachen.

- Während diese genannten Fehlinterpretationen noch unmittelbar auffallen und ihnen relativ leicht anhand von Beispielen begegnet werden kann, sind andere weitaus schwieriger aufzudecken und werden häufig auch von „Experten“ aufgebracht:
- Ein Fehler, der auf einer unzureichenden Methodenkenntnis beruht, ist, den p-Wert als die Wahrscheinlichkeit für die formulierte Hypothese anzusehen gemäß „die Hypothese sei unwahrscheinlich!“ (Gigerenzer 2004; Haller, Kraus 2002). Es lassen sich – außerhalb der Bayes-Statistik – jedoch keine Aussagen zur Wahrscheinlichkeit von Parametern oder Hypothesen treffen. Entsprechend ist auch der häufig verwendete Rückgriff auf Konfidenzintervalle anstelle von p-Werten nur eine Illustration der Schwankungsbreite der Schätzer nicht jedoch eine Einengung der Lage des wahren Parameters (Hoekstra et al. 2014).
- Ein häufig sogar bewusst begangener Missbrauch von statistischen Verfahren ist das sogenannte „HARKing“ („Hypothesizing after results are known“). Hierbei wird erst nach den Auswertungen eine Hypothese aufgestellt. Häufig werden dabei größere Datenmengen betrachtet, um dann die sich aufgrund der zahlreichen Vergleiche zwangsläufig mit kleinen p-Werten belegten „Auffälligkeiten“ herauszustellen und mit einer „passenden“ Hypothese zu erklären (Kerr 1998). Hier wird quasi die prinzipielle Reihenfolge in der statistischen Argumentationskette – „Hypothese, Beobachtungen, statistische Bewertung“ – ad absurdum geführt. Da auch Medien und Öffentlichkeit immer mehr auf den Begriff der statistischen Signifikanz beziehungsweise auf kleine p-Werte schießen, ist hiermit ein Täuschungspotenzial vorgegeben.

Auf derartige Fehler kann, gerade wenn sie sich bereits im öffentlichen Bewusstsein als scheinbar statistisch belegte Zusammenhänge festgesetzt haben, häufig nur schwer in öffentlichen Informationsveranstaltungen im Detail eingegangen werden. Hier muss situativ im Einzelfall entschieden werden, wie entscheidend diese Fehlinterpretationen für die Gesamtdiskussion sind und ob es geeignetere Kommunikationsformen als eine öffentliche Informationsveranstaltung für eine Richtigstellung gibt.

EMPFEHLUNGEN

Von den sieben oben genannten Best Practice-Empfehlungen zur Risikokommunikation (Covello 2003) lassen sich insbesondere die Empfehlungen zum Umgang mit den eigenen Informationen aber auch Informationslücken („Best Practice 3: Be Truthful, Honest, Frank and Open“) sowie zur eigenen Kommunikationsform („Best Practice 6: Communicate Clearly and with Compassion“) auf die Situation einer öffentlichen Informationsveranstaltung anwenden.

- So ist insbesondere auch der Mut zur „Risikowahrheit“ gefragt, schließlich wird eine ehrliche, offene und alle Unsicherheiten benennende Risikoinformierung empfohlen (Covello 2003). Die eigene Glaubwürdigkeit ist von zentraler Bedeutung und hängt von drei Faktoren ab (Peters et al. 1997): dem (wahrgenommenen) Fachwissen und der Expertise,
- der Offenheit und Aufrichtigkeit sowie
- der Besorgnis und Zuwendung.

Allerdings kann Glaubwürdigkeit nicht alleine das eigentliche Ziel der Risikokommunikation erreichen. Dieses besteht in risikomündigen Bürgerinnen und Bürgern, die die eigenen Risiken konkret einschätzen und abwägen können (Carius, Renn 2003). Hierzu ist es auch nötig, Verständnis zu för-

dern und eine Verständigung zwischen verschiedenen Gruppen zu ermöglichen. Hierbei müssen Informationen entsprechend zielgruppenspezifisch aufbereitet werden.

Die wohlbekannten Empfehlungen an Fachleute sind naturgemäß allgemein gehalten und bieten oft keine konkrete Verhaltensrichtschnur (Sachkenntnis, Empathie, verständliche und präzise Sprache ohne Fachtermini, kontrollierte Gestik und Mimik oder auch der Situation angemessene Kleidung und Auftreten). Aus Erfahrungen mit Öffentlichkeitsveranstaltungen zur Risikobewertung können die folgenden spezifischeren Empfehlungen ausgesprochen werden:

- Es reicht nicht, Informationen zu vermitteln, sondern auch das Vorgehen sollte verständlich dargelegt werden. Über Erklärungen wie „Wozu macht man das?“, „Wozu braucht man das?“, „Warum haben wir das so gemacht?“ sollte man versuchen, das Publikum vom eigenen Vorgehen zu überzeugen.
- Fremd bestimmte und selbst gewählte Risiken sollten nicht miteinander verglichen oder gegeneinander abgewogen werden.
- Allgemeine Risikodarstellungen wie die Verteilung der „Ursachen von Krebssterbefällen“ (Harvard Center 1996) sollten vermieden werden, solange nicht ausdrücklich darauf verwiesen wird, dass regional andere Faktoren gelten könnten.
- Die Unsicherheiten in der Risikobewertung wie auch Informationslücken müssen benannt werden. Ansonsten droht Vertrauensverlust, wenn derartige Unsicherheiten eingestanden werden müssen, nachdem explizit aus dem Publikum danach gefragt worden ist.
- Im Vorfeld sollte man überlegen: Welche Fragen könnten seitens des Publikums auftauchen? Dabei ist natürlich auch zu überlegen, wie sich das Publikum voraussichtlich zusammensetzen wird.

Auch mit diesen Vorschlägen bleiben Fragen offen, wie im Bereich der umweltepidemiologischen Risikobewertung typische Sachverhalte konkret kommuniziert werden könnten:

- Wie kommuniziert man die Irrtumswahrscheinlichkeit eines statistischen Tests oder erklärt den Begriff des p-Wertes? – Schließlich gilt es doch, alle Unsicherheiten zu benennen, wobei man aber nicht in eine „technische Sprache“ verfallen soll.
- Wie geht man überhaupt emphatisch mit den Größen „beobachtete“ versus „erwartete“ Fallzahl vor, wo doch der statistische Blickwinkel eigentlich von Einzelschicksalen weg zu einer abstrakten Gesamtgröße gerichtet ist, um so Gesetzmäßigkeiten erkennen zu können? Wo bleibt bei „nackten Zahlen“ die geforderte Empathie? (Covello 2003: „Express genuine empathy“)

Der Vorschlag, lieber personalisierte Erzählungen, Beispiele und Anekdoten zu referieren als auf zahlenlastige Statistiken zu verweisen, ist zwar in dem Sinne erfolgversprechend, dass das Publikum eher der Präsentation folgen wird, da Fallbeispiele eindrucksvoller als verlässliche Zahlen sind. Doch muss dann die Frage bleiben, ob hier nicht auf wichtige und eigentlich wissenschaftlich angemessenere Informationen verzichtet wird, allein um Sympathie- oder Glaubwürdigkeitspunkte zu gewinnen. Wenn die eigene Rolle die der fachlichen Autorität ist, der ein mögliches Risiko korrekt quantifizieren soll, sollte man allein aus Authentizitätsgründen die Hauptaussagen angemessen statistisch belegen.

Um den Geboten der „Authentizität“ und der „Empathie“ gleichzeitig nachzukommen, sollte man, bevor man näher auf einen Vergleich zwischen erwarteten und beobachteten Krebserkrankungen eingeht ausdrücken, dass hinter den Zahlen menschliche Schicksale, familiäre Tragödien liegen. Diese scheinen zwar bei der reinen Betrachtung von Statistiken zu kurz zu kommen. Gleichwohl

erlauben aber allein diese scheinbar nüchternen Rechnungen die Bewertung, ob es hier ungewöhnliche Risiken geben könnte, denen zum Wohle aller nachzugehen wäre.

Der Versuch, statistische Signifikanz exakt zu definieren, führt seitens des Auditoriums meist zu Unverständnis und gegebenenfalls zu Misstrauen. Ein möglicher Ausweg besteht darin, einen statistischen Test zu umschreiben, statt ihn in gewohnter Weise wissenschaftlich zu definieren: „Was macht ein Test?“ statt „Was genau ist ein Test?“ Ein Beispiel für eine derartige Umschreibung wäre: „Ein statistischer Test ist eine Entscheidungsregel für oder gegen einen möglichen Erklärungsansatz, die den Zufall berücksichtigt.“

An diesen erfahrungsbasierten Empfehlungen zeigt sich auch, dass Risikokommunikation in der Öffentlichkeit, insbesondere mit Laien, eine ganz andere, teilweise sogar gegensätzliche Gesprächs- und Argumentationskultur verlangt als sie beispielsweise auf wissenschaftlichen Kongressen üblich ist.

Grundsätzlich gilt: Man muss nicht alle von seiner Einschätzung überzeugen, aber die eigene Kommunikation sollte überzeugend sein. ●

LITERATUR

Bechmann G, Stehr N (2000): Risikokommunikation und die Risiken der Kommunikation wissenschaftlichen Wissens: Zum gesellschaftlichen Umgang mit Nichtwissen. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society* 9(2): 113–121.

Bördlein C (2000): Die Bestätigungstendenz. Warum wir (subjektiv) immer Recht behalten. https://www.researchgate.net/profile/Christoph_Boerdlein/publication/283304451_Die_Bestätigungstendenz_Warum_wir_subjektiv_immer_Recht_behalten/links/58024a6908ae310e0d9de730.pdf (Zugriff am: 10.08.2018).

Carius R, Renn O (2003): Partizipative Risikokommunikation. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 46(7): 578–585.

Covello VT (2003): Best Practices in Public Health Risk and Crisis Communication. *Journal of Health Communication* 8(Suppl 1): 5–8. DOI:10.1080/713851971.

Covello VT, Sandman PM (2001): Risk communication: evolution and revolution. *Solutions to an Environment in Peril*: 164–178.

Gigerenzer G (2004): Mindless statistics. *The Journal of Socio-Economics* 33(5): 587–606.

Haller H, Krauss S (2002): Misinterpretations of significance: A problem students share with their teachers. *Methods of Psychological Research*, 7(1): 1–20.

Höfer T, Przyrembel H, Verleger S (2004): New evidence for the theory of the stork. *Paediatric and Perinatal Epidemiology* 18(1): 88–92.

Harvard Center for Cancer Prevention (1996): *Cancer Causes Control* 7: S1–S59.

Hoekstra R, Morey RD, Rouder JN et al. (2014): Robust Misinterpretation of Confidence Intervals. *Psychon Bull Rev*. DOI:10.3758/s13423-013-0572-3.

Jungermann H, Rohrmann B, Wiedemann PM (1990): *Risiko-Konzepte. Risiko-Konflikte, Risiko-Kommunikation*. Jülich.

Kerr NL (1998): HARKing: Hypothesizing after the results are known. *Personality and Social Psychology Review* 2(3): 196–217.

Krämer W (2011): The Cult of Statistical Significance – What Economists Should and Should Not Do to Make their Data Talk. *Schmollers Jahrbuch*: Vol. 131, No. 3: 455–468. <https://doi.org/10.3790/schm.131.3.455> (Zugriff am: 10.08.2018).

Morgenstern H (1995): Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. *Annual review of public health* 16(1): 61–81.

NLGA – Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (2018): Krebsclusteruntersuchung in der Samtgemeinde Bothel. http://www.nlga.niedersachsen.de/startseite/umweltmedizin/umweltepidemiologie/krebsclusteruntersuchungen/krebsclusteruntersuchung_samtgemeinde_bothel/krebsclusteruntersuchung-in-der-samtgemeinde-bothel-157055.html (Zugriff am: 10.08.2018).

Robinson WS (2009): Ecological correlations and the behavior of individuals. *International journal of epidemiology*: 38(2): 337–341.

Schümann M, Bolte G, Heinzow B et al (2009): Empfehlungen für den Umgang mit Beobachtungen von räumlich-zeitlichen Krankheitsclustern. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 52: 239–255.

Selikoff IJ, Churg J, Hammond EC (1965): Relation between exposure to asbestos and mesothelioma. *New England Journal of Medicine* 272(11): 560–565.

Ziliak ST, McCloskey DN (2009): The Cult of Statistical Significance. *JSM, Section on Statistical Education*: 2302–2319. <http://www.deirdremccloskey.com/docs/jsm.pdf> (Zugriff am 10.08.2018).

KONTAKT

Michael Hoopmann
Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (NLGA)
Roesebeckstr. 4-6
30449 Hannover
E-Mail: Michael.Hoopmann[at]nlga.niedersachsen.de

[UBA]

Risikokommunikation bei der diagnostischen Bildgebung mit Computertomographie

Risk communication in diagnostic imaging with computed tomography

ZUSAMMENFASSUNG

Die Computertomographie (CT) besitzt einen großen medizinischen Nutzen, der sowohl vom medizinischen Fachpersonal als auch von den Patientinnen und Patienten gegen mögliche Strahlenrisiken abgewogen werden sollte. Strukturierte Ansätze zur Patientenaufklärung bestehen in der Radiologie aus einer Patienteninformation und einem persönlichen Gespräch des Radiologen mit der zu untersuchenden Person. Für diese Studie wurden deutschsprachige Patientenaufklärungen recherchiert und ausgewertet. In vierzehn von sechzehn Patientenaufklärungen wird die Kontraindikation Schwangerschaft erfragt, vorherige bildgebende Untersuchungen jedoch nur teilweise. Die mit einer CT verbundene Strahlenbelastung wird häufig als gering bezeichnet, sodass Strahlenschäden nicht zu erwarten seien. Zusätzlich wird auf das Gespräch mit der Ärztin beziehungsweise dem Arzt verwiesen. Für eine informierte Entscheidung der zu untersuchenden Person ist es jedoch notwendig, dieser bei Bedarf bessere Informationen zu möglichen Strahlenrisiken zur Hand zu geben.

ABSTRACT

Computerized tomography (CT) has important medical benefits. However, both physicians and patients need to weigh these benefits with potential radiation risks, taking into account individual patients characteristics. Structured approaches to inform patients before radiological exams consist of a patient information leaflet and a personal conversation between the radiologist and the patient. For this study German-speaking leaflets were researched and evaluated. Fourteen out of sixteen leaflets assess current pregnancy as a contraindication. Previous imaging examinations are only partially assessed. The radiation exposure associated with a CT scan is often described as low, such that radiation damage is not expected. In addition, most leaflets refer to the conversation with the radiologist for more information. However, for an informed decision by the patients before giving consent, it is necessary to provide them with accurate and accessible information on possible radiation risks.

EINLEITUNG

Die diagnostische Bildgebung mittels Computertomographie (CT) besitzt großen und vielfältigen medizinischen Nutzen. Sie ermöglicht als elektive Maßnahme sowie im Notfall für viele Fragestellungen eine schnelle wie zuverlässige Diagnose und ist

somit eine essenzielle Voraussetzung für eine effektive Therapie. Aus Perspektive des Strahlenschutzes muss dieser Nutzen jedoch gegen potenzielle Risiken abgewogen werden, die sich aus dem Einsatz ionisierender Strahlung ergeben.

ROMAN POKORA¹,
EMILIO GIANICOLO^{1,2},
HILTRUD
MERZENICH¹,
DANIEL
WOLLSCHLÄGER¹

¹ Institut für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie (IMBEI), Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Deutschland
² Institute of Clinical Physiology, Italian National Research Council Lecce, Italien



FOTO
©Auremar / Fotolia.

BIOLOGISCHE WIRKUNG IONISIERENDER STRAHLUNG

Die Risiken ionisierender Strahlung ergeben sich aus ihrer Fähigkeit, in Körperzellen molekulare Veränderungen insbesondere an der DNS zu verursachen, die noch Jahre später zu klinischen Erkrankungen führen können (Friedland et al. 2017). Für Strahlenschutz Zwecke wird die biologisch relevante Stärke der Strahlung als Dosis berechnet, wobei sowohl die im Gewebe absorbierte Energie als auch deren biologische Wirkung berücksichtigt werden. Auf Ebene einzelner Organe ergibt sich so die Organäquivalentdosis, auf Ebene des ganzen Organismus die effektive Dosis, beide in der Einheit Sievert (Sv). Dosis-Angaben dienen zur Bestimmung

der Strahlenbelastung biologischer Organismen und werden bei der Analyse des Strahlenrisikos verwendet. In **ABBILDUNG 1** sind die typischen Folgen für bestimmte Größenordnungen der effektiven Dosis abgebildet. Hierbei wird zwischen deterministischen und stochastischen Strahlenschäden unterschieden. Deterministische Strahlenschäden werden durch den strahleninduzierten Tod vieler Zellen verursacht und treten ab einer bestimmten Dosischwelle sicher auf. Dagegen treten stochastische Schäden nicht bei jeder exponierten Person auf und sind nur durch Betrachtung größerer Gruppen exponierter Personen nachzuweisen (IARC Working Group 1999). Das strahleninduzierte Krankheitsbild hängt allgemein vom exponierten Gewebe, von der Dosis (IARC Working Group 1999), dem Gesundheitszu-

stand und von der Strahlenvulnerabilität ab, die bei Kindern erhöht ist (NAS/NRC 2006).

Mögliche strahleninduzierte Spätschäden sind Herz-Kreislaufkrankungen, Brustkrebs, Schilddrüsenkrebs, Lungenkrebs, Leukämie, Anämie und Katarakt. Die effektiven Dosen von CTs befinden sich im niedrigen Dosisbereich, in dem stochastische Strahlenschäden prinzipiell möglich sind (Pearce et al. 2012; Mathews et al. 2013; Huang et al. 2014; Journy et al. 2015; Krille et al. 2015, Meulepas et al. 2019) und aktuell diskutiert werden (Walsh et al. 2014).

WIE ERHALTEN PATIENTINNEN UND PATIENTEN INFORMATIONEN?

Informationen zum möglichen Strahlenrisiko können Patientinnen und Patienten auf verschiedenen Wegen erreichen, unter anderem durch mediale Berichterstattung und

durch ärztliche Patientenaufklärung. Die Bedeutung der Risikokommunikation im Bereich der CT-Bildgebung ist in den vergangenen Jahren dadurch gestiegen, dass eine Reihe epidemiologischer Kohortenstudien zum Zusammenhang zwischen CT-Exposition im Kindesalter und dem Risiko für später auftretende Krebserkrankungen veröffentlicht wurde (Pearce et al. 2012; Mathews et al. 2013; Huang et al. 2014; Journy et al. 2015; Krille et al. 2015, Meulepas et al. 2019). Insbesondere die Studie aus Großbritannien (Pearce et al. 2012) hat einen medialen und populärwissenschaftlichen Widerhall erfahren. Der SPIEGEL beispielsweise berichtete, dass sich nach zwei bis drei Kopfaufnahmen im Kindesalter das Risiko, später im Leben an einem Hirntumor zu erkranken, verdreifache und nach fünf bis zehn solcher Kopfscans auch das Risiko einer Leukämie dreifach erhöht sei (Ballwieser 2018). Bereits davor berichtete die BILD über eine Studie aus Amerika (Smith-Bindmann et al. 2008),

ABBILDUNG 1
Effektive Strahlendosen in Sievert (Sv) und Millisievert (mSv) und ihre Folgen.

Expositions-/Strahlenquelle	Dosis	Folgen	Literatur
	Mehr als 5 Sv	Ohne medizinische Gegenmaßnahmen tödlich	1
	1-5 Sv	Akutes Strahlungssyndrom und Krebsrisiken	1
Evakuierte Siedlungen in Fukushima nach dem nuklearen Unfall 2011	<8.5 mSv	Keine eindeutige Evidenz, mögliche Spätfolgen werden untersucht	2
Standard Thorax-CT beim Erwachsenen	3–7 mSv		3
Hintergrundstrahlung in Deutschland (Ø)	2,1 mSv		4
Flug von Paris nach New York	0,06 mSv		5
Röntgen-Thorax-Aufnahme in zwei Ebenen beim Erwachsenen	0,02–0,05 mSv		3

Strahlung in Sievert (Sv)

1. Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen- Leitfaden für Ärztliche Berater der Katastrophenschutzleitung, Ärzte in Notfallstationen, Ärzte in der ambulanten und stationären Betreuung 2007, 3. überarb. Auflage, 1-75.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great East-Japan earthquake and tsunami. *UNSCEAR 2013 Report (Volume I)*, 2014.
3. Bae KT, Hong C, Whiting BR. Radiation Dose in Multidetector Row Computed Tomography Cardiac Imaging. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 859–863.
4. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2013. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2015; 1-362.
5. ICRP, 2016. Radiological protection from cosmic radiation in aviation. ICRP Publication 132. Ann. ICRP 45(1), 1–48.

die jedoch lediglich mögliche Risiken statistisch modellierte: „Laut einer US-Studie sind die Röntgenstrahlen in einem von 80 Fällen sogar der Auslöser für Krebs!“ (BILD 2018). Diese Aussagen werden dabei aus dem Studienkontext herausgelöst und verfälschen den Eindruck des Krebsrisikos nach CT-Untersuchung. Mittlerweile zeigen neuere Studien aus Frankreich, Deutschland, Holland und eine neue Auswertung der britischen Kohorte, dass die ersten Analysen aus England, Australien und Taiwan das Risiko überschätzten (Meulepas et al. 2019; Pokora et al. 2016).

SIND DIE PATIENTEN- INFORMATIONEN AUSREICHEND?

Rechtlich kann die medizinisch begründete Exposition gegenüber ionisierender Strahlung als möglicher Eingriff in die körperliche oder gesundheitliche Befindlichkeit der zu untersuchenden Person aufgefasst werden. Sie bedarf deshalb einer rechtfertigenden Indikation – der zu erwartende individuelle medizinische Nutzen muss also die individuell erwarteten Nachteile überwiegen (§ 23 Abs. 1 RöV). Zusätzlich ist die informierte Einwilligung durch die Patientin beziehungsweise den Patienten notwendig (Wigge, Loose 2016).

Im Rahmen der informierten Einwilligung kommt der Patientenaufklärung eine wichtige Rolle zu. Sie sollte ermöglichen, dass die zu untersuchende Person ihre Entscheidung zur Einwilligung auf Basis einer realistischen Einschätzung von Nutzen und Risiko trifft. Im Prozess der Prüfung einer rechtfertigenden Indikation sowie der informierten Einwilligung sollen zwei Ziele erreicht werden. Einerseits soll es zu keiner risikobehafteten Strahlenexposition mit unklarem oder geringem medizinischen Nutzen kommen. Andererseits sollen die zu untersuchenden Personen so aufgeklärt werden, dass eine notwendige Strahlendiagnostik durchgeführt werden kann und nicht

aufgrund einer verzerrten Risikowahrnehmung verweigert wird.

Neben der juristisch begründeten Forderung nach einer rechtfertigenden Indikation und einer informierten Einwilligung spielt für die Gestaltung des Informationsmaterials zur Patienteneinwilligung deshalb das Informationsbedürfnis der Patientin beziehungsweise des Patienten eine wesentliche Rolle. In einer australischen Studie wurde etwa gezeigt, dass 50 Prozent der befragten Patientinnen und Patienten angaben, nicht ausreichende Informationen zu dem durchzuführenden bildgebenden Verfahren (CT/MRT) erhalten zu haben (Hyde et al. 2018). Hier stellt sich für Radiologen die Herausforderung, wie in der Patientenkommunikation Unsicherheiten und Wahrscheinlichkeiten richtig zu vermitteln und ungewohnte radiologische sowie strahlenphysikalische Fachbegriffe verständlich zu machen sind.

FRAGESTELLUNG

Wir betrachten den momentanen Stand der ärztlichen Patientenaufklärung im Bereich CT-Diagnostik und prüfen, ob sie geeignet sind, der wachsenden Bedeutung aktueller und zuverlässiger Patienteninformationen gerecht zu werden.

VORGEHEN

Strukturierte Ansätze zur Patientenaufklärung bestehen in der Radiologie aus einer Patienteninformation und einem persönlichen Gespräch des Radiologen mit der zu untersuchenden Person. In dem Gespräch werden die Patientin oder der Patient beziehungsweise die Eltern über den Ablauf und die möglichen Risiken der Untersuchung aufgeklärt.

Es wurde eine Online-Recherche nach schriftlichen Patientenaufklärungen in Google mit den Suchwörtern „Patientenaufklärung“ und „Computertomographie“ durchgeführt und die gefundenen Beispiele inhaltlich ausgewertet. Zunächst wurde geprüft, aus

welcher Einrichtung (Klinik/Praxis) die Patientenaufklärung für die CT stammt. Weiter wurde das Erstellungsdatum extrahiert.

Für jede Patienteninformation wurde geprüft, ob Aspekte, wie die Kontraindikation Schwangerschaft, vorherige radiologische Untersuchungen, Kontrastmittel und Nebenwirkungen, Dosis, ob die zu untersuchende Person ein Kind ist, mögliche Endpunkte als Spätschäden nach CT-Exposition, Quellenangaben zu den dargestellten Fakten und das Risiko stochastischer Spätschäden, angesprochen wurden.

ERGEBNISSE DER AUSWERTUNG

Insgesamt wurden am 12.02.2018 ungefähr 48.000 Treffer ermittelt. Nach Durchsicht der ersten zehn Seiten konnten sechzehn Patientenaufklärungen recherchiert werden. Eine Aufklärung stammt aus der Schweiz, eine weitere wurde speziell für Herz-CT konzipiert. Insgesamt konnten acht Aufklärungen von Radiologie-Praxen und sechs von Kliniken betrachtet werden (TABELLE 1).

Für sechs Patientenaufklärungen konnte das Erstellungsdatum nicht identifiziert werden. Die älteste Aufklärung stammt vom 20. November 2012 und die aktuellste vom 22. Dezember 2017.

In allen Patientenaufklärungen, außer der ältesten und der des Softwareunternehmens, wird explizit die Kontraindikation Schwangerschaft erfragt. Vorherige bildgebende Untersuchungen werden in zwei gar nicht und in zwei weiteren nur im Zusammenhang mit der früheren Gabe von Kontrastmitteln erfragt. Nebenwirkungen von Kontrastmitteln werden in allen Aufklärungen erwähnt, und in einer Patienteninformation wird eine wissenschaftliche Studie zu diesem Thema zitiert.

In den meisten Fällen wird auf das ärztliche Gespräch verwiesen und die mit einer CT verbundene Strahlenbelastung als gering bezeichnet, sodass Strahlenschäden nicht zu erwarten seien. Konkrete klinische Endpunkte für Strahlenschäden werden in drei Patien-

teninformationen thematisiert. Erwähnte Endpunkte sind Hautrötungen, Tumoren und Katarakte. Eine Patientenaufklärung erklärt den Unterschied zwischen deterministischen und stochastischen Strahlenschäden.

In vier von acht Praxen und in drei von sechs Krankenhäusern wird in irgendeiner Form auf die Strahlendosis eingegangen und in drei Praxen und einem Krankenhaus wird auch auf Kinder als zu untersuchende Personen eingegangen. Inhaltlich werden häufig die Strahlenbelastung und die Möglichkeit für Strahlenschäden thematisiert. Beispiele von Patienteninformationen, die mögliche Strahlenschäden thematisieren, sind:

- „Die mit einer CT verbundene „Strahlenbelastung“ ist so gering, dass Strahlenschäden nicht zu erwarten und auch lange Untersuchungszeiten oder wiederholte Untersuchungen möglich sind. Bei Kindern und Jugendlichen sind jedoch Hautschäden oder ein erhöhtes Krebsrisiko nicht vollständig auszuschließen, weshalb bei ihnen besonderes strahlensparend untersucht wird.“
- „Die CT ist eine spezialisierte Röntgenuntersuchung, bei der die Strahlenbelastung durch modernste Technik und strenge ärztliche Indikationsstellung so niedrig wie möglich gehalten wird. Bei Kindern und Jugendlichen wird die Anwendung einer CT besonders geprüft und strahlensparend untersucht. In der Schwangerschaft darf eine CT nur in Notfallsituationen durchgeführt werden, da eine Schädigung des Kindes durch die Strahlung möglich ist.“
- „Bei der CT -Untersuchung wird der Körper einer geringen Strahlendosis ausgesetzt. Eine Gesundheitsgefährdung ist langfristig nicht vollständig ausgeschlossen. Im Bedarfsfalle wird Ihnen (Ihrem Kind) ein Schutz für Hoden und Eierstöcke zur Verfügung gestellt. Im Falle einer Schwangerschaft besteht das Risiko einer Schädigung des ungeborenen Kindes und es sollten nach Möglichkeit andere Untersuchungsverfahren eingesetzt werden (z.B.

AUFKLÄRUNG	EINRICHTUNG	DATUM ERSTELLT	KONTRAINDIKATION SCHWANGERSCHAFT	ERWÄHNUNG DER DOSIS	ERWÄHNUNG KINDER	VORHERIGE UNTERSUCHUNGEN ERFRAGT	SONSTIGE HINWEISE
1	Klinik	-	ja	ja	ja	ja	Hautschäden/ Krebsrisiken
2	Praxis	12.07.2016	ja	ja	Kinder ja, Risiko nein	ja	nein
3	Praxis	-	ja	nein	nein	ja	nein
4	Klinik	2016	ja	nein	nein	ja	nein
5	Praxis	-	ja	nein	nein	ja	nein
6	Muster	01.07.2013	ja	nein	nein	ja	nein
7	Praxis	-	ja	nein	nein	ja, aber nur mit Kontrastmittel	Stillen
8	Praxis	01.07.2014	ja	ja	nein	ja	nein
9	Klinik	28.07.2014	ja	ja	nein	ja und Röntgenpass	Nur Vorab- information
10	Software- unternehmen	01.05.2014	nein	nein	nein	nein	Gespräch mit dem Arzt
11	Praxis	22.12.2017	ja	ja	ja	ja	Katarakt
12	Praxis	-	ja	nein	nein	ja, aber nur mit Kontrastmittel	nein
13	Praxis	02.10.2015	ja	ja	ja	ja	nein
14	Klinik	-	ja	nein	nein	ja	Stillen
15	Klinik	25.11.2013	ja	nein	nein	nein	nein
16	Klinik	20.11.2012	nein	ja	nein	ja	Hautschäden/ Krebsrisiko

TABELLE 1
Deskriptive Darstellung
der Aufklärungen.

Ultraschall oder MRT). Häufige CT-Untersuchungen der Zähne oder des Kopfes können die Eintrübung der Augenlinse (Katarakt, grauer Star) nach sich ziehen.“

- „Die Untersuchung stellt eine gewisse Strahlenbelastung dar, die durch neueste Gerätetechnologie, regelmäßige Kontrollen der Geräte, Ihren Beschwerden oder Ihrer Erkrankung angepasste Untersuchungstechnik und Indikationsstellung durch

einen fachkundigen Radiologen so gering wie möglich gehalten wird. Strahlenschäden konnten durch die bei der normalen Computertomographie verabreichten Dosen bislang nicht nachgewiesen werden.“

In einer Patientenaufklärung wird auf das Risiko stochastischer Spätschäden und die konkret zu erwartende Strahlendosis eingegangen.

DISKUSSION

Insgesamt sechzehn Patientenaufklärungen aus Deutschland und der Schweiz wurden geprüft. In den neueren Aufklärungen werden die Kontraindikation Schwangerschaft und mehrfache Untersuchungen abgefragt. Inhaltlich wird das Risiko durch CTs zwar oftmals thematisiert, aber bleibt sehr oberflächlich.

Eine große Limitierung der Studie ist, dass nur schriftliche Aufklärungsbögen untersucht wurden. Bei einer Patientenaufklärung ist das Aufklärungsgespräch allerdings wesentlicher Bestandteil. Da eine Standardisierung des Aufklärungsgesprächs nicht möglich ist, wird dessen Beitrag zur informierten Entscheidung in der wissenschaftlichen Literatur kontrovers diskutiert (Kirby et al. 2013; Lühnen et al. 2018; Sherlock, Brownie 2014).

Es ist fraglich, ob im Arzt-Patienten-Gespräch alle Unklarheiten beseitigt werden können. In früheren Studien wurde gezeigt, dass es für Ärztinnen und Ärzte schwer ist, Risiken und Unsicherheiten einerseits fachlich richtig und andererseits verständlich zu kommunizieren (Naylor et al. 1992; Jain et al. 1998; McGettigan et al. 1999; Merzenich et al. 2012). Im Fall der Radiologie sind komplexe Expositionen (Kaatsch 2006) und Fachausdrücke zu erklären. Zusätzlich ist die zu untersuchende Person im Gespräch mit großer Wahrscheinlichkeit angespannt und muss sich gleichzeitig auch noch mit der Indikation für die CT beschäftigen.

Bei der Erfassung früherer strahlendiagnostischer Untersuchungen ist fraglich, ob sich zu untersuchende Personen an alle vorherigen Untersuchungen erinnern können. In einer Studie von Dreger et al. (2015) wurde gezeigt, dass sich Patientinnen und Patienten nur an zeitnahe Untersuchungen sehr gut erinnern können. Bei einem Abgleich mit Versicherungsdaten wurde für eine kleine Stichprobe von acht Patientinnen und Patienten nur eine Übereinstimmung von insgesamt 55 Prozent gefunden. In Deutschland könnte dieses Problem der Röntgenpass lösen. In der

Röntgenverordnung (RöV) seit 2002 im §28 wird vorgeschrieben, dass behandelnde Ärztinnen und Ärzte bei Röntgenuntersuchungen Röntgenpässe bereitzuhalten und der untersuchten Person anzubieten haben. Vorteile eines Röntgenpasses sind eine schnelle und einfache Übersicht über die Expositionsvergangenheit der Patientin oder des Patienten. Mit einem solchen Instrument erkennt der behandelnde Arzt, ob es für die aktuelle Fragestellung bereits aussagekräftige Aufnahmen gibt und wo die Aufnahmen entstanden sind, so dass die Entwicklung eines Krankheitsgeschehens besser beurteilt werden kann. Auf den Seiten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) wird bedauert, dass die Erwartungen an die Einführung eines Röntgenpasses bisher noch nicht erfüllt sind (<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/roentgen/roentgenpass.html>; Zugriff am: 30.08.2018).

Für die in dieser Studie betrachteten Aufklärungsbögen wurden zentrale rechtliche Aspekte für die informierte Entscheidungsfindung berücksichtigt. Validierte Instrumente zur Bewertung von Aufklärungsbögen existieren nicht. Limitierend für die Aussage der hier vorgestellten Untersuchung ist, dass nur online verfügbare Aufklärungsbögen verwendet wurden. Da darunter auch ein kommerzieller Anbieter war und die Bögen in ihrer Qualität vergleichbar waren, gehen wir von einer Generalisierbarkeit der Ergebnisse in der Radiologie aus.

Erste Studien zeigen, dass Patientinnen und Patienten vor der CT aus vielen Gründen Angst haben und eine gute Aufklärung diese mildern kann (Heyer et al. 2015). Insgesamt haben die Patientinnen und Patienten vor mehreren Faktoren Angst, wovon einer die angewendete Röntgenstrahlung ist. Eine verzerrte Einschätzung der tatsächlichen Strahlenrisiken könnte das Ergebnis medialer Berichterstattung sein, die häufig Studienergebnisse unzulässig verkürzt und undifferenziert darstellt. Vor diesem Hintergrund sollte daran gearbeitet werden, Radiologen bessere Hilfen zur Hand zu geben, um die möglichen Strahlenrisiken der zu unter-

suchenden Person korrekt und verständlich erklären zu können.

LITERATUR

- Ballwieser D (2018): Artikel im SPIEGEL vom 07.06.2012: Computertomographie - Nicht jedes Kind muss in die Röhre. <http://www.spiegel.de/gesundheit/diagnose/computertomografie-ct-bei-kindern-krebsrisiko-steigt-a-837304.html> (Zugriff am: 10.02.2018).
- BILD (2018): <http://www.bild.de/ratgeber/gesundheit/krebs-ausloesen-computertomographie-strahlen-schlimmer-als-vermutet-studie-10828536.bild.html> (Zugriff am: 10.02.2018).
- Dreger S, Poettgen S, Samkange-Zeeb F et al. (2015): Retrospective assessment of self-reported exposure to medical ionizing radiation: results of a feasibility study conducted in Germany. *BMC Res Notes* 8: 300. DOI: 10.1186/s13104-015-1268-8.
- Friedland W, Schmitt E, Kunderát P et al. (2017): Comprehensive track-structure based evaluation of DNA damage by light ions from radiotherapy-relevant energies down to stopping. *Sci Rep* 7: 45161. DOI: 10.1038/srep45161.
- Heyer CM Thüring J, Lemburg SP et al. (2015): Anxiety of patients undergoing CT imaging-an underestimated problem? *Acad Radiol* 22(1): 105–12. DOI: 10.1016/j.acra.2014.07.014.
- Huang W-Y, Muo C-H, Lin C-Y et al. (2014): Paediatric head CT scan and subsequent risk of malignancy and benign brain tumour: a nation-wide population-based cohort study. *Br J Cancer* 110(9): 2354–60. DOI: 10.1038/bjc.2014.103.
- Hyde LL, Mackenzie LJ, Boyes AW et al. (2018): Medical imaging outpatients' experiences with receiving information required for informed consent and preparation: A cross-sectional study. *Journal of patient Experience* 2018: 1–7. DOI: 10.1177/2374373518765794.
- IARC – International Agency for Research on Cancer Working Group (2000): Ionizing radiation, Part I: X-Radiation and γ -Radiation and Neutrons. IARC monog. Lyon: 492 p.
- Jain B, McQuay H, Moore A (1998): Number needed to treat and relative risk reduction. *Ann Intern Med* 128(1): 72–3.
- Journy N, Rehel J-L, Ducou Le Pointe H et al. (2015): Are the studies on cancer risk from CT scans biased by indication? Elements of answer from a large-scale cohort study in France. *Br J Cancer* 112(1): 185–93. DOI: 10.1038/bjc.2014.526.
- Kaatsch P (2006): Empfehlungen für eine gute Risikokommunikation - Erfahrungen anhand deutscher Studien zu Krebs bei Kindern und Wohnortnähe zu Kernkraftwerken. *Umweltmed Forsch Prax* 11(1): 27–31.
- Kirby R, Challacombe B, Hughes S et al. (2013): Increasing importance of truly informed consent: the role of written patient information. *BJU Int* 112: 715–6. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2012.11787.x.
- Krille L, Dreger S, Schindel R et al. (2015): Risk of cancer incidence before the age of 15 years after exposure to ionising radiation from computed tomography: results from a German cohort study. *Radiat Environ Biophys* 54(1): 1–12. DOI: 10.1007/s00411-014-0580-3.
- Lühnen J, Mühlhauser I, Steckelberg A (2018): The quality of informed consent forms – a systematic review and critical analysis. *Dtsch Arztebl Int* 115: 377–83. DOI: 10.3238/arztebl.2018.0377
- Mathews JD, Forsythe A V, Brady Z et al. (2013): Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ* 346(May): f2360. DOI: 10.1136/bmj.f2360.
- McGettigan P, Sly K, O'Connell D et al. (1999): The effects of information framing on the practices of physicians. *J Gen Intern Med* 14: 633–42. DOI: 10.1046/j.1525-1497.1999.09038.x.
- Merzenich H, Krille L, Hammer G et al. (2012): Paediatric CT scan usage and referrals of children to computed tomography in Germany--a cross-sectional survey of medical practice and awareness of radiation related health risks among physicians. *BMC Health Serv Res* 2012 Feb 25;12: 47. DOI: 10.1186/1472-6963-12-47.
- Meulepas JM, Ronckers CM, Smets AM et al. (2019): Radiation exposure from pediatric CT scans and subsequent cancer risk in the Netherlands. *JNCI J Natl Cancer Inst* 111(3): djy104. DOI: 10.1093/jnci/djy104.
- NAS/NRC – National Academy of Sciences/National Research Council (2006): Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII Phase 2. National Academy Press, editor. Washington DC.
- Naylor C, Chen E, Strauss B. (1992): Measured Enthusiasm: Does the method of reporting trial results alter perceptions of therapeutic effectiveness? *Ann Intern Med* 117(11): 916–21. DOI: 10.7326/0003-4819-117-11-916.
- Pearce MS, Salotti JA, Little MP et al. (2012): Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *Lancet* 380(12): 499–505. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
- Pokora R, Krille L, Dreger S et al. (2016): Computed tomography in Germany – results and insights from a cohort study and health insurance data (AOK). *Dtsch Arztebl Int* 113(43): 721–8. DOI: 10.3238/arztebl.2016.0721.

RöV – Röntgenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010) geändert worden ist.

Sherlock A, Brownie S (2014): Patients' recollection and understanding of informed consent: a literature review. *ANZ J Surg* 84(4): 207–10. DOI: 10.1111/ans.12555.

Smith-Bindman R, Miglioretti DL, Larson EB. (2008): Rising use of diagnostic medical imaging in a large integrated health system. *Health Aff* 27(6): 1491–502. DOI: 10.1377/hlthaff.27.6.1491.

Walsh L, Shore R, Auvinen A et al. (2014): Risks from CT scans-what do recent studies tell us? *J Radiol Prot.* 34(1): E1–5. DOI: 10.1088/0952-4746/34/1/E1.

Wigge P, Loose R. (2016): Ärztliche Aufklärungspflichten bei diagnostischen Röntgenuntersuchungen. *FortschrRöntgenstr* 188: 218–24.

KONTAKT

Dr. Roman Pokora
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Obere Zahlbacher Straße 69
55128 Mainz
E-Mail: pokora[at]uni-mainz.de

[UBA]

Allergie – Eine Umwelterkrankung

Allergy – An environmental disease

ZUSAMMENFASSUNG

Die Zunahme von Allergien lässt sich in allen industriell entwickelten Ländern beobachten. Lange Zeit galt eine genetische Prädisposition als einziger Grund für eine Allergienentstehung. Heute ist der Einfluss von Umweltfaktoren auf die Gene und ihre Funktion bekannt. Epidemiologische Studien haben sowohl schützende als auch auslösende Umweltfaktoren für Allergien identifiziert. Die Forschung untersucht aktuell die Abnahme der Diversität als Krankheitsfaktor. Eine hohe Diversität des Mikrobioms beispielsweise korreliert mit einem geringeren Allergierisiko. Weiterhin müssen die molekularen Grundlagen bei Allergien genau beschrieben werden: vom Organ und den Zellen bis zu den Genen. Immunologen forschen deshalb speziell an Einflussfaktoren und Wirkmechanismen der Allergene, um den Erfolg von Therapie und Prävention zu erhöhen.

ABSTRACT

The increase in allergies can be observed in every industrially developed country. For many years, a genetic predisposition has been considered as the only reason for an allergy development. Today, the influence of environmental factors on the genes and their function is common knowledge. Epidemiological studies identified several environmental factors that either prevent or trigger an allergy. Currently, research investigates the reduction of "diversity" as a decisive factor for disease. A high diversity of the microbiome, for example, correlates with a low risk for allergy. Moreover, the molecular basics in allergies have to be described in detail: from the organ and cells to the genes. Immunologists specifically study the allergens' factors of influence and their effect mechanisms to increase the success rate of therapy and prevention.

EINLEITUNG

Allergien sind heute die am häufigsten auftretende chronische Erkrankung in Deutschland und Europa (Bieber et al. 2016). Sie gehören zu den „noncommunicable diseases“ (NCDs; nicht übertragbare Krankheiten). Laut WHO stellen NCDs die größte medizinische Herausforderung für die kommenden Jahre dar. Zu den NCDs zählen Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Krebs, Diabetes, Asthma und Allergien. Allen NCDs gemeinsam ist der Einfluss von Umweltfaktoren. Gerade bei Kindern mit Allergien zeigt sich, dass Allergien von ei-

ner chronischen Entzündung begleitet werden und eine Systemerkrankung bedeuten (Chawes et al. 2016). Die Allergie ist die am frühesten im Leben auftretende NCD mit über 30 Prozent Erkrankten in der jüngeren Bevölkerung. Für alle Altersklassen bedeutet eine Allergie deutliche Einbußen der Lebensqualität und Leistungsfähigkeit, denn Organe wie die Haut, die Lunge oder der Darm sind betroffen. Die Umweltmedizin erforscht insbesondere Allergien vom Typ I und IV. Die Typ-I-Allergie ist eine IgE(ImmunglobulinE)-vermittelte

CLAUDIA
TRAIDL-HOFFMANN

Rechtlicher Hinweis:
Der Artikel "Allergie – eine Umwelterkrankung!" wurde im Bundesgesundheitsblatt im Mai 2017 erstveröffentlicht (DOI: 10.1007/s00103-017-2547-4) und liegt hier in einer gekürzten Version vor.



FOTO
Ambrosiapflanze.
©Elena Elisseeva / Shutterstock.com.

Soforttyp-Reaktion. Ihre Symptome sind u. a. Schnupfen, Brennen, Röteln sowie Atemnot oder im Akutfall ein lebensgefährlicher Schock. Die Typ-IV-Allergie ist gekennzeichnet durch eine T-Zell-vermittelte Immunreaktion, welche verzögert auftritt. Ein sehr häufiges klinisches Bild des Typ-IV ist die Kontaktallergie. Der Fokus dieser Übersichtsarbeit liegt auf der Typ-I-Allergie sowie der (aerogenen) luftinduzierten Kontaktallergie.

ALLERGIEN – DIE PANDEMIE DES 21. JAHRHUNDERTS?

Nach Schätzungen leiden in der EU zwischen 20 und 25 Prozent der 217 Millionen Erwerbstätigen an Allergien, was einer Pan-

demie nahekommmt. Neue Daten zeigen, dass 90 Prozent davon unzureichend oder nicht behandelt sind. Sozioökonomische Schäden zwischen 55 und 151 Milliarden Euro pro Jahr durch verminderte Leistungsfähigkeit in Schule, Studium und Beruf sind die Folgen. Demgegenüber steht ein Vielfaches weniger an jährlichen Kosten, um Allergiker effektiv zu behandeln, zum Beispiel mit einer spezifischen Immuntherapie (SIT) (Zuberbier et al. 2014). Handlungsbedarf besteht deshalb für die Forschung, die klinische Versorgung, die Ausbildung und die politische Umsetzung von Präventionsmaßnahmen bei Allergien. Für die Zunahme von Allergien sind Umweltfaktoren ursächlich. Sie können beeinflussen, wie sich unsere Gene ausdrücken (Epigenetik). „Umwelt“ wird breit definiert als menschliche und natürliche Faktoren, Ernährung sowie

Umfeld und Lebensgewohnheiten. Bestehende Theorien zur Allergiezunahme, wie die Hygienehypothese, sind zusätzlich Teil des Gesamtbildes (Ring et al. 2001).

IMMUNOLOGIE UND SYMPTOMATIK BEI ALLERGIEN

Eine Allergie ist eine spezifische immunologische Reaktion mit klinischen Symptomen. Zu einer Allergie kommt es, weil das Immunsystem bei Kontakt mit einem (harmlosen) Umweltfaktor diesen als schädlich einstuft, eine spezifische Reaktion ausbildet und bei jedem weiteren Kontakt eine Entzündungskaskade auslöst. Dieselbe Allergie kann verschiedene Krankheitssymptome ausbilden wie Schnupfen, Schwellungen, generalisierte Hautrötung oder Atembeschwerden. Allergene sind Proteine aus Pollen oder von Milben; aber auch Medikamente, Nahrungsmittel und weitere Umweltfaktoren wirken allergen. Das Immunsystem kann auf fast alle Allergene eine spezifische Reaktion entwickeln. Tatsächlich reagieren wir nur auf sehr wenige Allergene allergisch. Wir müssen deshalb klären, was ein Allergen zum Allergen macht (Traidl-Hoffmann et al. 2009). Eine Allergie beginnt immer mit einer „Sensibilisierungsphase“, bei der sich spezifische Antikörper (IgE) gegen das Allergen bilden. Ab jetzt kann jeder weitere Kontakt mit dem Allergen die Symptome hervorrufen, was „Entzündungsphase“ genannt wird (ABBILDUNG 1). Der bloße Nachweis von spezifischem IgE darf nicht als Erkrankung diagnostiziert werden. Eine Allergie ist immer eine Sensibilisierung in Kombination mit Symptomen. Der symptomfreie, nicht kranke Zustand kann über Jahre anhalten. Die Therapie von Antikörpern bei Symptomfreiheit kann sogar die immuneigene Fähigkeit zur Regulierung hemmen. Bei bestimmten Allergien ist aber der Nachweis von Antikörpern für die Diagnostik entscheidend. Die allergische Reaktion kann einen „Etagenwechsel“ durchlaufen (ABBIL-

DUNG 2). Die „erste Etage“ ist das atopische Ekzem, oft nach dem 3. Lebensmonat (Werfel et al. 2016). Die „zweite Etage“ ist meist eine Nahrungsmittelallergie, oft im ersten Lebensjahr. Patienten mit einem angeborenen Barrieredefekt haben zudem ein erhöhtes Risiko für eine Kontakt- oder Nahrungsmittelallergie (Thyssen et al. 2013). Weitere „Etagen“ sind Asthma oder Heuschnupfen, oft in höherem Alter. Seit Jahren beobachten wir auch eine Zunahme des atopischen Ekzems im Alter.

AUSLÖSER VON ALLERGIEN

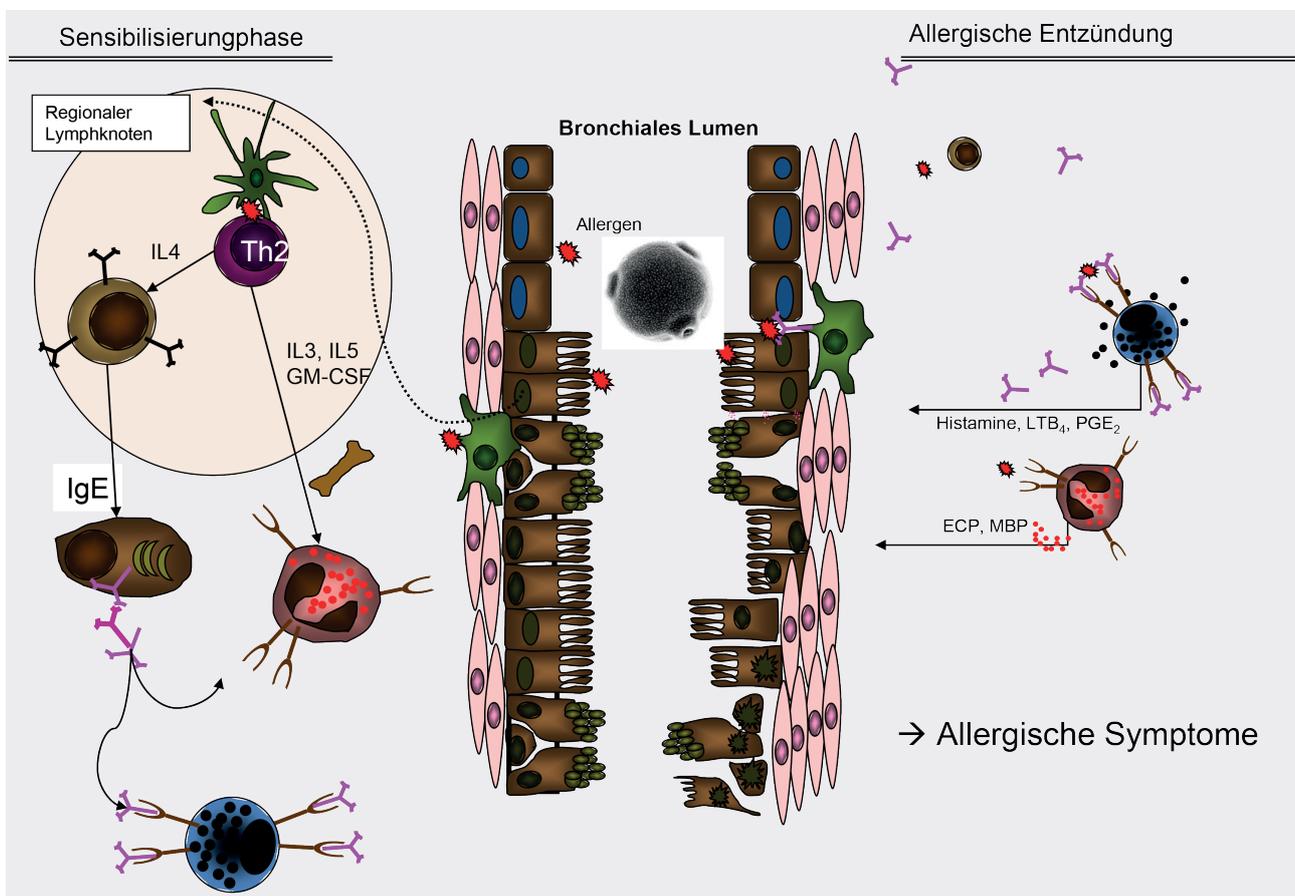
In Europa sind es vor allem Pollen windbestäubter Pflanzen (Gräser, Birke usw.), die Allergien auslösen. Die Immunantwort auf die (Haupt-)Allergene ist aber nicht allein für die allergische Reaktion verantwortlich. Vielmehr gibt es eine Vielzahl an Substanzen in Pollen, die das angeborene Immunsystem eher unspezifisch aktivieren und als Gefahrensignal eine pro-allergische Immunantwort einleiten können (Wimmer et al. 2015). Was also genau einen Allergiker zum Allergiker macht, ist nicht abschließend geklärt (Gilles et al. 2012). Weitere Auslöser sind Hausstaubmilben, Schimmelpilze oder Nahrungsmittel. Allergien wegen Nahrungsmitteln nehmen aktuell stark zu. Die Ursache könnte eine Abnahme der Vielfalt zugeführter Lebensmittel oder die Zunahme von Monokulturen bei der Herstellung sein. Eine häufige Allergieform ist die aerogene Kontaktallergie, die bei Berufsdermatosen häufig auftritt (Breuer et al. 2015). Kontaktallergien sind eine Reaktion vom Typ-IV mit einem Ekzem als Hauptsymptom und zusätzlich Heuschnupfen oder Asthma. Auslöser hierfür können Duftstoffe, Kunstharze, Medikamente (Swinnen et al. 2014) und Konservierungsmittel (Hunter et al. 2008) sein.

DIE SPEZIFISCHE IMMUNTHERAPIE

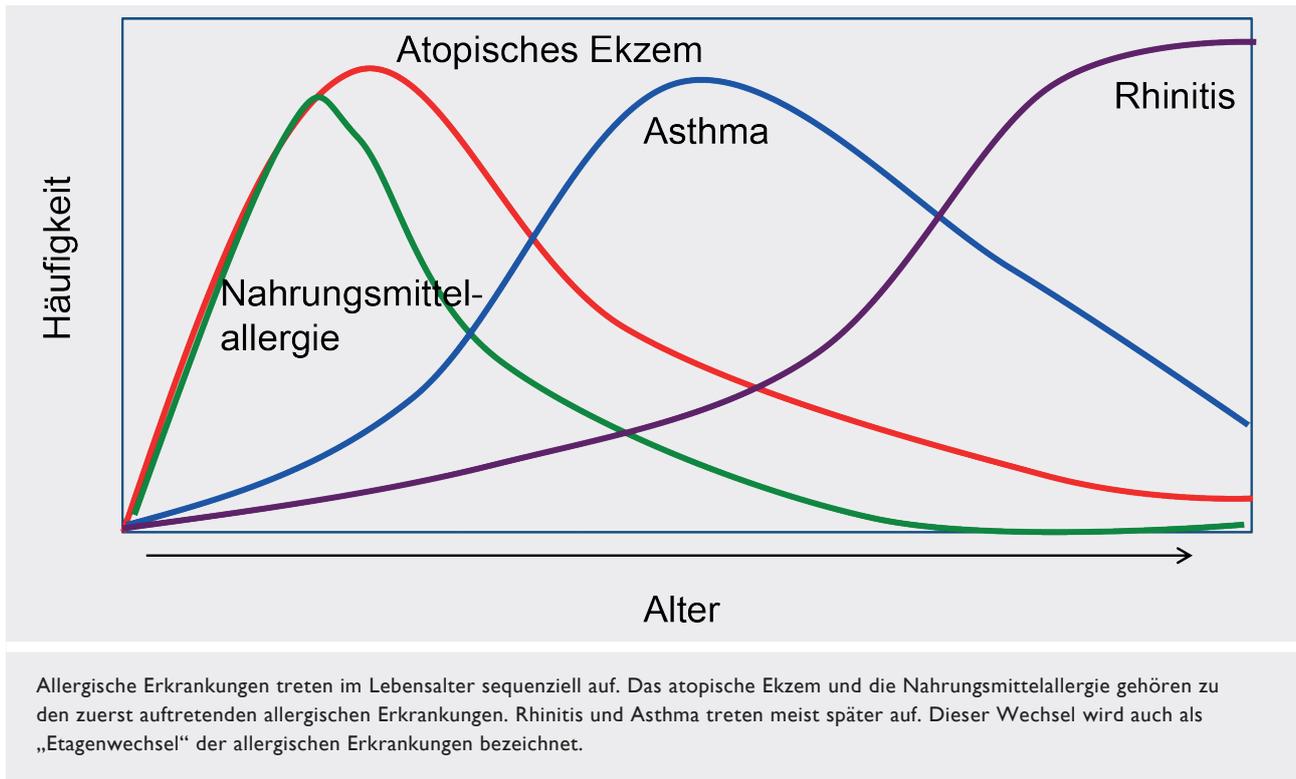
Bei der spezifischen Immuntherapie (SIT) wird das symptomauslösende Allergen in aufsteigenden Dosen verabreicht, damit das Immunsystem erst seine Reaktion regulieren lernt und schließlich Toleranz entwickelt. Eine SIT kann auch präventiv den „Etagenwechsel“ verhindern (Jutel et al. 2016). Durch die genaue Proportionierung von Haupt- und Nebenallergenen, die Zugabe von Adjuvantien, den Einsatz von im Labor hergestellten Aller-

genen und vor allem von Biologika (IgE-Antikörper) wird die SIT kontinuierlich verbessert. Studien zeigen, dass die Kombination von SIT mit der spezifischen Blockade von Zytokinen (Signalmoleküle des Immunsystems) oder mit Antikörpern den Therapieerfolg erhöht und Nebenwirkungen verringert (Chaker et al. 2016). Da die SIT in der Herstellung teuer ist und für Ärzte nur schlecht vergütet, werden nur etwa 20 Prozent der Allergiker so behandelt. Die Umweltmedizin erforscht deshalb geeignete Biomarker (messbare Werte in Flüssigkeit oder Gewebe des Körpers) für die

ABBILDUNG I
 Mechanismen der Sensibilisierung und Entzündung bei Allergien.
 Quelle: RKI.



In der Mitte eine Bronchie mit einem Pollen als Allergenträger, den Allergenen (und den mit Cilien versehenen Epithelzellen). Darunter mukosale dendritische Zellen. Links die Sensibilisierungsphase, in der eine dendritische Zelle (grün) das Antigen zu einem regionalen Lymphknoten transportiert. Dort führt die Antigen-Präsentation zur Aktivierung der T-Helferzelle vom Typ Th2, die daraufhin durch Zytokine (hauptsächlich IL4) die B-Lymphozyten dazu veranlasst, sich in Plasmazellen ausdifferenzieren, die IgE-Moleküle produzieren. IgE wird von Rezeptoren der Mastzellen und basophilen Granulozyten gebunden. Rechts die allergische Entzündung: Antigene werden von den IgEs an dendritische Zellen gebunden. Wird ein Antigen an zwei benachbarte IgEs von Granulozyten kreuzgebunden, so geben diese Mediatoren ab. Die Mediatoren wiederum bewirken u. a. eine Kontraktion der Bronchien und die Erweiterung und Erhöhung der Permeabilität der Gefäße. Die Folge sind Anschwellen der Gefäße, Ödembildung und Entzündungsreaktion der Schleimhaut.



Bewertung der SIT, um ihre therapeutische und sogar präventive Wirkung nachvollziehbarer zu machen.

MIKROBIOM UND DIVERSITÄT ALS PROTEKTIVER FAKTOR

Studien zeigen, dass bei Allergien die Diversität der Mikroben (also alle Bakterien, Viren und Pilze auf und im Körper) reduziert ist (Kramer et al. 2015). Die Forschung muss nun klären, welche Mikroben an Allergien beteiligt sind und was eine Abnahme der Diversität funktionell bedeutet. In der Immunologie ermöglichte die funktionelle Analyse der Signalwege bereits eine individualisierte Therapie von NCDs. Spezielle Mikroben könnten also in der Therapie und in der Prävention von Allergien zum Einsatz kommen. Je abwechslungsreicher außerdem die Ernährung im ersten Lebensjahr ist, desto geringer fällt das spätere Allergierisiko aus.

Diese Beobachtung wurde für Asthma und das atopische Ekzem bestätigt (Stein et al. 2016). Um Allergien voll zu verstehen, muss zusätzlich das Mikrobiom der Nahrung und von Pollen funktionell mitbestimmt werden.

ZUNAHME VON ALLERGIEEN DURCH LEBENSSTIL

Die Zunahme von Allergien geht mit dem Lebensstil in industrialisierten Regionen einher (Bieber et al. 2016). Epidemiologische Studien haben 1990 eine höhere Allergieprävalenz in West- gegenüber Ostdeutschland festgestellt, auch allergische Symptome wie Asthma und Heuschnupfen waren im Westen häufiger (Nylund et al. 2015). Zehn Jahre nach der Wiedervereinigung war dieser Unterschied aufgehoben. Eine Studie aus Polen untersuchte die Allergiehäufigkeit vor und nach der Aufnahme des Landes in die EU. 2003 lag ein deutlicher Unterschied zwischen den urbanen Gebieten mit 20 Prozent

ABBILDUNG 2
Karriere eines allergischen Individuums
Quelle: RKI.

und den ruralen Arealen mit 7 Prozent Häufigkeit vor. 2013 war der Wert in den urbanen Gebieten gleich geblieben, in ländlichen aber auf 20 Prozent gestiegen. Die Zunahme verlief parallel zur Abnahme des „ländlichen“ Tierkontaktes (Hua et al. 2016). Dieser Trend ergänzt Beobachtungen bei Kindern von traditionellen Bauernhöfen, die im Vergleich zu „modernen“ Bauernhöfen ein geringeres Risiko für Allergien aufweisen. Die protektiven Umweltfaktoren aus traditionellen Lebensstilen müssen deshalb identifiziert und in die Prävention integriert werden.

ZUNAHME VON ALLERGIEN DURCH MEHR POLLEN

Ab einer bestimmten Umgebungstemperatur lösen Pflanzen ihre Pollenproduktion aus. Spätere Kältephasen stoppen diesen Zyklus nicht mehr. Der globale Klimawandel verändert somit den Beginn, die Dauer und die Länge des Pollenfluges und vergrößern damit die Zeitspanne für allergische Symptome. Verlängerte Wärmephasen schaffen zusätzlich neue Vegetationsnischen für nicht heimische Pflanzenarten wie die Ambrosia. Die Messung der Pollenmenge und -flugzeiten in der Luft während des gesamten Jahresverlaufs ist deshalb wichtig. Spijksma zeigte 2003, dass die Luftkonzentration von Birkenpollen in den dreißig Jahren zuvor nicht signifikant anstieg, die Konzentration von Gräserpollen im selben Zeitraum sogar sank (Spijksma et al. 2003). Clot berichtet für die Schweiz über einen früheren Pollenflugbeginn bei mehreren Pflanzenarten (Clot 2003), während Damialis für die Region um Thessaloniki, Griechenland, eine längere Pollenflugzeit feststellte (Damialis et al. 2007). In Japan hat Yamada innerhalb von 20 Jahren eine höhere Luftkonzentration, Sensibilisierungsrate und Zunahme allergischer Symptome gegenüber Zedernpollen ermittelt (Yamada et al. 2014). Gerade in Wohngebieten müssen die Grünflächenplaner deshalb Rücksicht auf Allergiker nehmen.

ZUNAHME VON ALLERGIEN DURCH NEUE POLLENARTEN

Ambrosia (englisch: ragweed) steht exemplarisch für eine vormals nicht heimische Pflanzenart (Neophyt) in Europa, die sich vor allem in der Region um Ungarn schnell ausbreitete. Ihr Pollen zählt zu den aggressivsten Allergieauslösern überhaupt. Zurzeit stellen in Deutschland noch Gräser- und Birkenpollen die häufigste Ursache für Symptome dar, gefolgt von Hausstaubmilben. Bei Ambrosia lösen 10 Pollenkörner pro Kubikmeter Luft bereits allergische Symptome aus, bei Gräsern sind es 15 und bei Birkenpollen 30. Dazu kommt, dass der Ambrosiapollen besonders klein ist und die Pflanze besonders viel Pollen produziert. Wir müssen noch erforschen, wie hoch die Pollenkonzentration in der Luft für eine Sensibilisierung gegen Ambrosia sein muss. Prognosen, wann und wie stark die Allergikerzahlen bei Ambrosia in Europa ansteigen werden, sind deshalb schwierig zu formulieren. Mathematische Modelle sagen für Europa eine Verdoppelung der Ambrosia-Sensibilisierung bis 2060, von jetzt 33 auf 77 Millionen Personen voraus (Lake et al. 2016).

ZUNAHME VON ALLERGENITÄT DURCH KLIMAWANDEL

Forschungen ergaben, dass der Klimawandel und die steigende Umweltverschmutzung das Wachstum, die Blütezeit und die Allergenität von allergieauslösenden Pflanzen beeinflussen. Studien zeigten früh, dass Luftschadstoffe zu einer vermehrten Freisetzung von allergenhaltigen Partikeln aus Pollen führen (Motta et al. 2006). Ebenso beeinflusst das für die Luft problematische Ozon die Allergenität der Pflanzenpollen (Kanter et al. 2013). Der Birkenpollen aus stark mit Ozon belasteten Regionen hat eine höhere Allergenität als Birkenpollen aus Regionen mit wenig Ozon (Beck et al. 2013). Bei steigenden Temperaturen auf-

grund des Klimawandels werden die Ozonwerte ebenfalls wieder ansteigen. Eine neue Studie belegt, dass auch Kohlenstoffdioxid (CO₂) in Verbindung mit Trockenstress die Allergenität der Ambrosiapollen erhöht (El Kalish et al. 2014). Zusammenfassend ergeben die Studien, dass der Klimawandel die Allergenität von Pollen insgesamt ansteigen lässt, mit negativen Folgen für die Gesundheit. Vorhersagemodelle des Pollenfluges werden deshalb erforderlich, die Tagesabläufe eines Allergikers besser planbar machen (Oteros et al. 2015).

UMWELTFAKTOREN KÖNNEN ALLERGIEN BEFÖRDERN ODER DAVOR SCHÜTZEN

Epidemiologische Studien zeigten wiederholt, dass eine Umgebung mit Rauch die (früh)kindliche Entwicklung von Allergien fördert und sowohl die Inzidenz beim atopischen Ekzem (Neurodermitis) als auch für Allergien insgesamt steigt (Thacher et al. 2016a). Eine europaweite Studie zeigte, dass die Exposition mit verunreinigter Luft das Risiko für Asthma im Alter ebenfalls signifikant erhöht (Jacquemin et al. 2015). Der Einfluss von Umweltfaktoren auf die Allergieentstehung und Symptomförderung kann in mindestens zwei Kausalketten beim Menschen ablaufen; erstens wirken Umweltfaktoren wie CO₂ und Ozon auf den Allergenträger, verändern dessen Allergenität beziehungsweise die Diversität dessen Mikrobioms (Obersteiner et al. 2016); zweitens fördern Schadstoffe aus dem Verkehr, wie etwa ultrafeine Partikel, die Entzündlichkeit der Haut und der Schleimhäute. Sie bahnen den Weg zur Sensibilisierung (Maier et al. 2008), können eine Exazerbation der allergischen Entzündung anfeuern oder diese chronisch unterhalten (Schauermann et al. 2014).

ZUNAHME VON ALLERGIEN DURCH EXPOSITION – ODER DURCH FEHLENDE EXPOSITION?

Umweltfaktoren in ländlicher oder bäuerlicher Umgebung scheinen in der (früh) kindlichen Phase schützend vor Allergien zu wirken (Stein et al. 2016). Der Zeitabschnitt, während dem das Immunsystem eine Toleranz gegenüber Umweltallergenen entwickeln kann („window of opportunity“), scheint die sehr frühe Kindheit zu sein beziehungsweise beginnt bereits vor der Geburt. Zur Prävention galt früher die Vermeidung der Allergene, was aber kaum möglich ist. In den letzten Jahren hat sich eine Änderung der Empfehlung in den Leitlinien ergeben. Die LEAP-Studie zeigte, dass eine frühe Gabe (im ersten Lebensjahr) von Erdnüssen (geringe Mengen) und trotz familiärer Veranlagung für Nahrungsmittelallergien einen langfristigen Schutz vor Allergien gegen Nüsse zur Folge hat (Du Toit et al. 2016). Jedoch kann die frühe Exposition nicht vor allen Allergien schützen. 2016 zeigte eine Studie, dass die frühe Exposition gegenüber Schimmelpilzen eher allergiefördernd wirkt (Thacher et al. 2016b). Dennoch ist ein Umdenken erforderlich, hin zu einer aktiven Entwicklung von Toleranz gegenüber Umwelt-Allergenen.

FAZIT – GEMEINSAMES HANDELN IST JETZT ERFORDERLICH!

In der Allergieforschung, Allergitherapie und Allergieprävention sind wir viel weiter als früher. Doch gibt es immer mehr und neue Allergien. Von einer Strategie für eine flächendeckende Prävention sind wir deshalb weit entfernt. Auch wissenschaftliche Grundlagen für deren Entwicklung fehlen

zum Teil. Noch existiert in Deutschland keine koordinierte Forschungsinitiative zum Thema „Allergie“. Es gilt: Nur in einer gemeinsamen Forschungsinitiative werden die Herausforderungen für Mediziner, Patienten, Wirtschaft und Gesellschaft aufgrund von Allergien zu meistern sein. ●

LITERATUR

- Beck I, Jochner S, Gilles S et al. (2013): High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. *PLOS ONE*. DOI: 10.1371/journal.pone.0080147.
- Bieber T, Akdis C, Lauener R et al. (2016): Global allergy forum and 3rd Davos declaration 2015: atopic dermatitis/eczema: challenges and opportunities toward precision medicine. *Allergy* 71:588–592.
- Breuer K, Uter W, Geier J (2015): Epidemiological data on airborne contact dermatitis – results of the IVDK. *Contact Derm* 73:239–247.
- Chaker AM, Shamji MH, Dumitru FA et al. (2016): Short-term subcutaneous grass pollen immunotherapy under the umbrella of anti-IL-4: a randomized controlled trial. *J Allergy Clin Immunol* 137:452–461 e9. DOI: 10.1016/j.jaci.2015.08.046.
- Chawes BL, Stokholm J, Schoos AM et al. (2016): Allergic sensitization at school age is a systemic low-grade inflammatory disorder. *Allergy*. DOI: 10.1111/all.13108.
- Clot B (2003): Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia (Bologna)* 17:25–29. DOI: 10.1023/B:AERO.0000006572.53105.17.
- Damialis A, Gioulekas D, Vokou D (2007): Long-term trends in atmospheric pollen levels in the city of Thessaloniki, Greece. *Atmos Environ* 41:7011–7021. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.05.009.
- Du Toit G, Sayre PH, Roberts G et al. (2016): Effect of avoidance on peanut allergy after early peanut consumption. *N Engl J Med* 374:1435–1443. DOI: 10.1056/NEJMoa1514209.
- El Kelish A, Zhao F, Heller W et al. (2014) Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergenicity: super-SAGE transcriptomic analysis upon elevated CO₂ and drought stress. *BMC Plant Biol* 14:176. DOI: 10.1186/1471-2229-14-176.
- Gilles S, Behrendt H, Ring J et al. (2012): The pollen enigma: modulation of the allergic immune response by non-allergenic, pollen-derived compounds. *Curr Pharm Des* 18:2314–2319.
- Hua X, Goedert JJ, Pu A et al. (2016): Allergy associations with the adult fecal microbiota: analysis of the American Gut Project. *EBioMedicine* 3:172–179. DOI: 10.1016/j.ebiom.2015.11.038.
- Hunter KJ, Shelley JC, Haworth AE (2008): Airborne allergic contact dermatitis to methylchloroisothiazolone/methylisothiazolinone in ironing water. *Contact Derm* 58:183–184.
- Jacquemin B, Siroux V, Sanchez M et al. (2015): Ambient air pollution and adult asthma incidence in six European cohorts (ESCAPE). *Environ Health Perspect* 123:613–621. DOI: 10.1289/ehp.1408206.
- Jutel M, Agache I, Bonini Setälä (2016): International consensus on allergen immunotherapy II: mechanisms, standardization, and pharmaco-economics. *J Allergy Clin Immunol* 137:358–368 DOI: 10.1016/j.jaci.2015.12.1300.
- Kanter U, Heller W, Durner J et al. (2013): Molecular and immunological characterization of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen after exposure of the plants to elevated ozone over a whole growing season. *PLOS ONE* 8:e61518. DOI: 10.1371/journal.pone.0061518.
- Kramer U, Schmitz R, Ring J et al. (2015): What can reunification of East and West Germany tell us about the cause of the allergy epidemic? *Clin Exp Allergy* 45:94–107 DOI: 10.1111/cea.12458.
- Lake IR, Jones NR, Agnew M et al. (2016): Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environ Health Perspect*. DOI: 10.1289/ehp173.
- Maier KL, Alessandrini F, Beck-Speier I et al. (2008): Health effects of ambient particulate matter – biological mechanisms and inflammatory responses to in vitro and in vivo particle exposures. *Inhal Toxicol* 20:319–337. DOI: 10.1080/08958370701866313.
- Motta AC, Marliere M, Peltre G et al. (2006): Traffic-related air pollutants induce the release of allergen-containing cytoplasmic granules from grass pollen. *Int Arch Allergy Immunol* 139:294–298.
- Nylund L, Nermes M, Isolauri E et al. (2015): Severity of atopic disease inversely correlates with intestinal microbiota diversity and butyrate-producing bacteria. *Allergy* 70:241–244. DOI: 10.1111/all.12549.
- Obersteiner A, Gilles S, Frank U et al. (2016): Pollen-associated microbiome correlates with pollution parameters and the allergenicity of pollen. *PLOS ONE* 11:e0149545. DOI: 10.1371/journal.pone.0149545.
- Oteros J, Pusch G, Weichenmeier I et al. (2015): Automatic and online pollen monitoring. *Int Arch Allergy Immunol* 167:158–166. DOI: 10.1159/000436968.
- Ring J, Kramer U, Schafer T et al. (2001): Why are allergies increasing? *Curr Opin Immunol* 13:701–708.

Schaumann F, Fromke C, Dijkstra D et al. (2014): Effects of ultrafine particles on the allergic inflammation in the lung of asthmatics: results of a double-blinded randomized cross-over clinical pilot study. *Part Fibre Toxicol* 11:39. DOI: 10.1186/s12989-014-0039-3.

Spiekma FTM, Corden J, Detandt M et al. (2003): Quantitative trends in annual totals of five common airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, *Poaceae*, *Urtica*, and *Artemisia*), at five pollen-monitoring stations in western Europe. *Aerobiologia (Bologna)* 19:171–184. DOI: 10.1023/B:AERO.0000006528.37447.15.

Stein MM, Hrusch CL, Gozdz J et al. (2016): Innate immunity and asthma risk in amish and hutterite farm children. *NEngl JMed* 375:411–421. DOI: 10.1056/NEJMoal508749.

Swinnen I, Ghys K, Kerre S et al. (2014): Occupational airborne contact dermatitis from benzodiazepines and other drugs. *Contact Derm* 70:227–232. DOI: 10.1111/cod.12166.

Thacher JD, Gruzjeva O, Pershagen G et al. (2016a): Parental smoking and development of allergic sensitization from birth to adolescence. *Allergy* 71:239–248. DOI: 10.1111/all.12792.

Thacher JD, Gruzjeva O, Pershagen G et al. (2016b): Mold and dampness exposure and allergic outcomes from birth to adolescence: data from the BAMSE cohort. *Allergy*. DOI: 10.1111/all.13102.

Thyssen JP, Linneberg A, Ross-Hansen Ketal (2013): Filaggrin mutations are strongly associated with contact sensitization in individuals with dermatitis. *Contact Derm* 68:273–276. DOI: 10.1111/cod.12021.

Traidl-Hoffmann C, Jakob T, Behrendt H (2009): Determinants of allergenicity. *J Allergy Clin Immunol* 123:558–566. DOI: 10.1016/j.jaci.2008.12.003.

Werfel T, Allam JP, Biedermann T et al. (2016): Cellular and molecular immunologic mechanisms in patients with atopic dermatitis. *J Allergy Clin Immunol* 138:336–349. DOI: 10.1016/j.jaci.2016.06.010.

Wimmer M, Alessandrini F, Gilles S et al. (2015): Pollen-derived adenosine is a necessary cofactor for ragweed allergy. *Allergy* 70:944–954. DOI: 10.1111/all.12642.

Yamada T, Saito H, Fujieda S (2014): Present state of Japanese cedar pollinosis: the national affliction. *J Allergy Clin Immunol* 133:632–639e5. DOI: 10.1016/j.jaci.2013.11.002.

Zuberbier T, Lotvall J, Simoens S et al. (2014): Economic burden of inadequate management of allergic diseases in the European Union: a GA(2)LEN review. *Allergy* 69(10):1275. DOI: 10.1111/all.12470.

KONTAKT

Univ.-Prof. Dr. med. Claudia Traidl-Hoffmann
Lehrstuhl und Institut für Umweltmedizin, UNIKA-T
Neusässer Straße 47
86156 Augsburg
E-Mail: c.traidl-hoffmann[at]tum.de

[RKI]

Ultrafeine Partikel in der Umgebungsluft – Aktueller Wissensstand

Ultrafine particles in ambient air – current state of knowledge

ZUSAMMENFASSUNG

Ultrafeine Partikel (UFP) sind in den letzten Jahren zu einem häufig diskutierten Thema in der Luftreinhaltung geworden. Auch das Umweltbundesamt (UBA) erreichen aus Politik, Fachkreisen und der allgemeinen Öffentlichkeit zunehmend Fragen bezüglich der Bedeutung von UFP für Umwelt und Gesundheit. Der Artikel gibt einen Überblick zum aktuellen Stand des Wissens. Ausgehend von der Definition der UFP werden die Möglichkeiten ihrer Messung sowie die bislang nur eingeschränkt aussagekräftigen Erkenntnisse bezüglich ihrer gesundheitlichen Auswirkungen erläutert.

WOLFRAM BIRMILI,
KATRIN SÜRING,
KERSTIN BECKER,
HOLGER GERWIG,
KATHRIN SCHWIRN,
GUNTER LÖSCHAU,
DIETRICH PLASS,
MYRIAM TOBOLLIK

ABSTRACT

In recent years, ultrafine particles (UFP) have moved into the focus of discussions about air quality control. The German Environment Agency (UBA) increasingly receives requests from politics, experts, and the general public concerning the relevance of UFPs for the environment and health. This article summarizes the current state of knowledge, describing the definition of UFPs, the methods to measure them, as well as the relatively limited results concerning their health effects.

ULTRAFEINE PARTIKEL UND NANOMATERIALIEN

Als ultrafeine Partikel (UFP) beziehungsweise Ultrafeinstaub werden nach der gängigsten Definition luftgetragene Partikel mit einem Durchmesser zwischen 1 und 100 Nanometer (nm) bezeichnet (DIN 2006; ISO 2007; VDI 2009; EPA 2004). UFP bezeichnet die ultrafeine Teilfraktion der feinen Partikel, wobei sich letztere meist auf den Größenbereich < 1 Mikrometer, das heißt 1.000 nm beziehen. Dem Sprachgebrauch nach handelt es sich bei UFP um die vom Menschen unbeabsichtigt beziehungsweise die in der Atmosphäre natürlich erzeugten Partikel im Größenbereich < 100 nm. UFP sind demnach auch ein Teil des atmosphärischen Aerosols, welches per Definition aus dem Trägergas (Luft) und den darin befindlichen Partikeln

besteht. Die Schwelle von 100 nm für UFP wird dadurch motiviert, dass sich bei kleineren Partikeln aufgrund der Annäherung an molekulare und atomare Dimensionen die physikalischen und chemischen Eigenschaften zu ändern beginnen. Eine eindeutige wissenschaftliche Begründung für die Festlegung der Schwelle von 100 nm gibt es bislang jedoch nicht (EU 2011).

Daneben steht auch der Begriff Nanomaterial, oder umgangssprachlich auch „Nanopartikel“, der sich auf dieselbe Größendefinition (1–100 nm) wie für die UFP bezieht (ISO 2015; EU 2011). Im Gegensatz zu UFP betrachtet man bei Nanomaterialien meist technisch hergestellte Partikel mit besonderen, erwünschten Materialeigenschaften. Nanomaterialien sind ein wichtiges Thema im Umfeld industrieller Arbeitsplätze, aber auch für die allgemeine Exposition des Men-

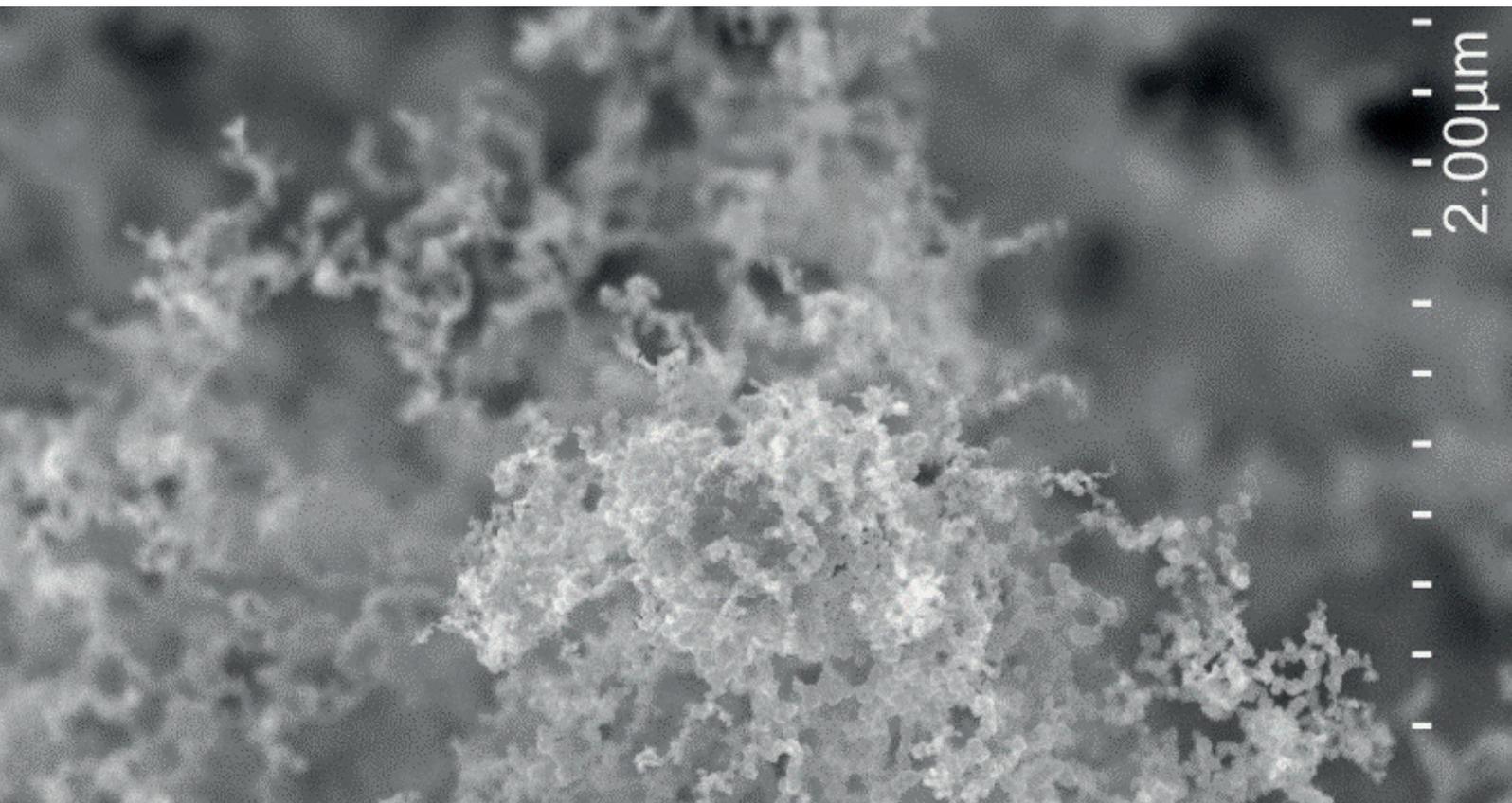


FOTO
Rußagglomerate, aufgebaut aus ultrafeinen Rußpartikeln.
Quelle: N. Dziurowitz, C. Thim, BAuA.

schen bei der alltäglichen Nutzung von zum Beispiel Kosmetika, die Nanomaterialien enthalten können.

MESSVERFAHREN FÜR ULTRAFEINE PARTIKEL

Aufgrund ihrer geringen Größe und Masse sind gravimetrische oder optische Messverfahren, welche für größere Fraktionen des Feinstaubes gängig sind, für die Messung von UFP ungeeignet. Die wichtigsten standardisierten Methoden zur Erfassung und Messung der Anzahlkonzentration von UFP in Luft sind partikelzählende Verfahren (VDI 2008) und die Größenklassifizierung anhand der elektrischen Mobilität (VDI 2012). Die Messung einer Partikelanzahlgrößenverteilung ermöglicht eine genaue Zuordnung der Partikelgrößen und die rechnerische Bestimmung einer UFP-Anzahlkonzentration

über beliebige Partikelgrößenintervalle. Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometer weisen eine Messunsicherheit bis zu etwa 10 Prozent im Bereich der Partikelanzahlkonzentration und bis auf wenige Prozent im Bereich des bestimmten Partikeldurchmessers auf (Wiedensohler et al. 2017). Unterhalb 10 nm treten beim jetzigen Stand der Technik größere Unsicherheiten auf. Ein Dauerbetrieb von Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometern im Rahmen der Luftüberwachung erfordert regelmäßige Wartungen und Kalibrierungen unter Einsatz geschulten Personals. Zunehmend findet man kostengünstige mobile Messinstrumente, welche die Partikelanzahlkonzentration auf Basis einer Ionenstrommessung abschätzen, die jedoch mit einer verminderten Genauigkeit im Vergleich zu Kondensationspartikelzählern einhergeht (Asbach et al. 2017). Jenseits der genannten Echtzeit-Messinstrumente ist es prinzipiell möglich, wenn auch mit höhe-

rem technischem Aufwand verbunden, UFP chemisch zu untersuchen beziehungsweise elektronenmikroskopische Abbildungen anzufertigen.

VORKOMMEN VON ULTRAFEINEN PARTIKELN IN DER UMWELT

Generell liegen zu UFP weitaus weniger Messdaten aus der Umwelt vor als beispielsweise für die gesetzlich regulierten gasförmigen Schadstoffe und Feinstaubfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ (Kumar et al. 2014). Im Rahmen des deutschen Messnetzes für ultrafeine Aerosolpartikel (GUAN – German Ultrafine Aerosol Network) führen mehrere wissenschaftliche Institutionen und Behörden seit einigen Jahren in Deutschland Langzeitbeobachtungen von UFP durch (TROPOS 2018). Zu den gemessenen Parametern gehören die Partikelanzahlgrößenverteilung sowie die Massenkonzentration an Rußpartikeln. Insgesamt sind 17 über Deutschland verteilte Messstationen beteiligt (Birmili et al. 2015, 2016). Zwischen verkehrsnahen, städtischen und ländlichen Messstationen gibt es eine deutliche und konsistente Abnahme bezüglich der Anzahlkonzentration der UFP (ABBILDUNG 1). Der Langzeitmittelwert der UFP-Anzahlkonzentration reicht von Hintergrundwerten um 1.000 Partikel pro Kubikzentimeter (cm^3) an Bergstationen bis in den Bereich von 10.000 Partikeln pro cm^3 an verkehrsnahen Messstellen.

Beim Vergleich verschiedener Messergebnisse muss in jedem Fall beachtet werden, auf welches Partikelgrößenintervall sich eine Messung bezieht. Diese besteht aus einer unteren sowie einer oberen Nachweis-schwelle. In ABBILDUNG 1 sind dies zum Beispiel 20 bis 100 nm. Viele Studien berichten eine Partikelgesamtkonzentration, die auch Partikel > 100 nm mit einschließt.

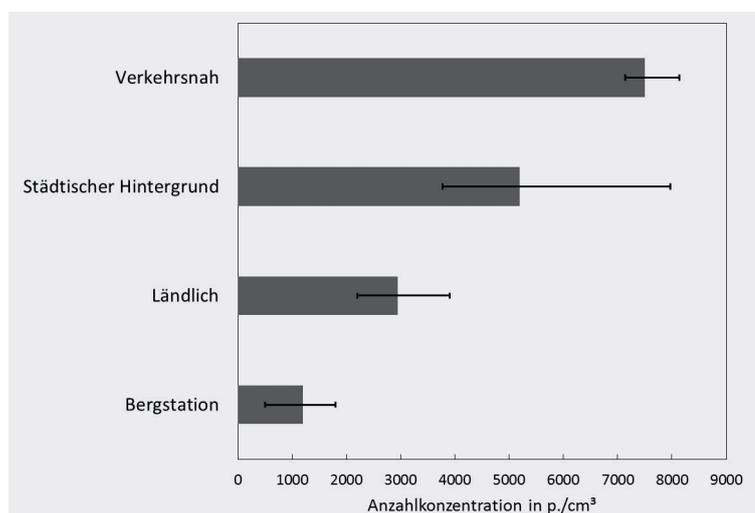
Trendanalysen der letzten Jahre zeigen eine Abnahme der Anzahlkonzentration der UFP in deutschen Städten (Löschau et al. 2017; Birmili et al. 2015). Dies wird als Ergebnis der

generellen Erneuerung der Fahrzeugflotte sowie zusätzlicher emissionsmindernder Maßnahmen, wie zum Beispiel den vermehrten Einsatz von Dieselpartikelfiltern, gedeutet.

QUELLEN VON ULTRAFEINEN PARTIKELN

Generell erzeugen alle unvollständigen Verbrennungsprozesse UFP. Hierbei handelt es sich meist um Rußpartikel, die einen Kern aus elementarem Kohlenstoff besitzen. Zu den wichtigsten Quellen von Rußpartikeln gehören Dieselmotoren (Burtscher 2005). Erhöhte UFP-Konzentrationen in der Außenluft gehen zumeist zurück auf Emissionen aus dem Verkehrssektor (Kfz-, Flug-, Schiffs- und Eisenbahnverkehr), den Energiesektor (Kraftwerke) und Industrieanlagen. Aber auch private Festbrennstoffheizungen, Biomasseverbrennung sowie Waldbrände und Feuerwerk erzeugen UFP. Des Weiteren entstehen UFP durch die Kondensation unver-

ABBILDUNG 1
 Langjährige Mittelwerte der Anzahlkonzentration von ultrafeinen Partikeln in der Außenluft.



Die Darstellung berücksichtigt Mittelwerte von 2009 bis 2014 an 17 Messstellen in Deutschland (Birmili et al. 2015). Der Bereich der UFP bezieht sich auf den Größenbereich 20–100 nm. Die grauen Balken bezeichnen die Mittelwerte über die vier Stationstypen verkehrsnah (3 Messstellen), städtischer Hintergrund (7 Messstellen), ländlich (4 Messstellen) und Bergstationen (3 Messstellen), die Antennen den Maximalbereich der auftretenden Stationsmittelwerte.

brannter Treibstoffreste in den sich abkühlenden Abgasen.

Auch in der Atmosphäre selbst werden UFP gebildet, und zwar durch die Nukleation von Gasmolekülen, welche aus photochemischen Reaktionen unter dem Einfluss intensiver Sonneneinstrahlung stammen (Größ et al. 2018). Aufgrund ihrer unterschiedlichen Zeitverläufe und Partikelgrößenverteilungen lassen sich die Partikel aus Verbrennungsprozessen und aus der photochemischen Neubildung an städtischen Messstationen bezüglich ihrer Beiträge auf die UFP-Anzahlkonzentration zu einem gewissen Grad auseinanderhalten (Ma, Birmili 2015).

Auch im Innenraum sind UFP-Quellen zu finden: Verbrennungsprozesse wie Kerzenabbrand, Kaminfeuer, Ethanolöfen sowie heiße Oberflächen (Kochen, Backen, Toasten), Heimwerkarbeiten (Löten, Kleben) und der Betrieb elektrischer Geräte (Fön, Laserdrucker, 3D-Drucker) führen nachweislich zur Freisetzung hoher Anzahlkonzentrationen von UFP. Hinzu kommen Reinigungsprozesse (Staubsaugen ohne HEPA-Filter, Anwendung von Sprühreinigern) sowie das Rauchen von Tabak, E-Zigaretten und Tabak-Ersatzprodukten. Einen Überblick über die Schadstoffquellen im Innenraum liefert Birmili et al. (2018).

Aufgrund der relativ schnell ablaufenden dynamischen Prozesse wie Koagulation und Diffusion zählt man die UFP zu der Gruppe der kurzlebigen Schadstoffe. Konzentrationen der UFP in Luft weisen häufig eine starke räumliche und zeitliche Variabilität auf, welche die Bestimmung einer mittleren und repräsentativen Konzentration erschwert.

GESUNDHEITSRELEVANZ ULTRAFEINER PARTIKEL

Die Aufnahme von Feinstaubpartikeln über die Atemwege kann negative gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen haben. Generell gilt: Je kleiner die Partikel sind, umso tiefer können sie in die Atemwege eindringen und umso geringer wird die Wahr-

scheinlichkeit, dass sie durch Abatmen die Atemwege wieder verlassen.

Ultrafeinstaub dringt in tiefe Zellebenen der Lunge vor, die sogenannte alveolare Region. Die UFP werden von Makrophagen, den natürlichen Reinigungszellen des Immunsystems, nicht immer erkannt und können so in die Lungenzellen, in das Blut oder das lymphatische System übergehen. Dadurch können sie systemische oder kardiovaskuläre Effekte erzeugen und andere Organe erreichen. UFP können dann zu oxidativem Stress und Entzündungen in den betroffenen Geweben bis hin zum Zelltod führen (Habre et al. 2018). Langfristig können sich Atemwegs- oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen entwickeln. Auch epigenetische Wirkungen, also Wirkungen, die zum Beispiel die Genregulation betreffen, sind möglich (Traboulsi et al. 2017).

Wenn die Partikel nicht wieder ausgeatmet werden, können sie sich auch in der Lunge ansammeln und dort für lange Zeit verbleiben. Dabei ist besonders zu bedenken, dass ultrafeine Partikel im Verhältnis zu ihrer Masse eine sehr große Oberfläche haben. Damit geht einher, dass größere Anteile an Schadstoffen wie Metalle oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe an den Partikeln haften können. In der Folge bedeutet dies, dass ultrafeine Partikel pro Masseneinheit toxischer wirken können als größere Partikel (HEI 2013). Andere Autoren argumentieren, dass die Oberfläche biopersistenter Partikel ein wichtiges Maß für die Gesundheitsrelevanz inhalierter Feinstäube sein könnte (Schmid, Stöger 2015). Biopersistente Partikel bezeichnen die Fraktion der im Körper schlecht löslichen und somit dort länger verbleibenden Partikel. Die an der Oberfläche zum Beispiel von Rußpartikeln anhaftenden Toxine stellen die für den Organismus hauptsächlich schädlichen Substanzen aus diesen Partikeln dar.

ERKENNTNISSE ZUR GESUNDHEITLICHEN WIRKUNG

In vielen epidemiologischen Studien, das sind bevölkerungsbezogene Beobachtungsstudien, wurden signifikante Zusammenhänge zwischen der Morbidität sowie der Mortalität und der Feinstaubbelastung (PM_{2,5} und PM₁₀) aufgezeigt (z. B. Rückerl et al. 2011). In etlichen Studien ergeben sich auch Hinweise darauf, dass Feinstaub für Krankheiten wie Asthma, die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), Diabetes, neurodegenerative Erkrankungen und Lungenkrebs eine Rolle spielen könnte. UFP sind per Definition auch Bestandteil der Feinstaubfraktionen PM_{2,5} und PM₁₀, sodass Ergebnisse bezüglich dieser Fraktionen auch Effekte des Ultrafeinstaubes durchaus mit einschließen. Die Frage, ob möglicherweise gerade die UFP-Fraktion für die beschriebenen Effekte verantwortlich ist oder darüber hinausgehende eigenständige Wirkungen aufweist, ist allerdings noch weitestgehend ungeklärt. Aufgrund dieser Einschränkung können die Zusammenhänge zwischen PM_{2,5} und PM₁₀ und den gesundheitlichen Effekten nicht direkt auf UFP übertragen werden.

Klinische Versuche können Kurzzeitwirkungen von UFP auf den Menschen abbilden. Hierbei wurden Effekte wie Lungenfunktionsstörungen, lokale Entzündungen, aber auch Herz-Kreislauf-Effekte beschrieben. Vom Versuchsaufbau her kann man zwischen Kammerversuchen und Versuchen in der natürlichen Umwelt unterscheiden. Allerdings sind beide Varianten mit Schwierigkeiten behaftet: Bei Kammerversuchen verbietet es sich aus ethischer Sicht, Probanden sehr hohen Konzentrationen auszusetzen oder empfindliche Menschen zu exponieren. Speziell bei den UFP ist es zudem technisch schwierig, eine exakte Partikelanzahlkonzentration in der Kammer einzustellen.

Bei Versuchen in der natürlichen Umwelt ist es generell schwierig, gesundheitliche Effekte nur auf UFP zurückzuführen. Werden gesundheitliche Effekte zum Beispiel nach

dem Aufenthalt im Straßenverkehr untersucht, ist es problematisch, die Effekte der UFP von anderen Schadstoffen abzugrenzen oder auch die Effekte einzelnen Staubfraktionen zuzuordnen (HEI 2013; Baldauf et al. 2016).

Zwar ist der Straßenverkehr eine bedeutende, jedoch nicht die einzige Quelle für UFP in der Außenluft. Auch der Flugverkehr trägt durch das Starten und Landen von Flugzeugen bekanntermaßen deutlich zu den Konzentrationen von UFP in der Nähe von Flughäfen bei (Hudda et al. 2014). Eine Pilotstudie in Los Angeles ergab, dass Spaziergänge in der Windfahne des Flughafens bei erwachsenen Personen mit Asthma zu signifikant erhöhten Entzündungsparametern führten. Die Lungenfunktion hingegen blieb unbeeinträchtigt (Habre et al. 2018). Die Erkenntnisse aus epidemiologischen Studien, die in anderen Settings, etwa dem Straßenverkehr, durchgeführt wurden, können jedoch nicht direkt auf den Flugverkehr übertragen werden, da die aus Triebwerken ausgestoßenen Partikel möglicherweise eine andere Zusammensetzung als die in Städten gemessenen Partikel und damit eine andere Toxizität und somit gesundheitliche Wirkung aufweisen. Eine abschließende Beurteilung ist somit bislang nicht möglich.

SCHWIERIGKEITEN BEI DER ABLEITUNG VON GRENZ- ODER RICHTWERTEN

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es weder einen Richt- noch einen Grenzwert für UFP. Dies liegt vor allem daran, dass zum Zeitpunkt der Entwicklung und der letzten Aktualisierung der Luftqualitätsrichtlinien (engl. Air Quality Guidelines) seitens der Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2005 nur wenige Studien identifiziert werden konnten, die erste Hinweise zu Kurzzeiteffekten liefern (WHO 2006). Die Evidenz, also die wissenschaftliche Gewissheit, für einen Zusammenhang zwischen UFP-Exposition und gesundheitlichen Auswirkungen

gen aus umweltepidemiologischen Studien hat demnach nicht in ausreichendem Maße vorgelegen, um quantitative Aussagen über Richtwerte zum Schutz der Gesundheit vornehmen zu können. Insbesondere für potenzielle Langzeitwirkungen konnten zum damaligen Zeitpunkt keine umweltepidemiologischen Langzeit-Beobachtungsstudien identifiziert werden. Derzeit befinden sich die Luftqualitätsrichtlinien der WHO in einem Aktualisierungsprozess. Dabei wird erneut überprüft, ob nach derzeitigem Stand der Wissenschaft Empfehlungen für die Regulierung der UFP zum Schutz der Gesundheit ausgesprochen werden können.

Erst nach der Festlegung solcher Richtwerte mit Empfehlungscharakter seitens der WHO kann eine EU-weite Abstimmung zur Einführung von möglichen Grenzwerten angestoßen werden. Derzeit bestehen für die Außenluft EU-weit geltende Grenzwerte für die Feinstaubpartikel der Größenordnungen PM_{10} und $PM_{2,5}$. Hierbei sind die EU-Grenzwerte weniger streng formuliert als die Empfehlungen der WHO. Für den Innenraum bestehen generell keine Grenzwerte für Feinstaub oder andere Luftschadstoffe, weil der Innenraum gesetzlich als Privatsphäre klassifiziert ist. Beim Feinstaub wurde lediglich für die Feinstaubfraktion ($PM_{2,5}$) ein Leitwert vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte festgelegt ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als 24-Stunden Mittelwert; AIR 2018).

Bei der Betrachtung von negativen gesundheitlichen Wirkungen auf den Menschen wurde bei Feinstäuben in den letzten Jahrzehnten ein starker Fokus auf die Erforschung der Wirkung von Feinstäuben der Fraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ gelegt. Die Entwicklung und Standardisierung der Messverfahren führte weltweit zu einer verbesserten Abdeckung mit Messstationen. UFP befinden sich im Vergleich dazu noch nicht so lange im Fokus der umweltepidemiologischen Forschung zur Gesundheit. Deshalb sind sowohl die Daten zur Immission als auch zur Exposition der Bevölkerung gegenüber UFP nicht in ausreichender Menge und standardisierter Qualität vorhanden. Dies

führt dazu, dass die für umweltepidemiologische Studien notwendigen Informationen zur Belastung gegenüber Ultrafeinstaub nur begrenzt vorliegen. Dies wiederum erschwert die Ableitung von Grenzwerten.

Umgekehrt führen fehlende Grenzwerte dazu, dass nur wenige Expositionsdaten routinemäßig erhoben werden. Derzeit würde es sich daher anbieten, bei einer Überarbeitung der EU-Luftqualitätsrichtlinie zunächst eine Monitoringverpflichtung für Partikelanzahlkonzentrationen festzulegen. Durch gesetzliche Vorgaben sollte sich zum einen die Datengrundlage wesentlich verbessern, außerdem würde dies zum anderen auch Aktivitäten im Bereich der Standardisierung der Messungen vorantreiben.

AKTUELLE ENTWICKLUNG

Die Anzahl und Qualität umweltepidemiologischer Untersuchungen zu den gesundheitlichen Effekten der UFP nimmt in den letzten Jahren stetig zu. Einige Übersichtsarbeiten haben den Wissensstand der letzten Jahre zusammengefasst (Rückerl 2011; Salomon 2012; HEI 2013).

Im Rahmen eines Sachverständigengutachtens für das Umweltbundesamt hat das Universitätsklinikum Düsseldorf unter der Leitung von Prof. Barbara Hoffmann eine systematische Literaturübersichtsarbeit durchgeführt (UBA 2018). In diesem Gutachten wird der aktuelle Stand der Erkenntnisse zu den gesundheitlichen Auswirkungen von UFP erfasst und die Qualität der identifizierten Studien bewertet. Im Fokus standen dabei ausschließlich epidemiologische Beobachtungsstudien. Toxikologische Untersuchungen wurden nicht berücksichtigt.

Durch die systematische Literaturrecherche wurden 85 relevante Studien ermittelt, von denen 75 Kurzzeiteffekte und 10 Langzeiteffekte betrachteten. Als problematisch stellte sich jedoch heraus, dass nur in einer der Langzeitstudien in den verwendeten Modellen für die Effekte andere Schadstoffe adjustiert wurden. In einer der

Langzeitstudien wurden Effekte auf die Mortalität untersucht, in vier Studien war die Morbidität der betrachtete Endpunkt und die restlichen fünf Studien fokussierten subklinische Endpunkte.

Das Gutachten schlussfolgert, dass trotz der Tatsache, dass seit der letzten Übersichtsarbeit des Health Effects Institutes viele Studien veröffentlicht und damit zahlreiche Hinweise auf Zusammenhänge zwischen einer UFP-Exposition und gesundheitlichen Effekten geliefert worden sind, die Studienlage immer noch keine konsistente Aussage über gesundheitliche Effekte von UFP erlaubt. Zudem gibt es derzeit nicht ausreichend Studien, welche die für die Berechnung notwendigen Modelle für weitere Luftschadstoffe wie Stickstoffdioxid (NO₂) oder größere Feinstaubpartikel (PM₁₀, PM_{2,5}) anpassen, wodurch der eigenständige Effekt der UFP über- oder unterschätzt werden kann. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass immer noch nicht-standardisierte Messtechnik zur Bestimmung der UFP-Exposition eingesetzt wird, was eine direkte Vergleichbarkeit der Studien unmöglich macht. Die Autorinnen und Autoren weisen auch darauf hin, dass mehr umwelt-epidemiologische Langzeitstudien unter Einsatz moderner sowie standardisierter Messmethoden benötigt werden.

FAZIT

Saubere Luft ist eine zentrale Voraussetzung für ein gesundes Leben. Je genauer und verlässlicher Messgeräte und Messtechnik werden, desto besser können wir die Luft auf die darin enthaltenen Schadstoffe untersuchen. UFP sind besonders kleine Partikel, die aufgrund ihrer geringen Größe leicht inhalierbar sind und natürliche Abwehrmechanismen des Körpers übergehen können. Zu den Risikofaktoren gehören die an den Oberflächen kleiner Rußpartikel anhaftenden Toxine, die durch das relativ große Oberfläche/Masse-Verhältnis der UFP besonders wirksam werden. Da die Messtechnik der

UFP erst in den letzten Jahren zunehmend standardisiert wurde, gibt es erst seit relativ kurzer Zeit belastbare Studienergebnisse. Informationen zur chemischen Zusammensetzung der UFP, die eine Voraussetzung zur besseren Ermittlung von Gesundheitseffekten wären, sind bislang kaum vorhanden. Insgesamt gibt es nur wenige umweltmedizinische beziehungsweise umwelt-epidemiologische Studien, welche die gesundheitlichen Effekte von UFP in ausreichendem Maß untersucht haben, weil entsprechende Studien logistisch und planerisch aufwendig sind. UFP treten nahezu immer gemeinsam mit anderen Luftschadstoffen auf, und eine statistische Trennung der entsprechenden Wirkungen hängt kritisch von der Qualität und vom Umfang der zugrundeliegenden Daten ab. Diese Aspekte führen zu den bestehenden Unsicherheiten und erschweren daher die Bewertung der gesundheitlichen Wirkung von UFP. Zur besseren Beurteilung der gesundheitlichen Wirkung insbesondere auch mit Hinblick auf die Ableitung von Grenz- und Richtwerten wären weitere umwelt-epidemiologische Langzeitstudien, die ein großes Spektrum an Luftschadstoffen und deren Wechselwirkungen berücksichtigen, notwendig. Mithilfe dieser könnte die langfristige, gegebenenfalls eigenständige Wirkung von UFP dargelegt werden und würde so eine Regulierung ermöglichen.

Die derzeitige Studienlage lässt dies aufgrund der uneinheitlichen Ergebnisse jedoch nicht zu. Das Umweltbundesamt wird die hier dargelegten Informationen als „Antworten auf häufig gestellte Fragen“ (FAQs) auf seiner Webseite www.umweltbundesamt.de veröffentlichen. Diese Inhalte werden aktualisiert, sobald neue Erkenntnisse zu Messungen beziehungsweise den Gesundheitswirkungen der UFP vorliegen. ●

LITERATUR

- AIR – Ausschuss für Innenraumrichtwerte (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe) (2018): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheitskommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc> (Zugriff am: 01.09.2018).
- Asbach C, Alexander C, Clavaguera S et al. (2017): Review of measurement techniques and methods for assessing personal exposure to airborne nanomaterials in workplaces. *Science of the Total Environment* 603/604: 793–806.
- Baldauf RW, Devlin RB, Gehr P et al. (2016): Ultrafine particle metrics and research considerations: review of the 2015 UFP Workshop. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13: 1054.
- Birmili W, Kolossa-Gehring M, Valtanen K et al. (2018): Schadstoffe im Innenraum – aktuelle Handlungsfelder. *Bundesgesundheitsblatt* 61: 656–666.
- Birmili W, Weinhold K, Rasch F et al. (2016): Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN). *Earth System Science Data* 8: 355–382.
- Birmili W, Sun J, Weinhold K et al. (2015): Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) - Part III: Black Carbon mass and particle number concentrations 2009–2014. *Gefahrstoffe Reinhaltung Luft* 75(11/12): 479–488.
- Burtscher H (2005): Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. *Journal of Aerosol Science* 36(7): 896–932.
- DIN (2006): DIN EN ISO 14644-3: Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche, Teil 3.
- EU – European Commission (2011): Recommendation on the definition of a nanomaterial (2011/696/EU). http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/definition_en.htm (Zugriff am: 01.09.2018).
- Größ J, Hamed A, Sonntag A et al. (2018): Atmospheric new particle formation at the research station Melpitz, Germany: connection with gaseous precursors and meteorological parameters. *Atmospheric Chemistry Physics* 18: 1835–1861.
- Habre R, Zhou H, Eckel SP et al. (2018): Short-term effects of airport-associated ultrafine particle exposure on lung function and inflammation in adults with asthma. *Environment International* 118: 48–59.
- HEI – Health Effects Institute (2013): Understanding the health effects of ambient ultrafine particles. HEI Perspectives 3, Health Effects Institute, Boston, Massachusetts, USA.
- Hudda N, Gould T, Hartin K et al. (2014): Emissions from an international airport increase particle number concentrations 4-fold at 10 km downwind. *Environmental Science and Technology* 48: 6628e6635.
- ISO (2015): ISO/TS 80004-1: Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core terms.
- ISO (2007): ISO/TR 27628: Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment.
- Kumar P, Morawska L, Birmili W et al. (2014): Ultrafine particles in cities. *Environment International* 66: 1–10.
- Löschau G, Hausmann A, Wolf U et al. (2017): Umweltzone Leipzig – Abschlussbericht. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/29757> (Zugriff am: 01.09.2018).
- Ma N, Birmili W (2015): Estimating the contribution of photochemical particle formation to ultrafine particle number averages in an urban atmosphere. *Science of the Total Environment* 512: 154–166.
- Rückerl R, Schneider A, Breitner S et al. (2011): Health Effects of Particulate Air Pollution – A Review of Epidemiological Evidence. *Inhalation Toxicology* 23(10): 555–592.
- Schmid O, Stoeger T (2016): Surface area is the biologically most effective dose metric for acute nanoparticle toxicity in the lung. *Journal of Aerosol Science* 99: 133–143.
- Solomon PA (2012): An Overview of Ultrafine Particles in Ambient Air. *Journal of the Air and Waste Management Association*, Pittsburgh, PA, May 2012: 18–27.
- Traboulsi H, Guerrina N, Lu M et al. (2017): Inhaled pollutants: The molecular scene behind respiratory and systemic diseases associated with ultrafine particulate matter. *International Journal of Molecular Sciences* 18: 243.
- TROPOS – Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (2018): The German Ultrafine Aerosol Network (GUAN). Partners, scientific co-operation, publications, measurement data, measurement sites, instrumentation. Leipzig. <http://wiki.tropos.de/index.php/GUAN> und <https://doi.org/10.5072/guan> (Zugriff jeweils am: 01.09.2018).
- UBA – Umweltbundesamt (2018): Health effects of ultrafine particles: systematic literature search and the potential transferability of the results to the German setting. *Umwelt und Gesundheit* 05. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/health-effects-of-ultrafine-particles> (Zugriff am: 11.10.2018).
- US EPA – United States Environmental Protection Agency (2004): Air Quality Criteria for Particulate Matter (Final Report), Vol. 1, Washington, DC, EPA 600/P-99/002aF-bF. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=87903> (Zugriff am: 01.09.2018).

VDI (2012): VDI Richtlinie 3867 Blatt 3: Messen von Partikeln in der Außenluft - Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und Anzahlgrößenverteilung von Aerosolen –Elektrisches Mobilitätsspektrometer.

VDI (2009): VDI Richtlinie 3867 Blatt 1: Messen von Partikeln in der Außenluft. Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und Anzahlgrößenverteilung von Aerosolen – Grundlagen.

VDI (2008): VDI Richtlinie 3867 Blatt 2: Messen von Partikeln in der Außenluft. Charakterisierung von Prüfaerosolen - Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und Anzahlgrößenverteilung - Kondensationspartikelzähler (CPC).

Wiedensohler A, Wiesner A, Weinhold K et al. (2018): Mobility particle size spectrometers: Calibration procedures and measurement uncertainties. *Aerosol Science and Technology* 52: 146–164.

WHO (2000): Air quality guidelines for Europe. Second Edition. World Health Organization – Regional Office for Europe, Copenhagen. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide> (Zugriff am: 01.09.2018).

KONTAKT

Dr. Wolfram Birmili
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.3 "Innenraumhygiene, gesundheitsbezogene Umweltbelastungen"
Corrensplatz 1
14195 Berlin
Email: wolfram.birmili[at]uba.de

[UBA]

Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung

Analysis of heat health-related indicators in view of the national adaption strategy to climate change

ZUSAMMENFASSUNG

Wärmeextreme sind eine der größten Herausforderungen hinsichtlich gesundheitlicher Folgen des Klimawandels. In dieser Studie werden anhand der Kenngröße „Heißer Tag“ (Tagesmaximumtemperatur $\geq 30\text{ °C}$) und „Tropennacht“ (Tagesminimumtemperatur $\geq 20\text{ °C}$) räumliche Unterschiede in Deutschland für den Beobachtungszeitraum 2001 bis 2015 am Beispiel von verschiedenen stadtnahen und innerstädtischen Messstationen ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Belastung durch Hitze regional und lokal sehr unterschiedlich ist, mit teils ausgeprägten Gradienten zwischen Nord- und Süddeutschland sowie Innenstadt und Stadtrand. Ein hoher Anteil dieser gesundheitsbezogenen Hitze-Indikatortage tritt in mehrtägigen Perioden auf, die im Durchschnitt etwa drei Tage lang anhalten, in Extremsommern aber auch deutlich länger andauern können.

ALEXANDER KRUG,
HANS-GUIDO MÜCKE

ABSTRACT

Extreme temperatures are the main challenge of health-related consequences in view to climate change. This study examines spatial differences in counts of "hot days" (daily maximum air temperature $\geq 30\text{ °C}$) and "tropical nights" (daily minimum air temperature $\geq 20\text{ °C}$) in Germany between 2001 and 2015 between measurement sites within different cities. Results reveal a gradient between North and South, and from the centre to suburbs. Most of these days persist over periods of three days on average, but occurring much longer in duration during extreme summers.

EINLEITUNG

Seit Beginn der Wetteraufzeichnungen Ende des 19. Jahrhunderts wurden in Deutschland sieben der zehn wärmsten Jahre im Zeitraum zwischen 2000 und 2017 beobachtet. Im Rekordjahr 2014 betrug die mittlere Lufttemperatur $10,3\text{ °C}$, im darauffolgenden Jahr $9,9\text{ °C}$. Damit ist das Jahr 2015 gemeinsam mit den Jahren 2000 und 2007 das zweitwärmste je gemessene Jahr der vergangenen 130 Jahre (DWD 2016). Auch wenn das Klimasystem sehr variabel ist und auf warme Jahre immer wieder kühlere folgen, bestätigt die Entwicklung einen langjährigen Trend steigender Lufttemperatur. Retrospektive Studien, wie

zum Beispiel Schönwiese et al. (2004) oder Schönwiese und Janoschitz (2008), zeigen für Deutschland einen mittleren Temperaturanstieg von 1 °C innerhalb des letzten Jahrhunderts. Darüber hinaus wurde nachgewiesen, dass nicht nur das mittlere Temperaturniveau zunimmt, sondern auch Wärmeextreme in jüngerer Vergangenheit häufiger auftreten (Fischer, Schär 2009; IPCC 2013). Es gibt bereits belastbare Hinweise darauf, dass sich die maximale Lufttemperatur in Deutschland in Richtung extremer Hitze verschieben wird (Deutschländer, Mächel 2017), wie die Trendentwicklung der klimatologischen Kenngröße „Heißer Tag“ (definiert als Tag mit einem Lufttemperatur-Maximum



FOTO
©Tom Wang / Fotolia.

von mindestens 30 °C) für den Zeitraum 1951 bis 2017 in **ABBILDUNG 1** zeigt (UBA 2018).

Das Auftreten und die Ausprägung extremer Hitze kann jedoch regional sehr verschieden sein, was insbesondere von der geographischen Lage, der Topografie des Geländes, der Art der Landnutzung und der Siedlungsform beeinflusst wird (Kuttler 2009). So konnten einerseits in der jüngeren Vergangenheit Hitzeereignisse vermehrt in den südwestlichen, aber auch in den östlichen Regionen Deutschlands beobachtet werden (DWD 2018). Dies zeigt **ABBILDUNG 2** für den Sommer 2015 anhand der beiden Indikatoren „Heißer Tag“ und „Tropennacht“. Andererseits sind Städte von besonderer Bedeutung.

Fenner et al. (2015) untersuchten stadtklimatologische Unterschiede am Beispiel Berlins und konnten zeigen, dass in dicht bebauter Umgebung thermische Belastungssituationen um den Faktor 3 häufiger auftreten können im Vergleich zu Freiflächen. Aufgrund der Bausubstanz, dem erhöhten

Versiegelungs- und dem reduzierten Vegetationsanteil sowie einer verminderten Durchlüftung kühlt sich die Lufttemperatur nachts in Städten schlechter ab als im Umland. Daher kann die nächtliche Minimaltemperatur innerhalb einer dicht bebauten Stadt bis zu 10 K höher sein als im unbebauten Umland (Oke 1973; Fenner et al. 2014). Die Kombination aus witterungsbedingter Hitze und dem Phänomen der „Urbanen Wärmeinsel“ ist die Ursache für eine verstärkte wärmebelastende Wirkung auf die Gesundheit der in der Stadt lebenden Bevölkerung.

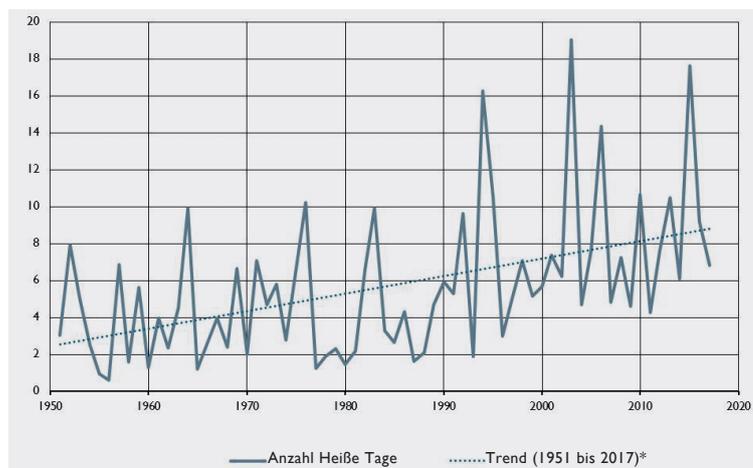
In den vergangenen Jahren gewann der Themenaspekt der gesundheitlichen Folgen des Klimawandels und insbesondere der thermischen Belastung in verschiedenen Fachdisziplinen immer mehr an Bedeutung. Vor allem an der Schnittstelle zwischen Klimageographie und Epidemiologie weisen Studien ein erhöhtes Mortalitätsrisiko aufgrund hoher Lufttemperatur nach (Heudorf, Mayer 2005; Koppe, Jendritzky 2014;

Gasparrini et al. 2015). Aber nicht nur die erhöhte Zahl von Sterbefällen ist mit extremer Hitzebelastung assoziiert. Auch weitere Gesundheitsindikatoren verdeutlichen die besondere Belastungssituation während Hitzeereignissen, wie zum Beispiel eine nachweislich erhöhte Anzahl von Rettungsdiensteinsätzen (Bassil et al. 2009; Steul et al. 2018) oder vermehrte Krankenhauseinweisungen (Scherber et al. 2014). Darüber hinaus muss davon ausgegangen werden, dass Hitzeereignisse mit weiteren gesundheitlich beeinträchtigenden Umweltbelastungen korrelieren können (Mücke, Matzarakis 2017). Dazu gehören zum Beispiel eine erhöhte Exposition gegenüber UV-Strahlung und Luftschadstoffkonzentrationen, allen voran bodennahes Ozon (Burkart et al. 2013; Augustin et al. 2017) oder auch die Zunahme natürlicher Aerosole, wie zum Beispiel Pollen (WHO 2013; Augustin et al. 2017).

Der vorliegende Beitrag knüpft zum einen an die oben genannte stadtklimatologische „Berlin-Auswertung“ von Fenner et al. (2015) mit der Erweiterung für die Jahre 2011 bis 2015 an. Zum anderen werden regionale Unterschiede innerhalb Deutschlands anhand ausgewählter Messstellen von vier Großstädten beispielhaft im Hinblick auf Temperaturextreme, nämlich die klimatologischen Kenngrößen „Heißer Tag“ und „Tropennacht“ für den Zeitraum 2001 bis 2015 ausgewertet. Diese wurden innerhalb der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) als hitzebedingte Indikatoren aufgenommen und dienen als Orientierung für die gesundheitliche Belastung der Bevölkerung gegenüber der Exposition durch Hitze.

UNTERSUCHUNGSGEBIETE UND METHODEN

Für diese Studie wurden Temperaturmessungen der Städte Hamburg, Berlin, Frankfurt am Main und München des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Diese wurden um zwei Messstellen aus dem



* lineare Regressionsgerade über alle dargestellten Indikator-Werte

Stadtgebiet von Berlin ergänzt, welche vom Fachgebiet Klimatologie der Technischen Universität Berlin betrieben werden. Der untersuchende Zeitraum umfasst die Jahre 2001 bis 2015. **ABBILDUNG 3** zeigt die Lokalisation der beschriebenen Messstellen in Deutschland beziehungsweise in Berlin.

Das Klima Deutschlands insgesamt wird als warm-gemäßigt, feucht mit warmen Sommern klassifiziert (Klasse „Cfb“ nach Köppen und Geiger, s. Rubel, Kottek 2010).

Hamburg ist durch die Nähe zum Meer in Wintern milder und in Sommern kühler als die übrigen Landesteile Deutschlands. Die Fläche beträgt 755 km² mit einer Einwohnerzahl von 1,83 Millionen (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2016). Die Messstation „Hamburg-Fuhlsbüttel“ (53,63° N; 9,99° O) befindet sich auf dem Gelände des Flughafens Hamburg am nördlichen Stadtrand 11 Meter über Meeresspiegelniveau.

Berlin (52,52°N; 13,40°O) besitzt eine Fläche von etwa 891 km² und eine Einwohnerzahl von rund 3,61 Millionen (Stand Dezember 2015; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2016). Umgeben ist die Stadt vom größtenteils flachländlich geprägten Bundesland Brandenburg. Die Geländehöhe beträgt zwischen 35 und 56 Metern über Meeresspiegelniveau. Um eine Vergleich-

ABBILDUNG 1
Anzahl heißer Tage mit einem Maximum der Lufttemperatur von mindestens 30°C („Heißer Tag“) im Flächenmittel für Deutschland.
Quelle: UBA 2018.

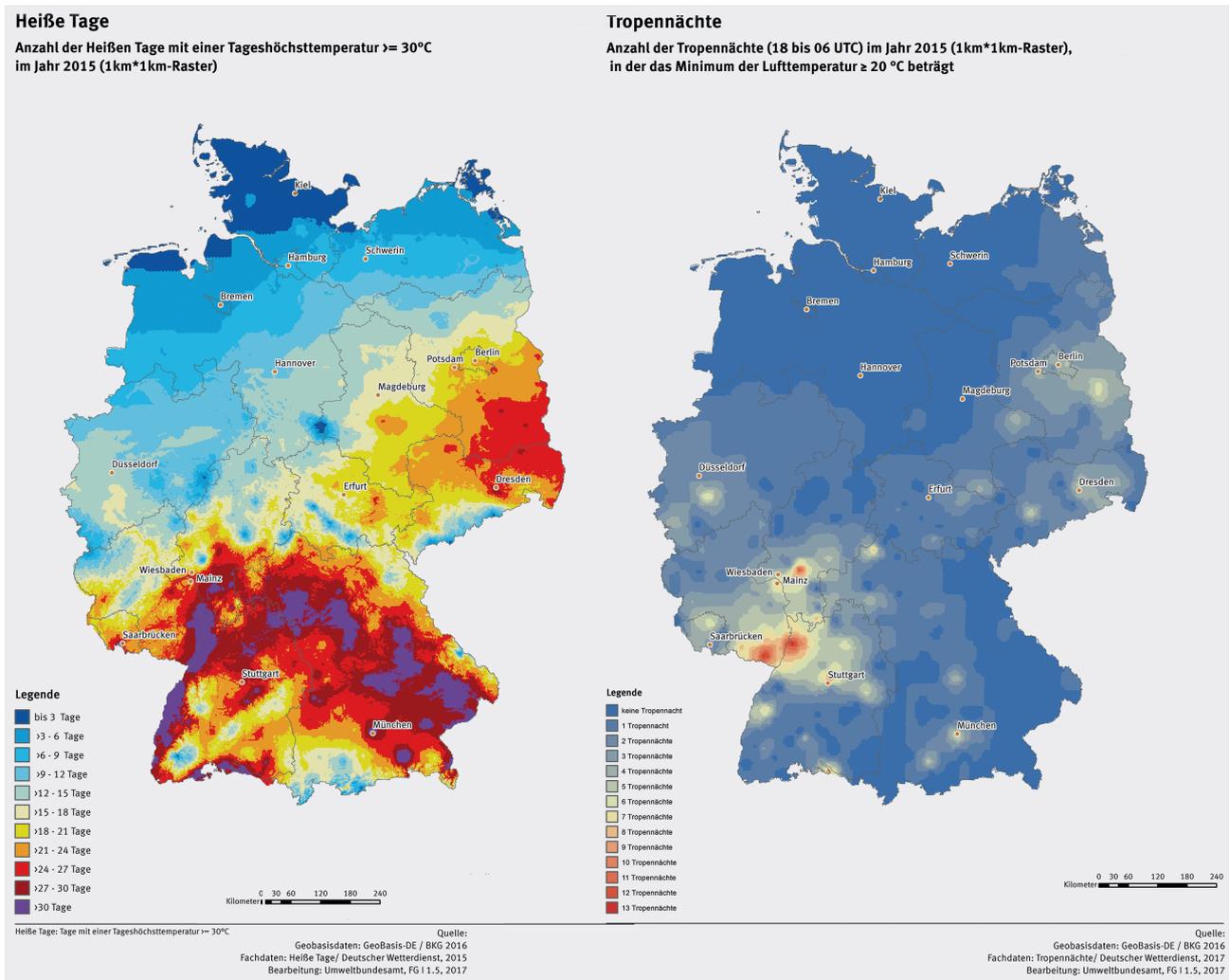


ABBILDUNG 2
Summe der Kenntage „Heißer Tag“ (links) und „Tropennacht“ (rechts) in Deutschland im Jahr 2015 (UBA 2017).

barkeit zu gewährleisten, werden für Berlin dieselben Messstationen herangezogen wie in dem Beitrag von Fenner et al. (2015). Eine detaillierte Standortbeschreibung kann dem Artikel entnommen werden und soll hier nur kurz zusammengefasst dargestellt werden.

Die Station „Berlin-Tempelhof“ ($52,47^{\circ}\text{N}$; $13,40^{\circ}\text{O}$) befindet sich auf einem stillgelegten Flughafengelände innerhalb des zentralen Stadtgebietes. Die Station „Berlin-Tegel“ ($52,57^{\circ}\text{N}$; $13,31^{\circ}\text{O}$) liegt auf dem Gelände des namensgleichen Flughafens im nordwestlichen Teil der Stadt. Beide Stationen besitzen weitestgehend Offenlandcharakter und werden vom DWD betrieben. Die Station „Dahlemer Feld“ befindet sich auf einer mit Gras bewachsenen Freifläche inmit-

ten des Grunewalds südwestlich der Stadt ($52,48^{\circ}\text{N}$; $13,23^{\circ}\text{O}$). Die Station „Dessauer Straße“ ($52,50^{\circ}\text{N}$; $13,38^{\circ}\text{O}$) befindet sich an einer nach Osten ausgerichteten Hausfassade einer Straßenschlucht in einem dicht bebauten Viertel östlich des Potsdamer Platzes. Diese beiden Messstationen sind Teil des Stadtklimaobservatoriums des Fachgebiets Klimatologie der Technischen Universität Berlin.

Frankfurt/Main umfasst eine Fläche von 248 km^2 mit einer Einwohnerzahl von 0,72 Millionen (Stand 2015; Stadt Frankfurt am Main 2016) und liegt am nördlichen Rand der Oberrheinischen Tiefebene, welche zu den wärmsten Regionen Deutschlands zählt. Die Messstation Frankfurt/Main-Westend

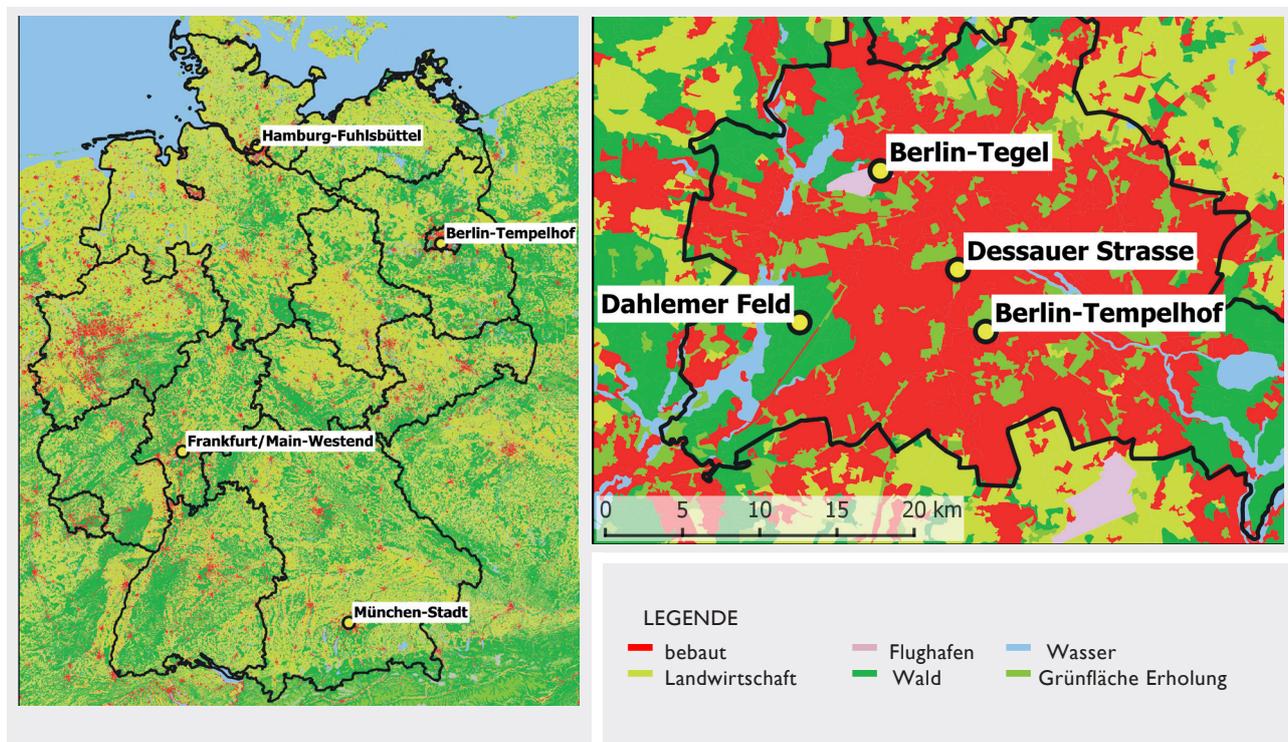
(50,13°N; 8,67°O) befindet sich etwa zwei Kilometer nördlich des Stadtzentrums auf dem Gelände der Universität. In der näheren Umgebung befindet sich größtenteils dichte Bebauung. Der Campus selbst ist reich an Grünflächen und vereinzelt Bäumen. Die Geländehöhe beträgt 124 Meter. Im Jahr 2008 wurde die Station innerhalb des Stadtviertels versetzt.

In **München** leben 1,45 Millionen Einwohner auf einer Fläche von 311 km². Klimatisch liegt München an der Grenze zwischen warm-gemäßigt maritimem Klima und feucht-warmem Kontinentalklima. Die Messstation „München-Stadt“ (48,16°N; 11,54°O) befindet sich etwa zwei Kilometer nordwestlich des Stadtzentrums auf dem ehemaligen Olympiagelände mit hohem Vegetationsanteil. Südlich grenzt ein dicht bebautes Wohngebiet an.

Untersuchungen zu Wärmeextremen berücksichtigen in der Regel die Häufigkeit von Überschreitungen definierter Werte. Veränderungen im Hinblick auf den Klimawandel lassen sich mit Hilfe der klimatologischen Kenntage „Heißer Tag“ (HT) und

„Tropennacht“ (TN) sehr gut identifizieren und verfolgen. Ein „Heißer Tag“ definiert einen Kalendertag, an dem die maximale Temperatur der Luft in Bodennähe (T_{max}) mindestens 30°C beträgt. In einer Tropennacht sinkt die Lufttemperatur nicht unter 20°C. **ABBILDUNG 2** zeigt für diese beiden gesundheitsbezogenen DAS-Indikatoren eine räumliche Analyse für das Bundesgebiet für die in Gesamtsumme aufgetretenen jeweiligen Anzahltage während des letzten „Hitze-Sommers“ 2015. Ergänzend hierzu ist auch die Ermittlung von Kombinationen dieser beiden Kenngrößen von speziellem Interesse. Aus gesundheitlicher Sicht ist dies besonders wichtig, da neben der Hitzebelastung tagsüber eine darauf folgende, besonders warme Nacht keine ausreichende Erholung gewährleistet (Buguet 2007; Joshi et al. 2016). Darum wird nachfolgend zusätzlich untersucht, wie viele Tage sich zu einer Episode zusammensetzen, an denen die beiden Indikator-Kennstage unmittelbar aufeinanderfolgend auftreten.

ABBILDUNG 3
Standorte der Messstationen in Deutschland (links) und in Berlin (rechts) und Darstellung der Landbedeckung. Kartengrundlage: Corine Land Cover 2012 (EEA 2017).



		FRANKFURT/MAIN- WESTEND	MÜNCHEN- STADT	HAMBURG- FUHLSBÜTTEL	BERLIN- TEMPELHOF
2001-2015	Heiße Tage / HT (Tage/Jahr) (Tmax ≥ 30 °C)	16,3	13,7	4,9	12,5
	Tropennächte / TN (Tage/Jahr) (Tmin ≥ 20 °C)	4,2	1,5	0,2	1,9
1961-1990	Heiße Tage / HT (Tage/Jahr) (Tmax ≥ 30 °C)	-	4,8	2,5	6,8
	Tropennächte / TN (Tage/Jahr) (Tmin ≥ 20 °C)	-	0,5	0,1	1,0

Obere Zeilen: Analysezeitraum 2001 bis 2015. Untere Zeilen: Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Für die Messstation Frankfurt/Main-Westend liegen Temperaturen erst ab 1985 vor.

TABELLE I

Durchschnittliche
Anzahl der klimatologi-
schen Kenntage pro Jahr
an vier ausgewählten
DWD-Messstationen.

ERGEBNISSE

STÄDTEVERGLEICH

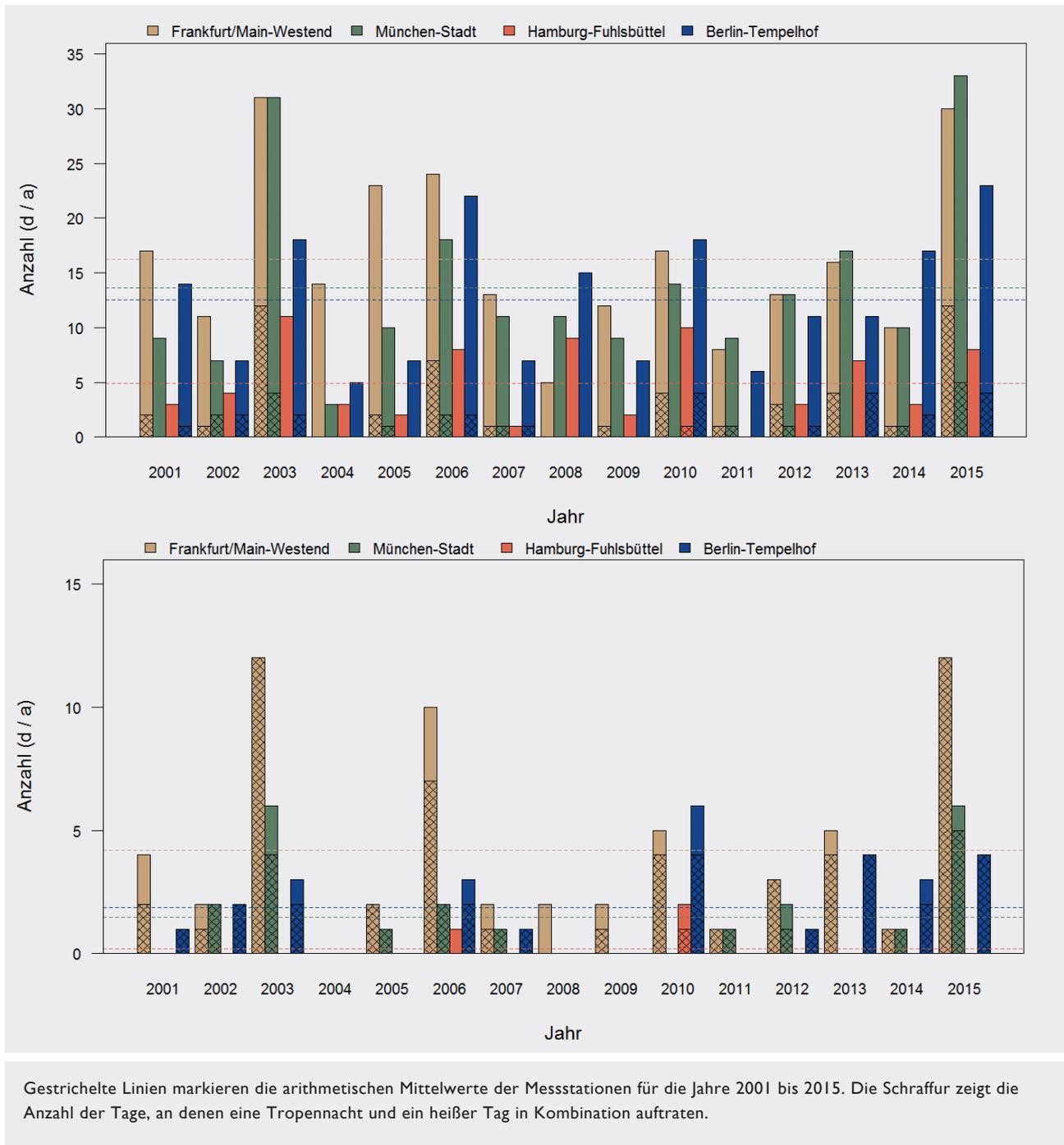
TABELLE I zeigt die mittlere Häufigkeit des Auftretens von "Heißer Tag" (HT) und "Tropischer Nacht" (TN) an vier DWD-Messstationen in Hamburg, Berlin, Frankfurt/Main und München. An der Station Frankfurt/Main-Westend traten für die Jahre 2001 bis 2015 im Mittel mit über 16 HT pro Jahr diese am häufigsten auf. München-Stadt folgt mit 13,7 und Berlin-Tempelhof mit 12,5 Tagen. HT sind an der Station in Frankfurt/Main-Westend mehr als dreimal häufiger als in Hamburg-Fuhlsbüttel, wo im Mittel mit etwa fünf Tagen pro Jahr die geringste Anzahl registriert wurde. Im Vergleich zu der derzeit noch gültigen letzten Klimanormalperiode (1961 bis 1990) traten in Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 2001 bis 2015 HT doppelt so häufig auf. Ein ähnliches Resultat zeigt sich auch für die Station Berlin-Tempelhof. Wurden in der Klimanormalperiode noch im Mittel 6,8 HT pro Jahr registriert, sind es zwischen 2001 und 2015 mit durchschnittlich 12,5 ebenso fast doppelt so viele.

Im Vergleich zu HT sind TN an allen vier Beispielstationen deutlich seltener. Auch hier wurden an der Station Frankfurt/

Main-Westend im Mittel die häufigsten TN der vier Standorte beobachtet. Deutlich seltener kommen TN in Hamburg mit nur 0,2 im Mittel der 15 Jahre vor, das heißt, dass sie in der 15-Jahresperiode insgesamt nur dreimal registriert wurden.

Betrachtet man die Summen HT der einzelnen Jahre (ABBILDUNG 4A) zeigt sich, dass die Anzahl zwischen den Jahren und auch zwischen den gewählten Stationen stark schwankt. Mit Ausnahme von Hamburg-Fuhlsbüttel im Jahr 2011 wurden in jedem Jahr und an jeder Station HT beobachtet. In der Gesamtbetrachtung erreichen die Messstationen in Frankfurt und München vergleichsweise die höchste Anzahl mit zum Teil mehr als 30 HT pro Jahr, das heißt ein Drittel aller Tage der Sommermonate Juni, Juli und August. Dies ist in den Jahren 2003 und 2015 der Fall gewesen. Im Hitzesommer 2003 wurden auch in Berlin überdurchschnittlich viele HT registriert, wohingegen deren Anzahl in den Sommern 2006 und 2010 vergleichbar mit 2003 war. Insgesamt zeigt der Sommer 2015 eine ähnliche Ausprägung wie der des Jahres 2003, sodass auch das Jahr 2015 durch einen überdurchschnittlichen Hitzesommer charakterisiert ist.

Dieses Ergebnis lässt sich auch in den jährlichen Summen von TN beobachten (ABBILDUNG 4B). Vergleicht man diese mit



den Summen der HT, wird deutlich, dass in den Jahren mit einer hohen Anzahl HT auch die Zahl der TN überdurchschnittlich ist. Besonders deutlich ist dies an der Station Frankfurt/Main-Westend erkennbar, welche mit Ausnahme der Jahre 2010 und 2014 von allen Stationen die meisten TN aufweist.

Aus dem Vergleich der beiden **ABBILDUNGEN 4A UND 4B** wird deutlich, dass HT etwa dreimal häufiger auftreten als TN. Aus gesundheitlicher Sicht von besonderer Bedeutung sind Kombinationsereignisse, das heißt wenn beide Indikator-Kenngrößen an einem Kalendertag beziehungsweise an mehreren

ABBILDUNG 4
Anzahl „Heißer Tage“ (A, oben) und „Tropennächte“ (B, unten) im Vergleich von vier Messstationen 2001–2015 in Deutschland.

Kalendertagen aufeinander folgen, da durch eine mangelnde beziehungsweise fehlende nächtliche Erholung die thermophysiologische Belastung zunimmt und somit das Risiko für gesundheitliche Effekte steigt. In den **ABBILDUNGEN 4A UND 4B** sind diese Ereignisse als Schraffur gekennzeichnet. Die Analyse weist darauf hin, dass häufig TN in Kombination mit einem am selben Kalendertag auftretenden HT stehen, das heißt, dass in den meisten Fällen auf eine TN auch ein HT folgt.

INNENSTÄDTISCHE UNTERSCHIEDE AM BEISPIEL BERLIN

Die Auswertung von Fenner et al. (2015) für die Jahre 2001 bis 2010 hat gezeigt, dass die innerstädtischen Stationsunterschiede bei der Anzahl HT innerhalb eines Jahres gering sind. Schwankungen existieren jedoch von Jahr zu Jahr. Die Erweiterung dieser Auswertung um die Jahre 2011 bis 2015 (**ABBILDUNG 5A**) verdeutlicht, dass im Sommer 2015 in Berlin an über 20 Tagen die maximale Lufttemperatur über 30 °C lag. Die Ergebnisse sind mit jenen des Sommers 2003 vergleichbar.

Anders als an HT werden innerstädtische Temperaturunterschiede besonders nachts deutlich, wie **ABBILDUNG 5B** anhand des kleinräumig unterschiedlich häufigen Auftretens in Berlin zeigt. An der Station „Dessauer Straße“, in einem dicht bebauten Stadtviertel, werden TN im Vergleich zu innerstädtischen Freiflächen (Tempelhofer Feld, Tegel) insgesamt etwa dreimal so häufig beobachtet. An der Umlandstation „Dahlemer Feld“ wurde dagegen keine TN registriert. Dies verdeutlicht, dass es vor allem in dicht bebauten Stadtgebieten nachts zu thermophysiologisch ungünstigen Bedingungen für die Bevölkerung kommen kann.

HITZEEREIGNISSE

Oft ist das Auftreten von extremer Hitze jedoch kein singuläres Kurzzeitereignis von einem Tag, sondern kann über mehrere

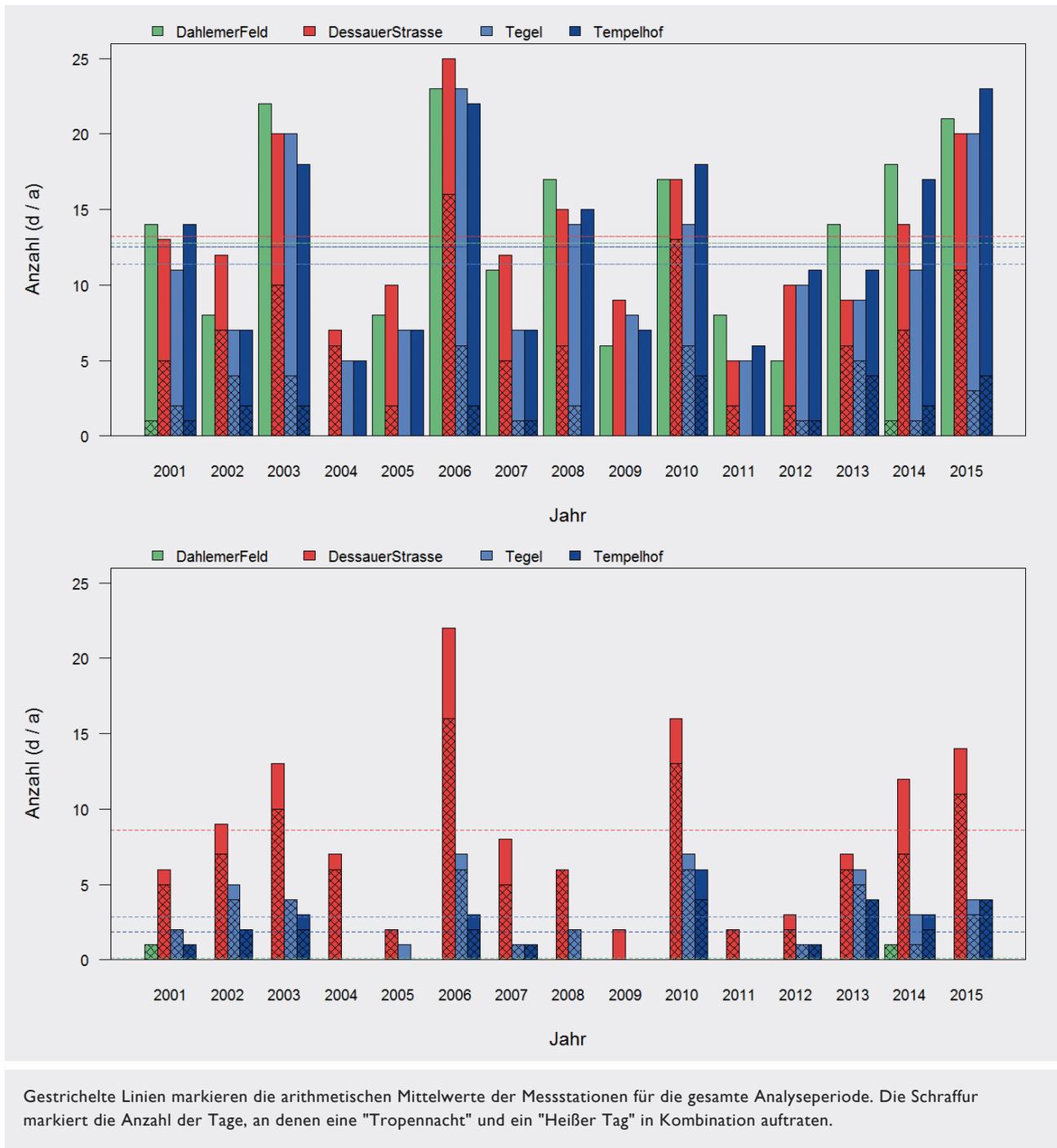
Tage, im Extremfall gar Wochen anhalten. **TABELLE 2** zeigt die Auswertung von mehrtägigen Hitzeereignissen für die oben genannten Messstationen der vier Städte Hamburg, Berlin, Frankfurt/Main und München, an denen HT und/oder TN unmittelbar, das heißt ohne Unterbrechung, aufeinander folgen. Dabei zeigt sich, dass an der Messstation Frankfurt/Main-Westend während des betrachteten Zeitraumes (2001 bis 2015) die häufigsten mehrtägigen Ereignisse auftraten (n=64), viermal häufiger als in Hamburg-Fuhlsbüttel (n=16). Die mittlere Dauer solcher Ereignisse beträgt in Hamburg und Berlin etwa drei Tage, an den beiden anderen Messstationen 3,5 Tage. Die jeweils längste zusammenhängende Hitzeperiode wurde im Sommer 2003 in Frankfurt mit einer Dauer von insgesamt 14 Tagen, in München mit 13 Tagen und in Hamburg mit sechs Tagen registriert. Im Vergleich dazu war der Sommer 2003 in Berlin weniger heiß.

Auch die Sommer der Jahre 2006, 2010 und 2015 hatten Perioden extremer Hitze. In diesen Jahren sind einzelne sommerliche Hitzeereignisse nicht nur zahlreicher aufgetreten, sondern waren im Vergleich zu anderen Jahren auch durchschnittlich länger.

DISKUSSION UND AUSBLICK

Die vorliegende Auswertung zeigt, dass extreme Hitzeereignisse in verschiedenen Großstädten Deutschlands unterschiedlich häufig und lang auftreten. Es konnte gezeigt werden, dass die zur gesundheitlichen Orientierung herangezogenen klimatologischen Kenntage „Heißer Tag“ (HT) und „Tropennacht“ (TN) in dem Untersuchungszeitraum 2001 bis 2015 in Frankfurt/Main und München häufiger beobachtet wurden, als in Hamburg und Berlin. Dies lässt sich durch ihre geographische Lage, die Topographie und durch die regionale Klimazonendifferenzierung erklären.

Ogleich das Vorkommen und die Anzahl HT zwischen den vier betrachteten Städten



sehr unterschiedlich ist, zeigt die spezielle Auswertung für Berlin zwei interessante stadtklimatologische Besonderheiten: Einerseits treten HT über die ganze Stadt verteilt und innerhalb eines Jahres an allen Messstellen (in der Innenstadt und am Stadtrand) ähnlich häufig auf. Andererseits zeigt

die Auswertung für die TN einen ausgeprägten Innenstadt-Umland-Gradienten. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass tagsüber auftretende Hitze vor allem von überregionalen Gegebenheiten abhängig und witterungsbedingt ist, wohingegen das Auftreten von TN besonders von den innerstädtischen Bedin-

ABBILDUNG 5
Anzahl "Heiße Tage" (A, oben) und "Tropennächte" (B, unten) im Vergleich von vier Messstationen in Berlin für den Zeitraum 2001 bis 2015.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2001-2015	
Frankfurt/Main-Westend	Anzahl	5	4	6	3	8	4	3	3	5	2	3	6	2	6	64	
	Ø Dauer	3,6	3	4,3	4	2,6	5,5	3	2	2,5	3,4	2	3,3	2,7	3,5	4,2	3,3
	max. Dauer	9	4	14	8	4	12	4	2	3	7	2	4	3	4	8	14
München-Stadt	Anzahl	2	1	6	0	3	5	3	2	2	3	1	4	4	2	5	43
	Ø Dauer	2	4	4,2	/	2,3	2,8	2,7	2,5	2	3,3	6	2,5	4	3,5	6,2	3,4
	max. Dauer	2	4	13	/	3	4	4	3	2	6	6	4	7	4	12	13
Hamburg-Fuhlsbüttel	Anzahl	0	1	2	1	0	3	0	2	0	3	0	0	1	1	2	16
	Ø Dauer	/	2	4	3	/	2,3	/	3	/	3	/	/	4	2	3	2,9
	max. Dauer	/	2	6	3	/	3	/	4	/	5	/	4	4	2	4	6
Berlin-Tempelhof	Anzahl	4	2	5	1	2	4	1	4	0	2	3	3	5	5	6	47
	Ø Dauer	2,5	3	3	3	2	4,8	3	3,3	/	3,8	2	2,3	3	3,4	3	3
	max. Dauer	3	4	4	3	2	11	3	5	/	9	2	3	5	5	4	11

Die Angaben in den Zeilen beschreiben die Anzahl der Hitzeereignisse für vier Stationen in Deutschland (Anzahl), die mittlere Dauer in Tagen bezogen auf ein Jahr (Ø-Dauer) sowie die Andauer des längsten Ereignisses eines Jahres in Tagen (max. Dauer). Die letzte Spalte bezieht sich hinsichtlich der Anzahl, durchschnittlicher Dauer und maximaler Dauer auf den Gesamtzeitraum 2001–2015.

TABELLE 2
Hitzeereignisse des
Zeitraums 2001 bis 2015
auf Basis der in Folge
auftretenden Kennziffern
"Heißer Tag" sowie
"Tropennacht" (mindes-
tens 2 Kalendertage).

gungen, wie zum Beispiel Versiegelungsgrad, Architektur und Baukörperstrukturen und -material geprägt ist, die als Wärmespeicher Ursache des Wärmeinseleffekts sind und damit das Stadtklima nachhaltig beeinflussen.

Die gesundheitliche Relevanz von Hitze hängt nicht nur davon ab, ob ein als „Schwelle“ gesetzter Lufttemperaturwert erreicht beziehungsweise überschritten wurde, sondern vor allem über welchen Zeitraum extreme Hitze andauert, wie es zum Beispiel der Hitzesommer 2003 zeigte. Die Auswertung von Perioden mit Tagen extremer Hitzebelastung zwischen 2001 und 2015 zeigt, dass anhaltende Ereignisse mehrerer, aufeinanderfolgender HT und/oder TN im Vergleich zwischen den vier Großstädten mit Abstand am häufigsten in Frankfurt/Main vorkommen. Demgegenüber konnte aber auch gezeigt werden, dass diese Perioden vergleichsweise mit einer ähnlichen Dauer von durchschnittlich etwa 3 bis 3,5 Tagen anhalten können. Der Sommer 2015 kann im Vergleich zum Jahr 2003 vor allem für Mittel- und Süddeutschland ebenfalls als extremer Hitzesommer charakterisiert werden. So wurden in Frankfurt/Main und München überdurchschnittlich häufig HT und TN sowie Hitzeereignisse von außergewöhnlich langer Dauer beobachtet (in Frankfurt einen Tag und in München ca. drei Tage über dem Durchschnitt).

Die zur Orientierung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung ausgewählten Hitze-bezogenen Indikatoren HT und TN wurden für die langfristige Beobachtung von Klimawandelfolgen im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) ausgewählt und in den DAS-Monitoringbericht 2015 aufgenommen (UBA 2016). Das Auftreten der beiden klimatologischen Kenngrößen ist über das Erreichen beziehungsweise Überschreiten der jeweiligen Lufttemperaturwerte definiert (HT: Maximumtemperatur ≥ 30 °C; TN: Minimumtemperatur ≥ 20 °C). Die Kriterien für diese beiden Kenngrößen sind mit anderen Studien, die die gesundheitliche Belastung von Hitze untersuchten, vergleichsweise hoch

angesetzte „Schwellenwerte“. Einige Studien konnten gesundheitsrelevante Effekte schon bei Temperaturwerten nachweisen, die teilweise deutlich unter diesen lagen (Fenner et al. 2015; Gasparrini et al. 2015). Ein städteübergreifendes Monitoring temperaturassoziierter Gesundheitseffekte könnte zukünftig genauere Aufschlüsse darüber geben, ob gegebenenfalls ein Richtwert der Lufttemperatur als „Schwelle“ abgeleitet werden kann, um vor den thermisch-bedingten Gesundheitseffekten durch Hitze zu warnen und zu schützen.

Aus gesundheitlicher Sicht stellt Hitze nicht nur in dem auftretenden Einzelereignis von HT und/oder TN eine Belastung dar, sondern darüber hinaus besonders im kombinierten Vorkommen beider Kenngrößen sowie in über mehrere Tage anhaltenden Hitzeereignissen. In diesem Zusammenhang weisen Zacharias und Koppe (2015) oder auch Fenner et al. (2015) auf eine erhöhte Mortalität für Ereignisse von mindestens drei Tagen Andauer nach. Aber auch hitzeassoziierte Erkrankungen nehmen während länger anhaltender Hitzeperioden deutlich zu, wie Steul et al. (2018) beispielhaft für die Hitzeperiode des Sommers 2015 in Frankfurt/Main zeigen konnten. Die Studie analysierte Krankenhauseinweisungen per Rettungseinsatz und zeigte unter anderem, dass die Zahl der gesamten Krankenhausaufnahmen während einer fünftägigen Hitzeperiode Anfang Juli 2015 etwa 25 Prozent höher lag, als für diesen Zeitraum zu erwarten war.

Die Erkenntnisse aus den Hitze-bezogenen Gesundheitsstudien und die eigenen Ergebnisse belegen und unterstreichen zum einen, dass zukünftig auch das Vorkommen und die Entwicklung mehrtägig anhaltender Hitzeereignisse als weiterer gesundheitsbezogener DAS-Indikator erfasst und berücksichtigt werden sollte. Zum anderen sollten auf der Basis dieser Ergebnisse zeitnah Anpassungsmaßnahmen in praxisorientierte Handlungen zum vorbeugenden Gesundheitsschutz für die Bevölkerung vor extremer Hitzebelastung überführt werden. Hierfür sind abgestimmte, koordinierte Hitzeaktionspläne auf regionaler oder lokaler

Ebene notwendig und geeignet, um die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels, insbesondere von Hitze, effizient zu kommunizieren und darüber hinaus ein an die Situation angepasstes Risikoverhalten in der Bevölkerung zu erreichen und präventive Handlungsmöglichkeiten zu etablieren. Entsprechende Hitzeaktionspläne wurden in Europa, zum Beispiel in Frankreich, der Schweiz und den Niederlanden, bereits vor mehreren Jahren erfolgreich etabliert. Aktionspläne zur Hitzeprävention gibt es bislang in Deutschland jedoch noch nicht. Daher wurden zunächst in einem ersten Schritt „Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit“ für Deutschland erarbeitet und 2017 publiziert (Straff, Mücke 2017). Sie bieten den Rahmen und die Möglichkeit für einen verbesserten Schutz der öffentlichen Gesundheit vor thermischen Belastungen ausgelöst durch extreme Hitzeereignisse. Es ist zu wünschen, dass die darin beschriebenen kurz-, mittel- und langfristigen Anpassungsmaßnahmen als bald in die konkrete, praktische Umsetzung gelangen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass in Deutschland zukünftig mit häufiger auftretenden, intensiveren und länger andauernden Hitzeereignissen zu rechnen ist (Zacharias, Koppe 2015).

LITERATUR

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2016): Statistischer Bericht, Einwohnerinnen und Einwohner im Land Berlin am 31. Dezember 2015. Grunddaten, abgeleitet vom Melderegister.
- Augustin J, Sauerborn R, Burkart K et al. (2017): Gesundheit. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland, Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum. Berlin Heidelberg: 137–149.
- Bassil KL, Cole DC, Moineddin R et al. (2009): Temporal and spatial variation of heat-related illness using 911 medical dispatch data. *Environmental Research* 109 (5): 600–606. DOI: 10.1016/j.envres.2009.03.011.
- Buguet A (2007): Sleep under extreme environments: Effects of heat and cold exposure, altitude, hyperbaric pressure and microgravity in space. *Journal of the Neurological Science* 262 (1–2): 145–152. DOI: 10.1016/j.jns.2007.06.040.
- Burkart K, Canário P, Breitner S et al. (2013): Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon. *Environmental pollution* 183: 54–63. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.06.002.
- Deuschländer T, Mächel H (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland, Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum. Berlin Heidelberg: 47–56.
- DWD – Deutscher Wetterdienst(2018): Deutscher Klimaatlas. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html (Zugriff am: 11.07.2018).
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2016): Klimastatusbericht 2015. ISSN 1437–7691.
- EEA (2017): Corine Land Cover 2012. Ver. v.18.5.1. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012> (Zugriff am: 11.07.2018).
- Fenner D, Mücke HG, Scherer D (2015): Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. *UMID – Umwelt und Mensch Informationsdienst* 1: 30–38.
- Fenner D, Meier F, Scherer D et al. (2014): Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001–2010. *Urban Climate* 10 (2): 308–331. DOI: 10.1016/j.uclim.2014.02.004.
- Fischer EM, Schär C (2009): Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes. *Climate Dynamics* 33 (7–8): 917–935. DOI: 10.1007/s00382-008-0473-8.
- Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M et al. (2015): Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet* 386 (9991): 369–375. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0.
- Heudorf U, Meyer C (2005): Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze - Am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt am Main im August 2003. *Gesundheitswesen* 67 (5): 369–374. DOI: 10.1055/s-2004-813924.
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker TF, Qin D, Plattner GK et al. (eds.): Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Joshi SS, Lesser TJ, Olsen JW et al. (2016): The importance of temperature and thermoregulation for optimal human sleep. *Energy and Buildings* 131: 153–157. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.09.020.
- Koppe C, Jendritzky G (2014): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. In Lozán JL, Grassl H, Karbe L et al. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektronische Veröffentlichung, Kap. 3.1.9 http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2014/03/koppe_jendritzky.pdf (Zugriff am: 11.07.2018).
- Kuttler, W (2009): *Klimatologie*. 2. Auflage. Grundriss Allgemeine Geographie. Schöningh UTB.
- Mücke HG, Matzarakis A (2017): Klimawandel und Gesundheit. In: Wichmann, Schlipkötter, Füllgraß (Hrsg.): *Handbuch der Umweltmedizin*. Kapitel VIII 1.10: 1–38.
- Oke TR (1973): City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7 (8): 769–779.
- Rubel F, Kotteck M (2010): Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift* 19 (2): 135–141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.
- Scherber K, Langner M, Endlicher W (2014): Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin taking bioclimatic and socio-economic aspects into account. *Die Erde* 144 (3–4): 217–237. DOI: 10.12854/erde-144-16.
- Schönwiese CD, Janoschitz R (2008): *Klima-Trendatlas Europa 1901–2000*. Berichte des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main Nr. 4. 2. aktualisierte Auflage.
- Schönwiese CD, Staeger T, Trömel S (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorologische Zeitschrift* 13 (4): 323–327. DOI: 10.1127/0941-2948/2004/0013-0323.
- Stadt Frankfurt am Main (2016): *Statistisches Jahrbuch der Stadt Frankfurt am Main 2016*. Kapitel 2, Bevölkerung. Stadt Frankfurt am Main - Der Magistrat - Bürgeramt, Statistik und Wahlen (Hrsg.): ISSN: 0071–9218.
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2016): *Bevölkerung in Hamburg am 31.12.2015*. Statistische Berichte, Kennziffer: A I/S I – j 15 HH. Bevölkerung in Hamburg. Auszählung aus dem Melderegister.
- Steuil KS, Latasch L, Jung HG et al. (2018): Health Impact of the Heatwave of 2015: Hospital Admissions in Frankfurt/Main, Germany. *Gesundheitswesen* (80): 353–359. DOI: 10.1055/a-0586-8255.
- Straff W, Mücke HG (2017): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60: 662–672. DOI: 10.1007/s00103-017-2554-5.
- UBA – Umweltbundesamt (2018): Internetseite Gesundheitsrisiken durch Hitze, Grafik „Anzahl der Tage mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius (Gebietsmittel)“. Quelle DWD 05/2018. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/5_abb_anzahl-tage-lufttemp-max-30-grad_2018-05-09.pdf (Zugriff am: 11.07.2018).
- UBA – Umweltbundesamt (2017): Internetseite Gesundheitsrisiken durch Hitze, Karten „Heiße Tage 2015“ und „Tropennächte 2015“. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze> (Zugriff am: 11.07.2018).
- UBA – Umweltbundesamt (2016): *Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2015> (Zugriff am: 11.07.2018).
- WHO – World Health Organization (2013): *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*, Technical Report. The World Health Organization Regional Office for Europe.
- Zacharias S, Koppe C (2015): Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland. UBA-Schriftenreihe, *Umwelt & Gesundheit* Heft 6. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/einfluss-des-klimawandels-auf-die-biotropie-des> (Zugriff am: 11.07.2018).

KONTAKT

Alexander Krug
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.5 "Umweltmedizin und
gesundheitliche Bewertung"
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: alexander.krug[at]uba.de

[UBA]

Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen 2014–2017 (GerES V) – Ergebnisse der Zufriedenheitsbefragung

The German Environmental Survey on Children and Adolescents (GerES V) – Results of the participant's satisfaction survey

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen – GerES V 2014–2017 liefert das Umweltbundesamt bundesweit aktuelle Daten zur gesundheitsrelevanten Belastung der 3- bis 17-jährigen Kinder und Jugendlichen durch Umwelteinflüsse. Nach Abschluss jedes Hausbesuchs wurde den Teilnehmenden ein Zufriedenheitsfragebogen ausgehändigt. Die Ergebnisse der Fragebögen sollten Aufschlüsse über die allgemeine Zufriedenheit der Studienteilnehmenden mit der Studienorganisation und den Untersuchungsprogrammen liefern. Weiterhin sollten sie Bereiche aufzeigen, in denen Studienunterlagen und die Studiendurchführung weiter optimiert werden können. Dies ist von Bedeutung für weitere GerES-Erhebungen. Nur mit Studienmaterialien, die verständlich und informativ sind und mit Programmen, die die Teilnehmenden nicht zu sehr belasten und von denen sie selbst einen Gewinn haben, lassen sich hohe Teilnahmeraten und eine große Zufriedenheit mit der Studie erzielen. Das hohe Maß der Zufriedenheit mit der Studie, die Beweggründe zur Teilnahme sowie die Bereitschaft, erneut teilzunehmen, sprechen für ein überzeugendes Konzept von GerES und unterstreichen die wissenschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung der Studie.

JENNIFER
MOLDENHAUER,
GERDA SCHWEDLER,
CHRISTINE SCHULZ,
MARIKE KOLOSSA-
GEHRING FÜR DAS
GERES-STUDIENTEAM

ABSTRACT

With its German Environmental Survey on Children and Adolescents – GerES V 2014-2017 the German Environment Agency (UBA) provides representative data on the exposure to health-related environmental stressors of children and adolescents between 3 and 17 years of age. At the end of the home visit each participant received a satisfaction questionnaire. The questionnaires aimed at collecting information on the general satisfaction of the participants regarding the organization of the study and the examination programmes. Moreover, the satisfaction questionnaires were intended to reveal areas for further improvements of study materials and conduct. This is an important aspect when considering further GerES studies as only comprehensible and informative study materials as well as a study programme with a clear benefit and limited burden for the participants will result in high participation and satisfaction rates.

HINTERGRUND

Mit der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit (GerES = German Environmental Survey) erhebt das Umweltbundesamt (UBA) seit mehr als 30 Jahren in bisher fünf Erhebungszyklen bevölkerungsrepräsentative Daten zur aktuellen Umweltbelastung der

Bevölkerung in Deutschland und zeichnet dabei ein umfassendes Bild der Umweltfaktoren, die bedeutsam für die Gesundheit der Menschen in Deutschland sind (Schulz et al. 2017). Ein bevölkerungsrepräsentatives Human-Biomonitoring (HBM), das heißt die Untersuchung von Körperflüssigkeiten wie Urin oder Blut, ist dabei ein zentrales



FOTO
©yanlev / Fotolia.

Instrument, um die Schadstoffbelastung der Menschen aus allen Quellen (etwa Luft, Nahrung, Verbrauchsgüter, Kosmetika) und durch orale, inhalative und dermale Aufnahme zu ermitteln. Darüber hinaus erhebt GerES valide Daten zu weiteren Einflüssen aus der Umwelt wie beispielsweise zur Belastung der Innenraumluft durch Chemikalien und Feinstaub, zur Chemikalienbelastung des Hausstaubs oder zur Belastung des Trinkwassers.

In den Jahren 2014 bis 2017 wurde die Feldarbeit für den fünften Zyklus der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (GerES V) durchgeführt. Sie widmete sich der repräsentativen Schadstoffbelastung der 3- bis 17-Jährigen in Deutschland und fand in enger Kooperation mit der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS-Welle 2) des Robert Koch-Instituts (RKI) statt. Die GerES-Teilnehmenden

bildeten eine Teilstichprobe der zuvor an KiGGS teilnehmenden Kinder und Jugendlichen, die an 167 Orten in Deutschland das GerES V-Programm durchliefen.

Außerdem wurden alle Familien um die Beantwortung eines Zufriedenheitsfragebogens gebeten, um die Beurteilung des Konzepts, des Programms und der Studiendurchführung durch die Teilnehmenden ermitteln zu können und damit Aufschluss über die Akzeptanz und den Optimierungsbedarf für weitere GerES-Studien gewinnen zu können.

Die Relevanz einer Zufriedenheitsbefragung hatte bereits die KiGGS-Welle 1 des RKI gezeigt, die online durchgeführt wurde. Die fast einjährige Befragung lieferte Ergebnisse über die Zufriedenheit der Zielpersonen mit der Studienorganisation, mit der telefonischen Befragung und über die Bereitschaft, an Folgeerhebungen teilzunehmen. Studienmaterialien wie Einladungsschreiben und Informationsbroschüren wurden

durchweg als gut verständlich und informativ, teilweise als zu umfangreich bewertet. Die Interviewsituation selbst schätzten die KiGGS-Teilnehmenden durchweg als sehr angenehm ein (RKI 2012).

Bei einer weiteren Studie vom RKI, der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1), wurde ebenfalls eine Abfrage der Zufriedenheit in Form einer temporären Zusatzbefragung als Maßnahme zur Erhöhung der Studienbeteiligung eingesetzt. Die Auswertung der Ergebnisse führte zu einer Verbesserung des Terminangebots, der Reduzierung der Interviewdauer und einer Erhöhung der Aufwandsentschädigung (Kamtsiuris et al. 2013: 623).

Auch von GerES V sollen die gewonnenen Ergebnisse der Zufriedenheitsbefragung Erkenntnisse zur Optimierung der Studienprogramme und -materialien sowie der Studiendurchführung liefern. Sie sollen die laufenden Planungen und Vorbereitungen für die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Erwachsenen (GerES VI 2018–2021) unterstützen, indem sie auf Verbesserungsmöglichkeiten hinweisen, um die Akzeptanz von GerES VI und die Teilnahmebereitschaft positiv zu beeinflussen.

DURCHFÜHRUNG

Während ihrer Teilnahme bei KiGGS-Welle 2 wurden die Kinder und Jugendlichen und ihre Familien mit ausführlichen Studienmaterialien über GerES V informiert und um Teilnahme gebeten. Bekundeten die so Angesprochenen ihr Interesse, erhielten das UBA und dessen Auftragnehmer für die Feldarbeit vom RKI die Kontaktdaten und konnten einen Termin für einen Hausbesuch vereinbaren.

Im Laufe der zweieinhalbjährigen Feldzeit von GerES V waren drei erfahrene und geschulte Interviewenden-Teams im Einsatz. Sie besuchten die Familien in ihrem Haushalt, nahmen Proben beziehungsweise holten diese ab, führten die ausgewählten Messungen durch und interviewten die betreffenden

Kinder und Jugendlichen beziehungsweise ihre Eltern oder Erziehungsberechtigten zu den verschiedenen Fragekomplexen. Bei Fragen zur Gesundheit kam ein von den Teilnehmenden selbst auszufüllender Fragebogen zum Einsatz.

Das Standarduntersuchungsprogramm umfasste Morgenurin- und Trinkwasserproben, Schallpegelmessung und Messung des Ultrafeinstaubes im Haushalt. Einige ausgewählte Familien gaben zusätzlich Staubsaugerbeutel für Hausstaubuntersuchungen ab, ließen ihre Innenraumluft auf chemische Luftverunreinigungen untersuchen oder nahmen an der Bestimmung von Feinstaub in der Innenraum- und Außenluft teil.

Zur Erfassung der Zufriedenheit der Teilnehmenden wurde in GerES V ein Selbstausfüllfragebogen in Papierform eingesetzt. Wenn am Ende des Hausbesuchs alle Probenahmen und Messungen erfolgt und die Interviews beendet waren, erhielten die Teilnehmenden den Zufriedenheitsfragebogen zusammen mit einem adressierten und frankierten Rücksendeumschlag mit der Bitte, diesen Fragebogen auszufüllen und zeitnah zurückzusenden. Da die Zufriedenheit anonym erhoben wurde, wurden im Fragebogen keine personenbezogenen Daten und keine Identifikationsnummern verwendet. Somit konnte auch keine Erinnerung an eine Rücksendung erfolgen.

Der Zufriedenheitsfragebogen enthielt die Themen allgemeine Zufriedenheit mit dem durchgeführten Studienprogramm, Verständlichkeit der Studienmaterialien, Beurteilung des Gesamtumfangs der Studie, Bewertung des Hausbesuchs, Bewertung der einzelnen Untersuchungen und Messungen, die Angemessenheit der Aufwandsentschädigung von 20 Euro und Alternativvorschläge sowie die Gründe für die Studienteilnahme und eine erneute Teilnahmebereitschaft an einer GerES-Erhebung.

MIT DEM ZU HAUSE DURCHFÜHRTEN GERES V-PROGRAMM WAREN		
vollkommen / sehr zufrieden	zufrieden	weniger zufrieden / unzufrieden
		
90,4%	9,1%	0,5%

TABELLE 1
Zufriedenheit mit dem zu Hause durchgeführten GerES V-Programm.

BEFRAGUNGSERGEBNISSE UND DISKUSSION

Insgesamt nahmen 2.392 Kinder und Jugendliche mit ihren Familien an GerES V teil. Es konnten 2.388 Zufriedenheitsfragebögen am Ende des Hausbesuchs ausgehändigt werden. Im Ganzen wurden 1.344 zurückgesandte Fragebögen zur Auswertung genutzt, was einer Rücklaufquote von 56,3 Prozent entspricht. Insgesamt äußerten sich die Teilnehmenden, die den Zufriedenheitsfragebogen beantworteten, sehr positiv zu den einzelnen Dimensionen von GerES V.

ALLGEMEINE ZUFRIEDENHEIT MIT STUDIENPROGRAMM, UNTERLAGEN UND ORGANISATION

Mit dem zu Hause durchgeführten Studienprogramm waren 90,4 Prozent vollkommen beziehungsweise sehr zufrieden und 9,1 Prozent zufrieden. Lediglich 0,5 Prozent waren weniger zufrieden beziehungsweise unzufrieden (TABELLE 1).

Ähnlich verhielt es sich mit den eingesetzten Studienmaterialien. Diese fanden je nach Studienmaterial 92,9 bis 95 Prozent verständlich beziehungsweise ziemlich verständlich und höchstens 0,5 Prozent wenig verständlich (TABELLE 2). Die Organisation des Hausbesuchs war ebenfalls zufriedenstellend. 92,1 Prozent waren mit der Kontaktaufnahme und Terminvereinbarung vollkommen beziehungsweise sehr zufrieden, nur 1,0 Prozent gaben an, weniger zufrieden zu sein (TABELLE 2). Die Terminwünsche konnten bei 99,0 Prozent berücksichtigt werden.

BEWERTUNG DES HAUSBESUCHS

Insgesamt konnte eine hohe Zustimmung zu den Aussagen zur Durchführung des Hausbesuchs erhalten werden. Wie **ABBILDUNG 1** zeigt, wurden die Interviewenden des Auftragnehmers Kantar Health, die den Hausbesuch durchführten, als freundlich und aufmerksam wahrgenommen. Bedürfnisse wurden berücksichtigt, die Atmosphäre war angenehm und der Hausbesuch konnte ohne Störung durchgeführt werden.

DAUER DES UNTERSUCHUNGSPROGRAMMS

Die Dauer des gesamten Untersuchungsprogramms von GerES V war für 90,3 Prozent genau richtig lang, für 2,4 Prozent zu kurz und für immerhin 7,3 Prozent zu lang. Eine Zeitdauer des Hausbesuchs von ungefähr zweieinhalb Stunden ist jedoch notwendig, um die Probenahmen korrekt durchführen zu können. Außerdem wird auch für Rückfragen und Erklärungen zu den einzelnen Untersuchungsprogrammen genügend Zeit benötigt. Eine Kürzung der Dauer des Hausbesuchs ließe sich nur durch eine Kürzung des Studienumfangs erzielen.

ZUFRIEDENHEIT MIT EINZELNEN UNTERSUCHUNGSPROGRAMMEN

Die Bewertung der verschiedenen Untersuchungsprogramme ist in **TABELLE 3** dargestellt.

Die Schallpegelmessung und die Messung ultrafeiner Partikel wurden während des Hausbesuchs parallel zu den weiteren Probenahmen und Befragungen durchgeführt. Beide Messungen ergaben außerdem sofort Ergebnisse, die den teilnehmenden Familien mitgeteilt werden konnten. Demzufolge fanden auch jeweils 99,7 Prozent diese Untersuchungen interessant und nur jeweils 0,3 Prozent fanden sie unangenehm, störend oder belastend.

Die Trinkwasserprobenahme, die Untersuchung zur chemischen Innenraumluftverun-

DIE TEILNEHMENDEN FANDEN DIE AUFGEFÜHRTEN STUDIENUNTERLAGEN			
	sehr / ziemlich verständlich	verständlich	wenig verständlich
Einladungsschreiben	95,0%	4,8%	0,2%
Studieninformation	93,0%	7,0%	0,0%
Einwilligung zur Kontaktaufnahme	92,9%	6,7%	0,4%
	vollkommen / sehr zufrieden	zufrieden	weniger zufrieden
Kontaktaufnahme und Terminvereinbarung	92,1%	6,9%	1,0%

reinigungen und die Hausstaubprobenahme fanden 98,4 Prozent, 97,9 Prozent und 95,6 Prozent interessant. Die Trinkwasserprobenahme war insgesamt für 1,6 Prozent mit einer negativen Aussage belegt, was damit zusammenhängen kann, dass die teilnehmenden Familien über einen Zeitraum von vier Stunden den Wasserhahn in der Küche nicht öffnen durften. Für 2,1 Prozent war die Untersuchung zu chemischen Innenraumluftverunreinigungen unangenehm oder störend, als belastend wurden sie nie empfunden. Grund dafür könnte sein, dass die Passivsammler für eine Woche im Haushalt verblieben und die Abnahme und Zurücksendung durch die teilnehmenden Familien als schwierig empfunden wurde. Die Mitnahme des Staubsaugerbeutels wurde sogar von 4,4 Prozent als unangenehm oder störend empfunden. Da dies jedoch mit wenig Aufwand für die teilnehmenden Familien verbunden war, könnte Hygieneempfinden oder ein Unwohlsein mit einem zu tiefen Blick in das Familienleben die Ursache sein.

Die Morgenurinprobenahme wurden von 88,6 Prozent als einfach, von 5,9 Prozent als schwierig und von insgesamt 5,6 Prozent als unangenehm oder belastend eingestuft. Dies ist zwar von allen Untersuchungsprogrammen das schlechteste Bewertungsergebnis. Bedenkt man jedoch, wie umfangreich die Einschränkungen hierfür waren – am Vorabend Gefäß bereitstellen, morgens nicht vergessen, Gefäß rechtzeitig zu benutzen, beschriften, Probe kühlen – belegen die Ergebnisse jedoch eher eine gute Vorbereitung und vor allem eine bereitwillige Teilnahme.

Bei der untersuchten Altersgruppe der 3- bis 17-Jährigen war dabei eine Bereitschaft sicherlich nicht nur bei den Teilnehmenden selbst sondern auch bei ihren Eltern und Erziehungsberechtigten gegeben.

AUFWANDENTSCHÄDIGUNG

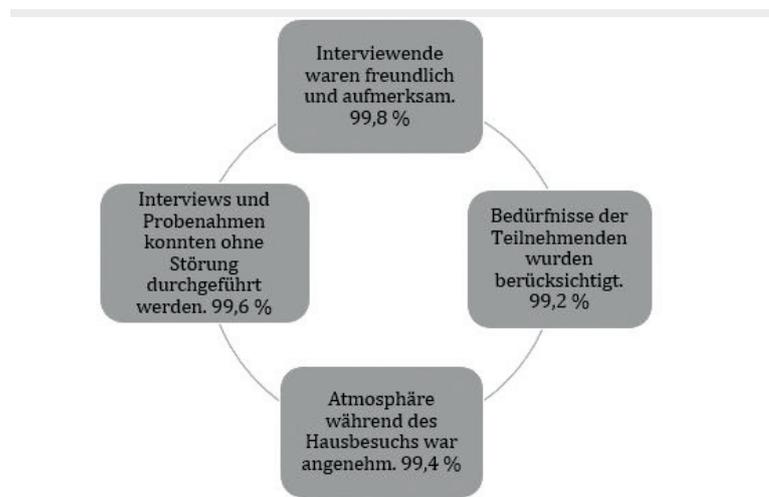
Die Höhe der Aufwandsentschädigung von 20 Euro wurde von 95,5 Prozent als angemessen bewertet. 9,1 Prozent der Teilnehmenden würden ein alternatives Dankeschön bevorzugen, genannt wurden altersgerechte Sachgeschenke, wie Spielsachen oder Bücher, beispielsweise zu Umweltthemen oder Gutscheine.

GRÜNDE ZUR STUDIENANTEILNAHME

Als Gründe, an der Studie teilzunehmen, wurden am häufigsten das Interesse an der

TABELLE 2
 Beurteilung von Studienmaterialien und Organisation des Hausbesuchs.

ABBILDUNG I
 Verschiedene Aussagen zum Hausbesuch. Die Prozentangaben geben den Anteil an, der mit „stimme voll zu“ oder mit „stimme eher zu“ antwortete.



DIE TEILNEHMENDEN FANDEN DIE UNTERSUCHUNGSPROGRAMME				
	interessant	unangenehm	störend	belastend
Schallpegel	99,7%	0,1%	0,1%	0,1%
ultrafeine Partikel	99,7%	0,1%	0,1%	0,1%
Trinkwasser	98,4%	0,4%	1,0%	0,2%
Innenraumluf chem.	97,9%	0,4%	1,7%	0,0%
Hausstaub	95,6%	3,9%	0,5%	0,0%
	einfach	schwierig	unangenehm	belastend
Morgenurinprobe	88,6%	5,9%	5,0%	0,5%

TABELLE 3
Bewertung der einzelnen Untersuchungsprogramme.

Studie und der Erhalt von Studienergebnissen genannt. Eine umfassende Beurteilung der im Haushalt und im Körper gefundenen Schadstoffmesswerte gehört nicht zum normalen Untersuchungsprogramm einer Arztpraxis und ist sehr kostenintensiv. Die gewählten Antworten belegen, dass eine Mitteilung der Untersuchungsergebnisse einen bedeutenden Anreiz zu einer Teilnahme bietet.

Ein weiterer häufiger Teilnahmegrund war der Nutzen für die Wissenschaft, Gesellschaft und Gesundheitspolitik. Diese Angabe zeigt, dass ein erheblicher Anteil der teilnehmenden Familien sehr gerne einen Beitrag zum Wohle der Gesundheit der Bevölkerung leisten möchte. Eine Aufwandsentschädigung wurde selten als Beweggrund genannt. Sie scheint allenfalls als zusätzlicher Anreiz eine Rolle zu spielen. Die Häufigkeiten, mit denen die einzelnen Gründe genannt wurden, sind in **TABELLE 4** zusammengefasst.

BEREITSCHAFT ZUR ERNEUTEN TEILNAHME

Ein weiteres Ergebnis der Zufriedenheitsbefragung war, dass 89,9 Prozent erneut mit ihrem Kind an einer Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit teilnehmen würden, 8,6 Prozent waren indifferent und lediglich 1,5 Prozent lehnten dies ab. Einige Teilnehmende äußerten sogar den Wunsch, alle Untersuchungsprogramme zu durchlaufen. Aus

zeitlichen und finanziellen Gründen wird es jedoch auch in zukünftigen GerES-Studien zu einzelnen Untersuchungen weiterhin nur Unterstichproben geben können.

Dieses Ergebnis zur erneuten Teilnahmebereitschaft spiegelt deutlich die erreichte Akzeptanz der Erhebung wider und unterstreicht ein hohes Vertrauen in die Durchführung von GerES. Das ist wegweisend für die Umsetzung von GerES VI und weiterer GerES-Studien.

FAZIT

Der Zufriedenheitsfragebogen erwies sich als wichtiges Instrument zur Ermittlung der Zufriedenheit der Teilnehmenden in GerES V. Es zeigte sich, dass die Mehrheit der teilnehmenden Familien sehr zufrieden beziehungsweise zufrieden mit der Studie im Allgemeinen war. Die Rücklaufquote verdeutlicht den Bedarf einer Rückkoppelung der Erfahrungen und Bewertungen auch für die teilnehmenden Familien. Positive Bewertungen überwogen bei allen Fragen und Einschätzungen, sodass es bei diesem Fazit bleibt, auch wenn der Anteil, der sich nicht an der Zufriedenheitsbefragung beteiligt hat, deutlich anders antworten würde. Gleichwohl geben die Antworten zu den einzelnen Bereichen wertvolle Hinweise, in welchen einzelnen Bereichen GerES noch Poten-

GRÜNDE	DIESE ANTWORT GABEN AN (Mehrfachnennungen möglich)
Aus Interesse an der Studie	76,4%
Weil man Untersuchungsergebnisse erhält	77,5%
Wegen des Nutzens für Wissenschaft, Gesellschaft, Gesundheitspolitik	57,3%
Weil mein Kind gerne teilnehmen wollte	17,7%
Wegen der Aufwandsentschädigung	8,0%
Aus anderen Gründen	2,1%

zial zur Verbesserung hat. Einige Bereiche wie Morgenurinprobe- und Hausstaubprobenahme sowie die Hausbesuchslänge lassen sich jedoch per se nicht wesentlich anders gestalten. Sie können nur durch noch bessere Aufklärung und Vorbereitung angenehmer wahrgenommen werden.

Die Studienunterlagen wurden durchaus sehr gut verstanden. Die Ergebnismitteilung erwies sich als größter Anreiz zur Studienteilnahme. Aber auch der Nutzen für Wissenschaft und Gesellschaft wurden häufig benannt. Die Aufwandsentschädigung wurde als ausreichend empfunden. Über den Vorschlag zum Beispiel Gutscheine für Bücher oder Spielsachen mit Umweltbezug auszuhändigen kann alternativ nachgedacht werden. Die hohe Bereitschaft einer erneuten Teilnahme unterstreicht das erfolgreiche Studienkonzept von GerES.

AUSBLICK

Die gewonnenen Ergebnisse haben eine hohe Relevanz für die Vorbereitung weiterer GerES-Studien. Eine Aktualisierung und Optimierung des Inhalts des Zufriedenheitsfragebogens für GerES VI sind auf der Grundlage der GerES V-Daten bereits erfolgt. Dabei wird angestrebt, wie das RKI die Zufriedenheitsbefragung ebenfalls online durchzuführen, um von möglichst vielen Teilnehmenden eine Beurteilung zu erhalten. Auch für das in GerES VI geplante

neue Untersuchungsprogramm zur Schimmelbelastung wird eine Zufriedenheitsbewertung von Bedeutung sein.

LITERATUR

Kamtsiuris P, Lange M, Hoffmann R et al. (2013): Die erste Welle der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGSI). Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 56: 620–630. DOI 10.1007/s00103-012-1650-9.

RKI – Robert Koch-Institut (Hrsg.) (2012): Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS Welle 1): Durchführung einer Probanden-Zufriedenheitsbefragung, In: Epidemiologisches Bulletin 14: 121.

Schulz C, Kolossa-Gehring M, Gies A. für die GerES-Studiengruppe (2017): Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen 2014–2017 (GerES V) – das Umweltmodul in KiGGS Welle 2. Journal of Health Monitoring 2 (S3): 47-53. DOI: 10.17886/RKI-GBE-2017-102.

TABELLE 4
Gründe für die Studienteilnahme

KONTAKT

Jennifer Moldenhauer
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.2 „Toxikologie, gesundheitsbezogene Umweltbeobachtung“
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: jennifer.moldenhauer[at]uba.de

[UBA]

RENEB – Das Europäische Netzwerk für biologische und retrospektive physikalische Dosimetrie

RENEB – the European Network for Biological and Retrospective Physical Dosimetry

ZUSAMMENFASSUNG

Im Falle unklarer oder widersprüchlicher Bestrahlungssituationen ermöglicht biologische Dosimetrie oder retrospektive physikalische Dosimetrie oftmals eine nachträgliche individuelle Dosisrekonstruktion, auch wenn keine ionisierende Strahlung mehr direkt gemessen werden kann. Um dies auch im Falle größerer Zwischenfälle zu ermöglichen, haben sich darauf spezialisierte Labore aus verschiedenen europäischen Ländern zusammengeschlossen und das Europäische Netzwerk für biologische und retrospektive physikalische Dosimetrie „RENEB“ aufgebaut. Seit 2016 basiert das Netzwerk auf einem Memorandum of Understanding zwischen 26 Organisationen aus 17 europäischen Ländern. Damit das Netzwerk auch nach der Förderung durch die EU eigenständig bestehen kann, wurde 2017 der Verein RENEB e.V. gegründet. Im Rahmen von RENEB e.V. werden regelmäßige Ringversuche und Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchgeführt sowie die Anbindung des Netzwerks an den nationalen und internationalen Notfallschutz vorangetrieben.

ABSTRACT

Biological dosimetry enables individual dose reconstruction in the case of unclear or inconsistent radiation exposure situations, especially when a direct measurement of ionising radiation is not or is no longer possible. To be prepared for large scale radiological incidents, networking between well trained laboratories has been identified as a useful approach to provide fast and trustworthy dose assessments needed in such circumstances. As a consequence, the European Network for biological and retrospective physical dosimetry "RENEB" was established. In 2016, this European network was based on a Memorandum of Understanding, signed by 26 organisations from 17 European countries. To make the network self-contained and effective, the legal association RENEB e.V. was set up in 2017 as a core structure to perform regular exercises, to care for Quality Assurance and to link the network to the national and international emergency preparedness and response structure.

HINTERGRUND

Arbeitsunfälle, die beim Umgang mit ionisierender Strahlung zu einer unbeabsichtigten oder unkontrollierten erhöhten Strahlenexposition einzelner Personen führen, treten trotz strenger Sicherheitsvorkehrungen immer wieder auf. Ebenso passiert es, dass Personendosimeter nicht getragen werden.

In vielen dieser Fälle bietet die biologische Dosimetrie, also das Abschätzen einer Dosis anhand biologischer Marker im peripheren Blut, die einzige Möglichkeit, eine Strahlenexposition auch im Nachhinein individuell abzuschätzen (IAEA 2002; IAEA 2011; Sasaki et al. 2001; SSK 2008). Auch bei widersprüchlichen Beobachtungen zwischen einer physikalisch gemessenen Dosis auf dem

ULRIKE KULKA¹,
URSULA
OESTREICHER¹,
DAVID
ENDESFELDER¹,
MICHAEL ABEND²,
CHRISTINA BEINKE²,
MATTHIAS PORT²

¹ Bundesamt für Strahlenschutz
² Sanitätsdienst der Bundeswehr, Institut für Radiobiologie in Verbindung mit der Universität Ulm

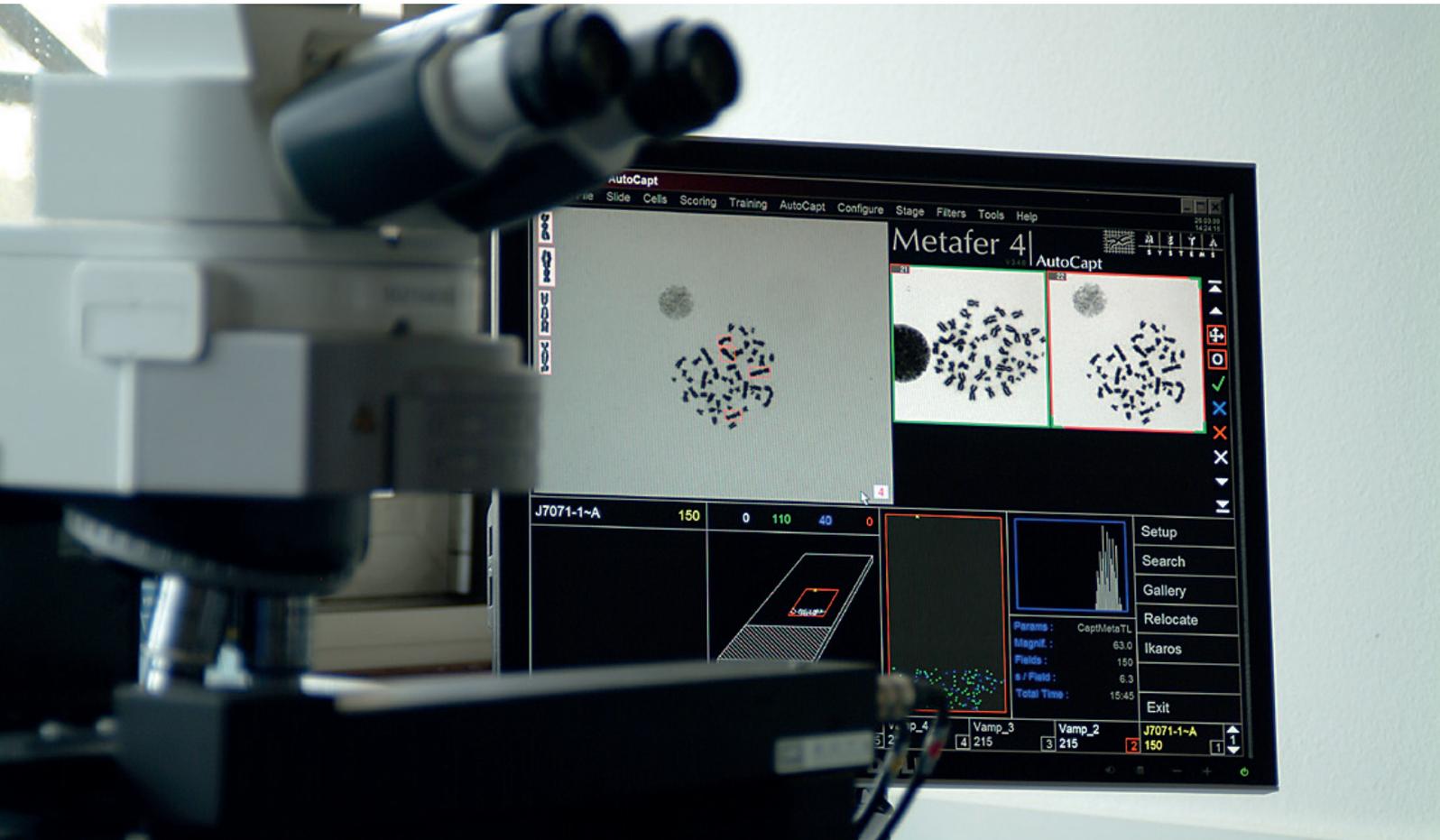


FOTO
Bundesamt für Strahlenschutz.

Personendosimeter und beobachteten oder ausbleibenden klinischen Symptomen (z.B. Hautrötung, Erbrechen, Haarausfall etc.) kann die biologische Dosimetrie zur Klärung beitragen. Dies hilft auch, um psychosomatische Symptome wie zum Beispiel Erbrechen von tatsächlichen akuten Strahlensyndromen abzugrenzen. Viele klinische Marker (Lymphozytenzahl und -kinetik) sind hier aufgrund ihrer Zeitabhängigkeit und individuellen Schwankungen nicht zuverlässig, vor allem da zwischen der vermuteten Bestrahlung und dem Nachweisverfahren oftmals Tage oder sogar Wochen vergangen sind. Die Ergebnisse der biologischen Dosimetrie werden in der Regel sowohl von den betroffenen Personen akzeptiert als auch von Berufsgenossenschaften und der Justiz anerkannt. In vielen Ländern gibt es deshalb ein oder mehrere Labore, die entsprechende

Untersuchungen anbieten (ABBILDUNG 1). In Deutschland ist das Labor für biologische Dosimetrie am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) seit 1982 durch einen Beschluss der Länder für entsprechende Analysen im zivilen Bereich zuständig. Bei der Bundeswehr führt das Institut für Radiobiologie in Verbindung mit der Universität Ulm entsprechende Analysen durch.

HERAUSFORDERUNG DURCH GROSSE NUKLEARE ODER RADIOLOGISCHE VORFÄLLE

Eine gewaltige Herausforderung stellen große nukleare oder radiologische Vorfälle dar. Solche Vorfälle können jederzeit und überall passieren, auch in hoch technologisierten Ländern und ohne jede Vorwarnung.

Auslöser können technische Pannen oder menschliches Versagen sein, aber auch terroristische Anschläge (Coeytaux et al. 2015). Jedes dieser Szenarien kann schwerwiegende Folgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt und Wirtschaft eines Landes haben.

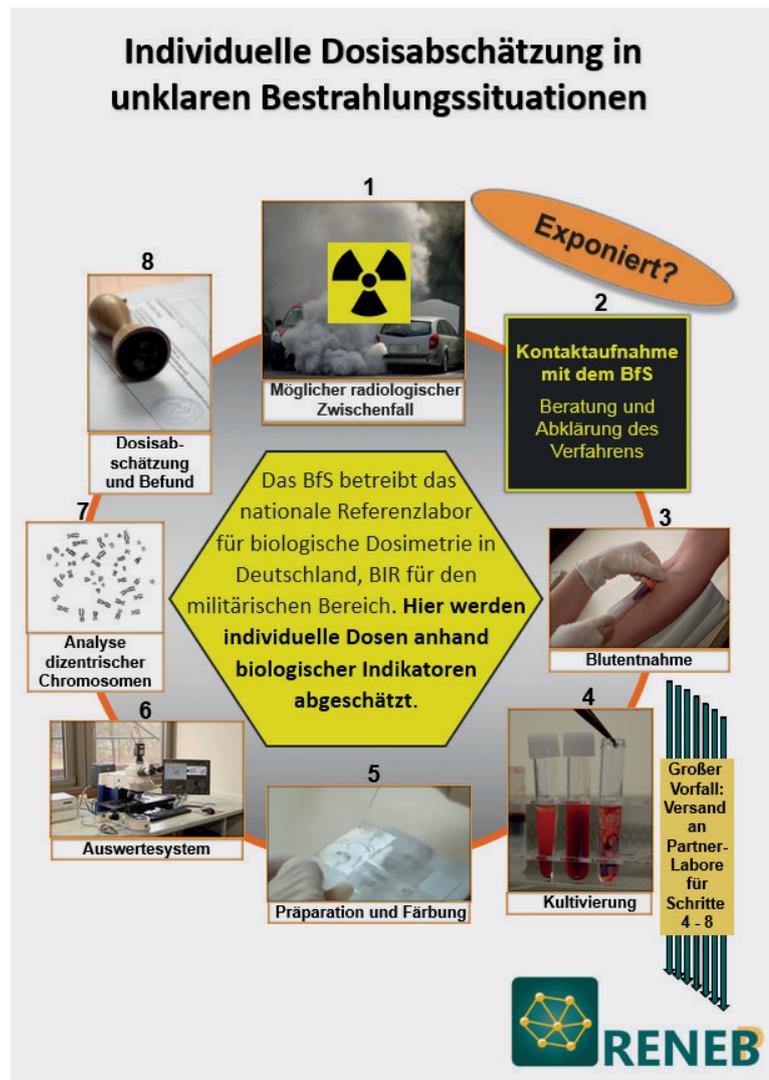
Wie hoch die Sorge der Bürgerinnen und Bürger ist, bei einem Zwischenfall mit ionisierender Strahlung persönlich betroffen zu sein und eine Strahlenexposition erhalten zu haben, zeigen Unfälle auf der ganzen Welt.

Ein Schlüsselereignis war 1986 der Vorfall in Goiania, Brasilien, als hochradioaktives (¹³⁷Cs) gestohlen und in Unkenntnis der Gefahr unter Familienangehörigen und Bekannten verbreitet wurde (IAEA 1988). Die Zahl der tatsächlich exponierten Personen lag bei circa 260 Personen, aber insgesamt 112.800 Personen waren überzeugt davon, „verstrahlt“ worden zu sein und verlangten eine entsprechende Untersuchung. Die Internationale Atomenergie Behörde (IAEA) in Wien kam bereits damals zu dem Schluss, dass Verfahren wie sie in der biologischen Dosimetrie angewendet werden, außerordentlich nützlich für die Abschätzung einer extern erhaltenen Strahlenexposition sind. Zum einen kann damit geklärt werden, ob aufgetretene gesundheitliche Veränderungen tatsächlich durch Strahlung verursacht wurden. Falls ja, gibt die individuell abgeschätzte Dosis bei einer übermäßigen Strahlenexposition wichtige Informationen für die Diagnose und Prognose der betroffenen Person (Sasaki et al. 2001). Da entsprechend qualifizierte Labore in ihrer Kapazität begrenzt sind, war eine weitere Empfehlung der IAEA, die internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet zu intensivieren, um Großereignisse gemeinsam bewältigen zu können. Ein Jahr später, 1987, wurde die Notwendigkeit der Netzwerkbildung durch die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl auf schreckliche Weise bestätigt.

KENNTNIS DER INDIVIDUELL ERHALTENEN STRAHLENDOSIS

Im Falle von großen Strahlenunfällen übersteigen die sozioökonomischen Auswirkungen der nuklearen Vorfälle die tatsächlichen Strahlenschäden bei weitem (Bromet et al. 2011; Collins, de Carvalho 1993). Verursacht wird dies zum großen Teil durch eine große Angst und Unsicherheit in der Bevölkerung hinsichtlich möglicher Strahlenfolgen. Die Kenntnis der individuell erhaltenen Strahlendosis ist deshalb von entscheidender Bedeutung für betroffene Personen. Gerade Vorfälle mit ionisierender Strahlung bedeuten für die

ABBILDUNG 1
 Ablauf der Biologischen Dosimetrie am Beispiel der Analyse dizentrischer Chromosomen.
 Quelle: BfS.



betroffenen Personen eine enorme Stresssituation, und Aussagen über den eigenen Standort und die Dauer des Aufenthaltes sind deshalb häufig subjektiv beeinflusst und unzuverlässig. Ein wesentlicher Aspekt der individuellen Dosimetrie besteht deshalb auch gerade bei großen Ereignissen darin, eine vermeintlich hohe Strahlenexposition individuell ausschließen zu können, und somit „besorgte gesunde“ Personen mit vermeintlichen Strahlensymptomen von tatsächlich exponierten Personen zu unterscheiden. Eine individuelle Dosisabschätzung für möglicherweise exponierte Personen und Ersthelfer, aber auch für äußerst gestresste Personen („worried well“), trägt somit deutlich zur Vertrauensbildung in Krisensituationen bei.

DAS EUROPÄISCHE NETZWERK RENEB

Um auf mögliche große radiologische und nukleare Notfälle in Europa besser vorbereitet zu sein, wurde im Rahmen eines EU-Projektes (EURATOM FP7, GA 295513) von 2012 bis Ende 2015 ein Europäisches Netzwerk für biologische und retrospektiv physikalische Dosimetrie, „RENEB – Realizing the European network of biological and physical retrospective dosimetry“, aufgebaut (Kulka, Wojcik 2017). Das Netzwerk ermöglicht es, die Fachkompetenzen der Partner auf dem Gebiet der biologischen und physikalisch retrospektiven Dosimetrie auf europäischer Ebene zu bündeln und Synergieeffekte sowohl für den Notfallschutz als auch für die Strahlenschutzforschung zu erzielen. Am Ende der Projektlaufzeit basierte das neu aufgebaute Netzwerk auf einem Memorandum of Understanding zwischen 26 Partnerorganisationen aus 17 europäischen Ländern, die sich im Falle eines großen radiologischen Notfalls gegenseitige Hilfeleistung zur Durchführung individueller Dosisabschätzungen zugesichert haben (Lloyd et al. 2017; Kulka et al. 2017).

Abgesehen von der Erhöhung der Auswertekapazität bietet das Netzwerk ein

breites Spektrum an unterschiedlichen biologischen und retrospektiven physikalischen Methoden (Wojcik et al. 2017). Es kann somit im Ernstfall in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation das optimale Verfahren zur Dosisrekonstruktion angewendet werden (ABBILDUNG 2). Die Abschätzung der Dosis erfolgt entweder in biologischem Material, in der Regel in Lymphozyten des zirkulierenden Blutes, oder anhand persönlicher mitgeführter Gegenstände wie Mobiltelefone. Hierbei werden Chipkarten oder das Handy-Glas untersucht (Jaworska et al. 2015; Wojcik et al. 2014; Trompier et al. 2017)

Um eine gleichbleibend hohe Qualität der Methoden zu garantieren, wurde ein Qualitätshandbuch entwickelt, dessen Vorgaben für RENEB-Partnerlabore verpflichtend sind, zum Beispiel die Teilnahme an regelmäßigen Ringversuchen (Gregoire et al. 2016; Trompier et al. 2017). Werden Qualitätskriterien nicht erfüllt, allen voran die Abschätzung des korrekten Dosisbereiches, steht ein Trainingsprogramm zur Verfügung, das von Online-Training bis zu praxis-orientierten Ausbildungsaufenthalten in Partnerlaboren reicht (Brzozowska et al. 2017; Romm et al. 2017). Seit 2014 wurden neun Trainingskurse in Partnerlaboren durchgeführt, wobei der Schwerpunkt auf verschiedenen biologischen und EPR/OSL-Techniken (electron paramagnetic resonance / optically stimulated luminescence) lag. Bei Letzteren handelt es sich um physikalische Nachweismethoden beispielsweise an Zahnschmelz, Chipkarten oder Handyglass. Zusätzlich zu diesen praktischen Fortbildungen wurden Seminare über ISO-Standards (Kriterien zur qualitätsgesicherten Anwendung der verschiedenen Methoden), Qualitätsmanagement, Statistik und Methoden der Dosisabschätzung gehalten. Entsprechende Kurse werden bei Bedarf wiederholt und stehen auch Nicht-Partnerlaboren offen.

Damit RENEB langfristig auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bleibt, werden auch neue Techniken hinsichtlich ihrer Eignung für die individuelle Dosisabschätzung getestet und gegebenenfalls in

Methode	Probentyp	Zeitraumen für Proben-sammlung 1	Kategorisierung von Individuen "Grün / Orange / Rot" 1Gy / 1-2Gy / >2Gy		Nachweis-bereich (Gy)	Ab-schätzung einer Strahlen-dosis (Gy)	Robustheit 3	Berücksich-tigung der individuellen Strahlen-empfindlichke-it	Form des Materials und Zeitraumen der Lagerung für spätere Analysen
			Zeitdauer (Probenerhalt bis Ergebnis) 2	RENEB Kapazität (Individuen pro Woche)					
Dizentrische	Blut	Tage - Monate	52 Stunden	ca 1000	0.1 – 5	ja	hoch	ja	fixierte Zellen, Objektträger: Jahre
Mikrokerne	Blut	Tage - Monate	75 Stunden	ca 400	0.2 - 5	ja	mittel	ja	Objektträger: Jahre
FISH	Blut	Tage - Jahre	120 Stunden	ca 100	0.3 - 4	ja	mittel - hoch	ja	fixierte Zellen: Jahre
PCC	Blut	Tage - Monate	2 - 8 Stunden	ca 50	0.1 – 20	ja	hoch	ja	gefrorene oder fixierte Zellen, Objektträger: Jahre
γ H2AX	Blut	1- 2 Tage	3 Stunden	ca 1800	0.2 – 5	nein	niedrig	unklar	fixierte Zellen, Objektträger: Bis zu einem Jahr
Gen-expression	Blut	1- 3 Tage	3-7 Stunden	ca 7.000 - 10.000	0,001 - 5	nein	hoch	ja	peripheres Vollblut in PaxGene, -20 - -80°C: Jahre
EPR	PED ⁴	Stunden - Jahre	<1 Stunden	ca 770	>1	ja	hoch	nein	Glas: Jahre
OSL	PED ⁵	Stunden - Monate	<1 Stunden	ca 500	>0.1	ja	hoch	nein	Resistoren: Wochen

¹ Zeit zwischen der Bestrahlung einer Person und Probennahme;
² Zeit zwischen Probeneingang im Labor und Kategorisierung einer Person
⁴ PED: personenbezogene elektronische Geräte (Glas Touchscreen);
⁵ PED: personenbezogene elektronische Geräte (Resistoren vonPlatinen, Schaltkarten);

³ Robustheit des Markers gegenüber Störfaktoren:
 hoch: geringer Einfluß;
 mittel: gewisser Einfluß durch Alter, Rauchen, andere Agenzienn, Lebensstil;
 niedrig: großer Einfluß durch andere Faktoren und Agentien;

das Netzwerk integriert (Abend et al. 2016; Ainsbury et al. 2017). Ebenso aktiv wird nach neuen Partnern gesucht, die die Auswertekapazität des Netzwerkes weiter erhöhen und/oder neues Wissen einbringen.

Ein weiterer Schwerpunkt ist der Aufbau einer Netzwerkinfrastruktur. Um im Ernstfall effizient arbeiten zu können, bedarf es einer störungsfreien, hierarchischen Kommunikationsstruktur zwischen den Partnern und nach außen, sowie einer verlässlichen logistischen Infrastruktur für die geordnete Abnahme und den sicheren Transport der zu untersuchenden Proben (z.B. Blut, Mobiltelefone). Ebenso wichtig ist eine einheitliche Durchführung der Dosisabschätzung, ein sicherer Speicherplatz für die Auswertergebnisse und die Kommunikation der Ergebnisse nach legalen Vorgaben. Entsprechende Grundlagen wurden ebenfalls bereits während der Projektlaufzeit gelegt und werden derzeit nach geltendem Recht erarbeitet.

DIE ASSOZIATION RENEb E.V.

Eine Vereinbarung, basierend auf einem Memorandum of Understanding, zeigt zwar eine Absichtserklärung der Partner zur gegenseitigen Unterstützung, diese ist jedoch nicht rechtlich verbindlich. Um das Netzwerk rechtlich handlungsfähig zu machen, wurde 2017 die Assoziation RENEb e.V. gegründet, die als eigenständiger Partner in den nationalen, europäischen und internationalen Notfallschutz eingebunden werden kann. Die Assoziation hat derzeit 12 Partnerorganisationen als Vollmitglieder, die den Verein über eine Mitgliedergebühr finanziell unterstützen und auch Zugang zu ihren Laboren im Rahmen von Übungen und Trainingsaktivitäten ermöglichen. Zusätzlich engagieren sich Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von weiteren Organisationen, die in der Regel das Memorandum of Understan-

ABBILDUNG 2
 RENEb-Netzwerk:
 Methodenspektrum und
 Auswertekapazitäten.
 Quelle: RENEb.

ding unterschrieben haben, als sogenannte „Assoziierte Mitglieder“ in RENEB e.V.

Der Verein ist in fünf Arbeitsgruppen untergliedert. Die Arbeitsgruppe 1 entwickelt das Leitbild und die strategische Ausrichtung des Netzwerkes, einschließlich der Aufrechterhaltung bestehender nationaler und internationaler Kooperationen. Die Arbeitsgruppe 2 „Operationale Basis“ betreibt die operative Netzwerkbasis mit verschiedenen, etablierten und einsatzbereiten Techniken zur Dosisrekonstruktion. Hier werden regelmäßige Übungen mit wechselnden Schwerpunkten durchgeführt. In Arbeitsgruppe 3 „Qualitätssicherung und Management“ werden Qualitätssicherungs- und -management-Kriterien entwickelt und eingesetzt, um neue Techniken und Partner auf ihre Eignung und ggf. Eingliederung in das Netzwerk zu prüfen. Hier werden auch Trainingsaufenthalte in Partnerlaboren vermittelt und Schulungen durchgeführt, einschließlich Web-basiertem Training. Die Arbeitsgruppe 4 „Infrastruktur“ kümmert sich um zuverlässige Kommunikationswege innerhalb des Netzwerkes und nach außen sowie um geeignete Transportwege für das Probenmaterial. Arbeitsgruppe 5 „Kooperation, Zusammenarbeit und Verbreitung“ erschließt neue Aufgabengebiete und Kooperationspartner für das Netzwerk. Denkbar ist hier auch eine Einbindung des Netzwerkes in die Strahlenschutzforschung oder, im Falle etablierter Biomarker, in die Strahlentherapie und Nuklearmedizin.

NATIONALE UND INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Arbeit von RENEB ist die Kooperation mit medizinischem Fachpersonal und Einsatzkräften auf nationaler und internationaler Ebene. Ebenfalls wichtig ist der Informationsaustausch und die praktische Zusammenarbeit mit entsprechenden Laboren und Forschungsplattformen wie EURADOS (www.eurados.org) und MELODI ([\[lodi-online.eu\]\(http://lodi-online.eu\)\) innerhalb und außerhalb Europas \(Ainsbury et al. 2017\). Hier gab es in den letzten Jahren gemeinsame Übungen, bei denen unter anderem wichtige Erfahrungen zum weltweiten Versenden von Blutproben für eine anschließende Dosisabschätzung gesammelt werden konnten. An den Übungen nahmen Labore und Biodosimetrie-Netzwerke aus Nordamerika, Lateinamerika und Asien teil \(Oestreicher et al. 2017\). Einen ebenfalls engen Austausch gibt es mit dem informellen Biodosimetrie-Netzwerk der WHO \(WHO BioDoseNet\) und der IAEA, deren Repräsentanten zum Teil als Fördermitglieder von RENEB fungieren \(Blakely et al. 2009; Carr 2010; Wilkins et al. 2016\).](http://www.me-</p></div><div data-bbox=)

AUSBLICK

Biologische oder physikalisch retrospektive Dosimetrie kann nicht nur in akuten Notfallsituationen mit personenbezogenen Informationen über eine möglicherweise erhaltene Strahlendosis zur Behandlung beitragen. Die hier eingesetzten Methoden werden auch in der strahlenbiologischen und medizinischen Forschung eingesetzt. Denkbar ist deshalb auch die Einbindung des Netzwerkes als Analyseplattform für die strahlenbiologische und medizinische Forschung, zum Beispiel im Hinblick auf individualisierte Medizin. Hier könnte das Netzwerk in Zukunft einen Beitrag zur Identifizierung von strahlenempfindlichen Gruppen oder Individuen beitragen. ●

LITERATUR

Abend M, Badie C, Quintens R et al. (2016): Examining radiation-induced in vivo and in vitro gene expression changes of the peripheral blood in different laboratories for biodosimetry purpose: First RENEB Gene expression study. *Rad Res* 185: 109–123.

Ainsbury EA, Badie C, Barnard S et al. (2017): Integration of new biological and physical retrospective dosimetry methods into EU emergency response plans – joint RENEB and EURADOS inter-laboratory comparisons. *Int J Rad Biol* 93: 99–109.

- Blakely WF, Carr Z, Chu MC et al. (2009): WHO 1st consultation on the development of a global biodosimetry laboratories network for radiation emergencies (BioDoseNet). *Radiat Res* 171: 127–139.
- Bromet EJ, Havenaar JM, Guey LT (2011): A 25-year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. *Clin Oncol* 23: 297–305.
- Brzowska B, Ainsbury A, Baert A et al. (2017): RENEB accident simulation exercise. *Int J Rad Biol* 93(1): 75–80. DOI: 10.1080/09553002.2016.1206230.
- Carr Z (2010): WHO-REMPAN for global health security and strengthening preparedness and response to radiation emergencies. *Health Phys* 98: 773–778.
- Coeytaux K, Bey E, Christensen D et al. (2015): Reported radiation overexposure accidents worldwide, 1980-2013: a systematic review. *PLoS One* 10(3).
- Collins DL, de Carvalho AB (1993): Chronic stress from the Goiania 137Cs radiation accident. *Behav Med* 18: 149–157.
- Gregoire E, Ainsbury L, Barrios L et al. (2016): The harmonization process to set up and maintain an operational biological and physical retrospective dosimetry network: QA QM applied to the RENEB network. *Int J Rad Biol* DOI: 10.1080/09553002.2016.1206232.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2011): Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. EPR-Biodosimetry. Vienna, Austria.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2002): Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. Vienna, Austria. Report IAEA-TECDOC-1331.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (1988): The radiological accident in Goiania. Part IV. Observations and recommendations. Vienna, Austria. STI/PUB/815. ISBN: 92-0-129088-8: 89.
- Jaworska A, Ainsbury EA, Fattibene P et al. (2015): Operational guidance for radiation emergency response organisations in Europe for using biodosimetric tools developed in EU MULTIBIDOSE project. *Radiat Prot Dosim* 164: 165–169. DOI: 10.1093/rpd/ncu294.
- Kulka U, Wojcik A (2017): Special issue: Networking in biological and EPR/OSL dosimetry: the European RENEB platform for emergency preparedness and research. *Int J Rad Biol* 93(1). DOI: 10.1080/09553002.2016.1235805.
- Kulka U, Abend M, Ainsbury E et al. (2017): RENEB – Running the European Network of biological dosimetry and physical retrospective dosimetry. *Int J Radiat Biol* 93(1): 2–14. DOI: 10.1080/09553002.2016.1230239.
- Lloyd D, Turai I, Voisin P (2017): Realizing the European Network of Biodosimetry (RENEB) – concluding remarks. *Int J Radiat Biol* 93(1): 142–144. DOI: 10.1080/09553002.2016.1178866.
- Oestreicher U, Samaga D, Ainsbury E et al. (2017): RENEB intercomparisons applying the conventional Dicentric Chromosome Assay (DCA). *Int J Radiat Biol* 93(1): 20–29. DOI: 10.1080/09553002.2016.1233370.
- Romm H, Ainsbury EA, Barquintero JF et al. (2017): Web based scoring is useful for validation and harmonisation of scoring criteria within RENEB. *Int J Radiat Biol* 93(1): 110–117. DOI: 10.1080/09553002.2016.1206228.
- Sasaki MS, Hayata I, Kamada N et al. (2001): Chromosome aberration analysis in persons exposed to low-level radiation from the JCO criticality accident in Tokai-mura. *J Radiat Res* 42 Suppl.: 107–116.
- SSK – Strahlenschutzkommission (2008): Der Strahlenunfall. Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen (= Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Bd. 32). 2. überarb. Auflage. ISBN 978–3–87344–139–2.
- Trompier F, Baumann M, Barrios L et al. (2017): Investigation of the influence of calibration practices on cytogenetic laboratory performance for dose estimation. *Int J Radiat Biol* 93(1): 118–126. DOI: 10.1080/09553002.2016.1213455.
- Trompier F, Burbidge C, Bassinet C et al. (2017): Overview of physical dosimetry methods for triage application integrated in the new European network RENEB. *Int J Radiat Biol* 93(1): 65–74. DOI: 10.1080/09553002.2016.1221545.
- Wilkins RC, Carr Z, Lloyd DC (2016): An update of the WHO Biodosimetry: Developments since its inception. *Radiat Prot Dosim* 172: 47–57.
- Wojcik A, Bajjinskis A, Romm H et al. (2014): Multidisciplinary biodosimetric tools for a large-scale radiological emergency – the MULTIBIDOSE project. *Rad Emerg Med* 3: 19–23.
- Wojcik A, Oestreicher U, Barrios L et al. (2017): The RENEB operational basis: complement of established biodosimetric assays. *Int J Radiat Biol* 93(1): 15–19. DOI: 10.1080/09553002.2016.1235296.

KONTAKT

Dr. Ulrike Kulka
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet WR2
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: ukulka[at]bfs.de

[BfS]

Welches Potenzial haben Geoinformationssysteme für das bevölkerungsweite Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut?

Which potential do geographic information systems have for the population-wide health monitoring of the Robert Koch Institute?

ZUSAMMENFASSUNG

Geoinformationssysteme (GIS) sind in den letzten Jahren fester Bestandteil in der Public-Health-Forschung geworden. Durch vielfältige Analysewerkzeuge bieten sie die Möglichkeit, gesundheitsrelevante Fragestellungen innovativ zu beantworten. Neben modernen Kartierungs- und Visualisierungsoptionen eröffnet die Nutzung von GIS für das bundesweite Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut (RKI) die Möglichkeit, die Wohnumgebung objektiv als Einflussfaktor auf die Gesundheit und das Gesundheitsverhalten der Bevölkerung zu erfassen und mit den eigenen Surveydaten auf verschiedenen geographischen Ebenen zu verknüpfen. Neben physischen Faktoren wie Klima, Vegetation oder Landnutzung sowie Faktoren der bebauten Umwelt, können zusätzlich sozioökonomische und soziodemografische Daten, Versorgungsaspekte und Umweltbelastungen an Erhebungsdaten angedockt und in Auswertekonzepte integriert werden. Somit bieten Geoinformationssysteme für das Gesundheitsmonitoring am RKI ein erweitertes Potenzial, um bundesweite, repräsentative und aussagekräftige Ergebnisse präsentieren zu können.

ABSTRACT

In recent years, Geographic Information Systems (GIS) have become an integral part of public health research. They offer a broad range of analyses tools which enable innovative solutions for health related research questions. GIS provide up-to-date mapping and visualization options to be used for national health monitoring at the Robert Koch Institute (RKI); furthermore, it allows to gather objective information on the residential environment as an influencing factor on population health and on health behavior, and to link this information with RKI survey data at different geographic scales. Besides using physical information, such as climate, vegetation or land use, as well as information on the built environment, the instrument allows to link socioeconomic and sociodemographic data, information on health care and environmental stress to the survey data and to integrate them into concepts for analyses. Therefore, Geographic Information Systems expand the potential of the RKI to present nationwide, representative and meaningful health monitoring results.

EINLEITUNG

Bereits seit vielen Jahren werden in den Gesundheitswissenschaften geographische Methoden verwendet. Zu den berühmtesten Anwendungen gehört die Bestimmung des Cholera-Ausbruchsherd bei der Londoner

Epidemie von 1854 durch John Snow (Vandenbroucke 2013). Seit den 1950er Jahren begannen die ersten Entwicklungen, die das Zeitalter von computergestützten Geoinformationssystemen (GIS) einläuteten (Fradelos et al. 2014). Seither haben sich die Möglichkeiten für Analysen und Visualisierungen

MARTIN THIBEN,
HILDEGARD
NIEMANN, GIANNI
VARNACCIA,
ALEXANDER
ROMMEL, ANDREA
TETI, HANS
BUTSCHALOWSKY,
KRISTIN MANZ,
JONAS DAVID
FINGER, LARS
ERIC KROLL,
THOMAS ZIESE

Rechtlicher Hinweis:
Dieser Artikel wurde
im Bundesgesundheits-
blatt im Dezember
2017 erstveröffentlicht
(DOI 10.1007/s00103-
017-2652-4). Er liegt
hier in einer gekürzten
Version vor.



FOTO
©Tim / Fotolia.

räumlicher Daten erheblich weiterentwickelt (Lyseen et al. 2014). Die traditionelle Methode, die Ausbreitung von Krankheiten in Form von Karten darzustellen, wird seit Mitte der 1980er Jahre durch neuere Anwendungen mithilfe von GIS ergänzt. Dabei stehen insbesondere die Analysemöglichkeiten von GIS im Mittelpunkt wissenschaftlicher Beiträge und einer zeitgemäßen Public-Health-Forschung (Lyseen et al. 2014; Schweikart, Kistemann 2004).

WAS SIND GEO- INFORMATIONSSYSTEME?

GIS sind rechnergestützte Managementsysteme zur Verarbeitung von Daten mit Raumbezug. Diese bestehen aus Geodaten (Geobasis- bzw. Geofachdaten) und aus Sachdaten, die diesen attributiv zugeordnet werden können. GIS ermöglichen das Erfassen, Verwalten, Integrieren, Verarbeiten, Analysieren und Visualisieren raumbezogener Informationen (Fradelos et al. 2014). Sie stellen wertvolle Werkzeuge dar, um das Verständ-

nis komplexer Zusammenhänge von Gesundheit und Einflussfaktoren zu steigern (Nyki-foruk, Flaman 2011) (TABELLE 1).

Daten werden in einem GIS auf thematischen Schichten, so genannten Layern, hinterlegt, die miteinander in Beziehung gesetzt werden können. Bei den Geodaten lassen sich Vektor- und Rasterdaten unterscheiden.

Vektordaten (bzw. -layer) lassen sich wiederum in Punkt-, Linien- und Polygonlayer differenzieren. Punktlayer können beispielsweise geographische Koordinaten von Einrichtungen, wie Fast-Food-Restaurants, Arztpraxen oder Spielplätzen, aber auch regional auftretende Ereignisse wie Straftaten oder Krankheitsfälle umfassen. Linienlayer enthalten Informationen zu mehreren zusammenhängenden Punkten (z.B. Straßen oder Grenzen). Polygonlayer beschreiben Flächen, z.B. administrative Gebiete wie Stadtteile oder Postleitzahlengebiete. Beispiele für über Polygonlayer bereitzustellende Informationen sind etwa regionale Versorgungsgrade mit Ärzten (sog. Arztdichte) zu regionalen Einheiten

wie Stadtgebieten oder Versorgungsregionen. Vektorlayer können auch mit Daten zur Luftverschmutzung im Rasterformat verschnitten werden. Über statistische Analysen können Zusammenhänge hergestellt sowie Raummuster aufgezeigt und visualisiert werden (Schweikart, Kistemann 2004; Fletcher-Lartey, Caprarelli 2016).

Rasterdaten sind Geodaten, die auf einer Matrix, das heißt einem Gitter aus horizontalen Zeilen und vertikalen Spalten als Menge von entweder Bildelementen (Pixel) oder unterschiedlichen Werten (z.B. modellierte Messwerte) in den Zellen gleicher Größe abgebildet werden. Den einzelnen Zellen werden jeweils Werte zugeordnet durch die der in der Zelle abgebildete Raum beschrieben wird (z.B. die Staubbelastung in einem 1x1 km Raster).

GIS IN DER PUBLIC-HEALTH-FORSCHUNG

In den letzten Jahren wurde in der Public-Health-Forschung zunehmend der Einfluss der Umwelt auf die menschliche Gesundheit

diskutiert (Augustin, Koller 2017; Lemke et al. 2015; Luan, Law 2014). Das transdisziplinäre Fach der Gesundheitsgeographie definiert sich neben inhaltlichen Aspekten auch über die Anwendung von Werkzeugen zur Analyse und Visualisierung räumlicher Daten auf medizinische und gesundheitswissenschaftliche Fragestellungen (Augustin, Koller 2017; Lemke et al. 2015). Diese Applikationen werden inzwischen als fester Methodenbestandteil in der Public-Health-Forschung verstanden (Fradelos et al. 2014; Lyseen et al. 2014; Fletcher-Lartey, Caprarelli 2016; Rosenberg 2013).

Der Einsatz von GIS in der Public-Health-Forschung ist vielfältig (Nykiforuk, Flaman 2011; Luan, Law 2014; Graves 2008). Die Einsatzmöglichkeiten lassen sich in drei Bereiche unterteilen:

- 1 krankheitsökologische Untersuchungen, die sich mit den gesundheitlichen Einflüssen der Umwelt auf die Entstehung von Krankheiten und deren Verbreitung auseinandersetzen,

TABELLE I
Wichtigste Analysetechniken von Geoinformationssystemen. Quelle: Eigene Darstellung nach Kistemann et al. (2002).

ANALYSETECHNIK	ERLÄUTERUNG
Datenbankabfrage	Identifikation von Objekten auf Grundlage von benutzerdefinierten Auswahlkriterien
Geometrische Berechnungen	Bestimmung von Abständen, Längen, Flächen, Höhenunterschieden etc.
Verschneiden, Ausschneiden, Verbinden von Geometriedaten	Generierung neuer Variablen, z.B. kann geprüft werden, welche Messpunkte in einer bestimmten Fläche liegen
Pufferbildung	Konstruktion von Zonen festgelegter Größe um Punkte, Linien oder Flächen
Dichteschätzung	Schätzung der räumlichen Dichte von geometrischen Objekten (Punkt-, Linien- und Kerndichteanalyse)
Interpolation	Schätzung fehlender Daten auf Grundlage raumbezogener Zusammenhänge und Verteilung bekannter Daten
Glättung	Konstruktion generalisierter Muster von Attributdaten als Oberflächen
Analyse raumbezogener Verteilung	Prüfung raumbezogener Daten auf Korrelation und Cluster unter Verwendung von Visualisierungstechniken und geostatistischen Methoden (z.B. Korrelations-, Erreichbarkeits-, Mobilitäts-, Cluster- und Netzwerkanalysen)
Indexbildung	Berechnung von Indizes (z.B. über die Fußgängerfreundlichkeit (Walkability) der Wohnumgebung)
Modellierung und Simulation	Entwicklung von Modellen und Szenarien, insbesondere raum- und zeitbezogene Verbreitungs- und Ausbreitungsmodelle

- 2 Disparitäten in der Gesundheitsversorgung, also räumliche und soziale Unterschiede, die über den Zugang zu medizinischer Versorgung bestimmen sowie
- 3 Risikofaktoren und Ressourcen, zu denen auch Einflüsse der sozialen und physischen Umwelt sowie Lebensstilfaktoren (Gesundheitsverhalten) gehören.

Am längsten wird Gesundheit anhand krankheitsökologischer Ansätze GIS-gestützt untersucht. Dabei werden vorwiegend Studien zur körperlichen und psychischen Gesundheit durchgeführt, die die Beschreibung geographischer Verbreitungsmuster einzelner Erkrankungen unter Berücksichtigung von Mortalität und Einflussfaktoren vorsehen (Graves 2008). Diese Art von Analysen liefern wichtige Hinweise zur Ätiologie und zur Epidemiologie von Infektionskrankheiten (Alexander et al. 2015) sowie seit neuestem vermehrt auch zur Entwicklung altersassoziierter Krankheiten (Kauhl et al. 2016).

Als zweites Einsatzfeld von GIS in der Public-Health-Forschung gelten die räumlichen Analysen von Disparitäten in der Gesundheitsversorgung. Von besonderer Relevanz sind hierbei die geographischen Analysen (Butsch 2011) des Zuganges zu präventiv ausgerichteten Gesundheitsdienstleistungen (z.B. Lokalisation und Entfernung von Beratungsstellen, Vorsorgezentren und Impfstellen). Des Weiteren gehören zu diesem Einsatzfeld räumliche Auswertungen zur wohnortnahen, ambulanten oder stationären Versorgung (Henke et al. 2007; Voigtländer, Deiters 2015) sowie zur Versorgungsdichte im therapeutischen beziehungsweise rehabilitativen Bereich (Henke et al. 2007; Classen, Kistemann 2010).

Als drittes Einsatzfeld von GIS gilt der Bereich der Risikofaktoren und Ressourcen. Hier wird untersucht, welchen Einfluss Umweltfaktoren auf Gesundheitsdeterminanten (z.B. Gesundheitsverhalten) und Gesundheit haben. Die Merkmale dieses Einsatzfeldes können in salutogenetischer Hinsicht, das heißt im Sinne der Gesundheitserhaltung,

-förderung, sowohl als Gesundheitsressourcen (Nykiforuk, Flaman 2011; Krekel et al. 2016) als auch als Risikofaktoren (Lakes, Burkart 2016; Liu et al. 2014) betrachtet werden. Besonders häufig untersuchte Risikofaktoren sind soziale Disparitäten (Maier et al. 2014) und Umweltexpositionen, wie z.B. Lärm- oder Feinstaubbelastung (Babisch et al. 2014). In der Regel werden hierbei wohnortsbezogene Merkmale auf aggregierter Ebene (z.B. Gemeinde, Kreise oder Regionen) mit krankheitsspezifischen Inzidenzen und Prävalenzen sowie mit weiteren gesundheitsrelevanten Dimensionen (z.B. gesundheitsbezogene Lebensqualität) in Zusammenhang gestellt.

STATUS QUO

In Deutschland wurden bereits viele verschiedene gesundheitsbezogene Studien mithilfe von GIS durchgeführt, was das Interesse für diese Methode in der Public-Health-Forschung verdeutlicht. Allerdings ist hervorzuheben, dass sich die bislang GIS-gestützt durchgeführten Studien vorwiegend auf ausgewählte Regionen oder Städte beschränken (Thißen et al. 2017). Analysen, die auf nationaler Ebene durchgeführt werden, kommen seltener vor. Die Verknüpfung von räumlich vorliegenden Wohnumgebungsdaten, wie zum Beispiel Umwelt- und Sozialdaten oder Daten zur medizinischen Versorgung mit bundesweiten repräsentativen Surveydaten (Primärdaten) aus dem Gesundheitsmonitoring am RKI, würden einen vielversprechenden und innovativen Fortschritt darstellen. So würde eine Ergänzung durch GIS-gestützte Analysen zum nationalen Gesundheitsmonitoring zusätzlich die Qualität der Gesundheitsberichterstattung des Bundes am RKI mit zeitgemäßen Techniken vervollständigen.

POTENZIALE FÜR DAS GESUNDHEITSMONITORING AM RKI

Ziel des Gesundheitsmonitorings am RKI ist es, im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit zuverlässige Informationen über den Gesundheitszustand, das Gesundheitsverhalten und die gesundheitliche Versorgung der Bevölkerung bereitzustellen (Saß et al. 2017). Zum Gesundheitsmonitoring gehören die Studie "Gesundheit in Deutschland aktuell" (GEDA) (Saß et al. 2017), die „Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland“ (KiGGS) (Kurth 2007) und die „Studie zur Gesundheit von Erwachsenen in Deutschland“ (DEGS) (Scheidt-Nave et al. 2012). Letztere beinhalten – zusätzlich zur Befragung – körperliche Untersuchungen und Tests. Die Daten sind Grundlage für die Gesundheitsberichterstattung des Bundes und für die Forschung zu wichtigen Public-Health-Themen (Kurth et al. 2009).

Bislang werden einfache kartografische Darstellungen sowie georeferenzierte Informationen auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus (z.B. auf der Ebene von Kreisen oder Gemeindeverbänden) bereits themenspezifisch mit den Daten des Gesundheitsmonitorings verknüpft und im Rahmen multivariater Analysen ausgewertet (Maier et al. 2014; Rommel, Kroll 2017). Zentral für die Weiterentwicklung der Auswertungsmöglichkeiten großer Gesundheitsstudien ist die Möglichkeit, verschiedenste georeferenzierte Daten miteinander zu verknüpfen (data linkage). So können neben sozialen Kontextfaktoren zusätzlich bisher nicht zugängliche oder nicht berücksichtigte gesundheitsrelevante Einflussfaktoren aus dem geographischen Wohnumfeld der Studienteilnehmenden personenbezogen erfasst und auf verschiedenen räumlichen Ebenen mit den Surveydaten verknüpft werden (Fradelos et al. 2014; Nykiforuk, Flaman 2011; Fletcher-Lartey, Caprarelli 2016; Buck et al. 2015).

Weiterhin eröffnen sich durch den Einsatz von Geoinformationssystemen innovative Visualisierungs- und Kartierungsoptionen

für Gesundheitsdaten mit Raumbezug (sog. „Health Mapping“ (Luther et al. 2016)). So können komplexe Inhalte oder Beziehungen anschaulicher vermittelt werden als mit konventionellen Präsentationstechniken (Nykiforuk, Flaman 2011).

Für viele Aspekte der gesundheitlichen Lage sind die Surveys des RKI die einzige verfügbare bevölkerungsweit aussagekräftige Datenquelle. In Verbindung mit ebenfalls bundesweit vorliegenden georeferenzierten Informationen ergibt sich somit zum ersten Mal die Möglichkeit einer bevölkerungsweiten Verknüpfung von Survey- und Geodaten, deren Potenzial für das Gesundheitsmonitoring im Folgenden anhand einiger Beispiele verdeutlicht werden soll.

PHYSISCHE UMWELT

Umwelt-Expositionen im Umfeld der Wohnung, die potenziell gesundheitliche Belastungen nach sich ziehen, könnten über die Koordinaten mit den epidemiologischen Gesundheitsdaten über die Wohnadresse in Bezug gesetzt werden (z.B. für Lärm (Ising, Kruppa 2004), Luftschadstoffe (UBA 2017), UV-Strahlung (RKI 2015), Wasser- oder Luftqualität (Valent et al. 2004)). Es können somit Expositionsbelastungen der Bevölkerung, die räumlich variieren, entweder dargestellt oder als zusätzliche Risikofaktoren in die statistische Auswertung mit aufgenommen werden. Ein eindeutiger Expositions-Wirkungs-Zusammenhang sollte dann durch entsprechende Evidenz belegt werden. Dieser Expositions-Wirkungs-Zusammenhang lässt sich mit grob modellierten oder aggregierten Expositionsdaten in GIS nur schwer nachweisen. Im Bereich des Monitorings geht es daher um das Aufzeigen der Belastung und das Erfassen der Merkmale der physischen und bebauten Umwelt, um anhand dieser Faktoren sowohl Aussagen zur Verteilung gesundheitsrelevanter Umweltbelastungen als auch zu Mehrfachbelastungen oder zum Zugang zu salutogenetischen Ressourcen treffen zu können.

SOZIALE UMWELT

Für die Analyse des Zusammenhanges von sozialer Ungleichheit und Gesundheit, die eine der Kernaufgaben der Public-Health-Forschung darstellt, bilden Geoinformationssysteme in mehrfacher Hinsicht Nutzungspotenziale. Einerseits können sie genutzt werden, um regional aggregiert vorliegende Datenquellen, wie beispielsweise die Daten der Todesursachenstatistik, mit der regionalen sozioökonomischen Lage der Bevölkerung zum Teil auch kleinräumig in Beziehung zu setzen (Maier et al. 2012; Kroll et al. 2017). In Ermangelung von Individualdaten können so Hinweise auf das Ausmaß und die Entwicklung sozialer Unterschiede gewonnen werden. Zudem eröffnen die systematischen Auswertungs- und Aggregationsfunktionen der Geoinformationssysteme die Möglichkeit, Fragestellungen aus dem Bereich der Umweltgerechtigkeit zu untersuchen. So kann aufgezeigt werden, welche Bevölkerungsgruppen den besten Zugang zu räumlich ungleich verteilten Ressourcen haben oder umgebungsbezogenen Belastungen in besonderem Maße ausgesetzt sind (Dragano et al. 2007). Bei entsprechenden Analysen muss einschränkend berücksichtigt werden, dass sich die Effekte räumlicher Belastungen und Ressourcen analytisch nur schwer von der sozioökonomischen Komposition der Bevölkerung trennen lassen: So können sozial bessergestellte Bevölkerungsteile aufgrund ihrer materiellen Ressourcen einerseits in Wohngebieten mit besserer Infrastruktur und Lebensqualität ziehen, andererseits können sie auch die Situation ihrer Quartiere beeinflussen und so aus vormals benachteiligten Wohnquartieren prosperierende „Szenebezirke“ machen (Macintyre et al. 2002).

GESUNDHEITSVERHALTEN

Im Bereich der körperlichen Aktivität kann untersucht werden, wie bewegungsfreundlich die Wohnumgebung der Surveyteilnehmenden ist und ob bestimmte Umgebungsfaktoren mit ihrem Bewegungsverhalten

beziehungsweise ihrer körperlichen Fitness in Verbindung stehen. Dabei sind sowohl die Verfügbarkeit und die Erreichbarkeit von Bewegungsmöglichkeiten (z.B. Grün- und Freiflächen (Krekel et al. 2016), Spielplätze (Lakes, Burkart 2016) und Sportanlagen (Reimers et al. 2014)) als auch die Fußgänger- und Fahrradfreundlichkeit der Wohnumgebung von Interesse (Lakes, Burkart 2016). Im Bereich des Ernährungsverhaltens bieten sich ebenfalls interessante Forschungsfragen. So lässt sich z.B. untersuchen, welches Lebensmittelangebot im Wohnumfeld der Surveyteilnehmenden vorhanden ist und ob deren Ernährungsverhalten mit den verfügbaren Einkaufs- und Verpflegungsmöglichkeiten assoziiert ist (Burgoine et al. 2013). Relevant sind in diesem Zusammenhang unter anderem die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit von Supermärkten, Discountern und Fast-Food-Imbissen (Lakes, Burkart 2016). Durch den Einsatz von verschiedenen Analyse-Werkzeugen (z.B. Distanzmessungen, Dichteschätzungen, Pufferbildung, Netzwerk- und Clusteranalysen) bieten GIS einen vielversprechenden Ansatz, um die adipogene Umwelt – also Umweltfaktoren, welche die Entstehung von Adipositas begünstigen – zu erforschen (Burgoine et al. 2013). So können Ansatzpunkte für Präventionsmaßnahmen, beispielsweise für eine gesundheitsförderliche Stadtplanung und -entwicklung in benachteiligten Gebieten, aufgezeigt werden (Lakes, Burkart 2016).

GESUNDHEITSVERSORGUNG

Um Versorgungsrealitäten kleinräumig untersuchen zu können und dementsprechend Entscheidungsprozesse optimal begleiten und unterstützen zu können, gewinnen GIS auch in der Versorgungsforschung zunehmend an Bedeutung (Schweikart et al. 2010). In den Kategorien der ambulanten Versorgung haben sich Hausärzte (Stentzel et al. 2016; Walter, Schweikart 2006), Fachärzte (Stentzel et al. 2016; Walter, Schweikart 2006; Pieper, Schweikart 2009) und Apotheken (Walter, Schweikart 2006) sowie in

der stationären Versorgung Krankenhäuser (Kottwitz 2014) als gut messbare Merkmale erwiesen. Die Verknüpfung der georeferenzierten Wohnadresse mit Versorgungsdaten kann unter anderem durch eine Dichteschätzung der ausgewählten Versorgungseinrichtungen in der Umgebung um die Wohnadresse (Walter, Schweikart 2006) oder durch eine Analyse raumbezogener Verteilungen in Form von Netzwerkanalysen (Stentzel et al. 2016; Pieper, Schweikart 2009) durchgeführt werden. Weiterhin stellen die Pufferbildung (z.B. 20 km Radius (Kottwitz 2014)) wie auch Clusteranalysen (Kottwitz 2014) etablierte Analysetechniken dar.

Daraus ergibt sich für das Gesundheitsmonitoring das Potenzial, sowohl Aussagen über die Verfügbarkeit als auch über die Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen auf verschiedenen räumlichen Ebenen (kommunal, regional, national) treffen zu können (Stentzel et al. 2016). So wäre es möglich, Versorgungsgrade (Über- und Unterversorgung) auf der Basis räumlicher Erreichbarkeit darzustellen und Disparitäten innerhalb einer Stadt oder zwischen urbanen und ländlichen Räumen herauszustellen (Pieper, Schweikart 2009). Zudem könnte die benötigte Zeit zum Erreichen der Versorgungseinrichtungen mittels unterschiedlicher Mobilitätsformen (zu Fuß, Fahrrad, Auto, Öffentlicher Personennahverkehr) untersucht werden (Stentzel et al. 2016; Walter, Schweikart 2006). In Verbindung mit Befragungsdaten zur Inanspruchnahme könnte außerdem der Einfluss regionaler Versorgungsstrukturen, beispielsweise in Distanzen ausgedrückt, auf deren tatsächliche Nutzung im Bedarfsfall analysiert werden (Koller, Mielck 2009).

FAZIT

Einflussfaktoren der bebauten, physischen und sozialen Umwelt sind für die menschliche Gesundheit und das Gesundheitsverhalten von großer Bedeutung. Gleichzeitig sind sie in vielen Fällen durch Gesetzgebung und (gesundheits-)politische Maßnahmen zu

beeinflussen. Neben den potenziell modifizierbaren Risikofaktoren und Ressourcen spielen die Gesundheitsversorgung sowie die körperliche und psychische Gesundheit eine zentrale Rolle für das Gesundheitsmonitoring am RKI und daraus resultierende Präventionsansätze. Daher sollte der Einsatz von Geoinformationssystemen im Rahmen des Gesundheitsmonitorings in Deutschland ausgebaut werden. Die Anwendungsmöglichkeiten von GIS können von einfachen Kartendarstellungen über Dichte- oder Pufferanalysen bis zu Netzwerk- und Clusteranalysen oder modellierten Expositionsbelastungen reichen. Das Potenzial der Methode für das RKI zeigt sich insbesondere in Bezug auf das bevölkerungsweite Gesundheitsmonitoring, welches bundesweite, repräsentative und aussagekräftige Erkenntnisse für Deutschland liefert. GIS können z.B. in den Bereichen der Gesundheitsversorgung sowie der Risikofaktoren und Ressourcen, die sowohl das Gesundheitsverhalten als auch die körperliche und psychische Gesundheit beeinflussen, als Visualisierungswerkzeug und für räumliche Analysen eingesetzt werden. Bisher nicht zugängliche oder nicht berücksichtigte gesundheitsrelevante Einflussfaktoren aus dem geographischen Wohnumfeld können personenbezogen erfasst und mit den Surveydaten verknüpft werden (data linkage).

Die Erschließung der Zusammenhänge zwischen der geographischen Lage, den ökologischen Bedingungen sowie der physischen, der bebauten sowie der sozialen Umwelt und der Gesundheit ist prinzipiell von der lokalen bis zur internationalen Ebene möglich, da der Maßstab bei der Anwendung von Geoinformationssystemen keine Einschränkung darstellt. Daraus resultiert ein integrativer Ansatz bis hin zu Themen von „One Health“ und „Global Health“ (Augustin, Koller 2017). Darüber hinaus wird durch die voranschreitende Digitalisierung und die damit verbundene Ausweitung sowohl der Quantität als auch der Qualität raumbezogener Daten (Big Data), die Nutzung von GIS für eine innovative Public-Health-Forschung unerlässlich sein. ●

LITERATUR

- Alexander KA, Sanderson CE, Marathe M et al. (2015): What factors might have led to the emergence of Ebola in West Africa? *PLoS neglected tropical diseases* 9:e0003652. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003652.
- Augustin J, Koller D (2017): *Geografie der Gesundheit: Die räumliche Dimension von Epidemiologie und Versorgung*. Hogrefe. Bern.
- Babisch W, Wolf K, Petz M et al. (2014): Associations between traffic noise, particulate air pollution, hypertension, and isolated systolic hypertension in adults: the KORA study. *Environ Health Perspect* 122: 492–498.
- Buck C, Kneib T, Tkaczick T et al. (2015): Assessing opportunities for physical activity in the built environment of children: interrelation between kernel density and neighborhood scale. *Int J Health Geogr* 14 (35).
- Burgoine T, Alvanides S, Lake AA (2013): Creating obesogenic realities; do our methodological choices make a difference when measuring the food environment? *International Journal of Health Geographics* 12 (33).
- Butsch C (2011): Zugang zu Gesundheitsdienstleistungen. Barrieren und Anreize in Pune, Indien. Steiner Verlag.
- Classen T, Kistemann T (2010): Das Konzept der Therapeutischen Landschaften. *Geographische Rundschau* 62 (7-8): 40–46.
- Dragano N, Bobak M, Wege N, et al. (2007): Neighbourhood socioeconomic status and cardiovascular risk factors: a multilevel analysis of nine cities in the Czech Republic and Germany. *BMC Public Health* 7 (255).
- Fletcher-Lartey SM, Caprarelli G (2016): Application of GIS technology in Public Health: successes and challenges. *Parasitology* 143: 401–415.
- Fradelou EC, Papathanasiou IV, Mitsi D et al. (2014): Health Based Geographic Information Systems (GIS) and their Applications. *Acta Inform Med* 22: 402–405.
- Graves BA (2008): Integrative literature review: a review of literature related to geographical information systems, healthcare access, and health outcomes. *Perspectives in Health Information Management/AHIMA, American Health Information Management Association* (2008)5: 11.
- Henke S, Schweikart J, Walter N (2007): Versorgungsdichte und Wohnortnähe in der ambulanten medizinischen Versorgung in Berlin im Jahr 2005. *Zeitschrift für amtliche Statistik Berlin Brandenburg* 5: 24–30.
- Ising H, Kruppa B (2004): Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years. *Noise Health* 6: 5–13.
- Kauhl B, Schweikart J, Krafft T et al. (2016): Do the risk factors for type 2 diabetes mellitus vary by location? A spatial analysis of health insurance claims in Northeastern Germany using kernel density estimation and geographically weighted regression. *Int J Health Geogr* 15: 38.
- Kistemann T, Dangendorf F, Schweikart J (2002): New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences. *Int J Hyg Environ Health* 205: 169–181.
- Koller D, Mielck A (2009): Regional and social differences concerning overweight, participation in health check-ups and vaccination. Analysis of data from a whole birth cohort of 6-year old children in a prosperous German city. *BMC Public Health* 9 (43).
- Kottwitz A (2014): Mode of birth and social inequalities in health: the effect of maternal education and access to hospital care on cesarean delivery. *Health Place* 27: 9–21.
- Krekel C, Kolbe J, Wüstemann H (2016): The Greener, the Happier? The Effects of Urban Green and Abandoned Areas on Residential Well-Being. *Ecological Economics* 121: 117–127.
- Kroll L, Schumann M, Hoebel J et al. (2017): Regionale Unterschiede in der Gesundheit – Entwicklung eines sozioökonomischen Deprivationsindex für Deutschland. *Journal of Health Monitoring* 2: 103–120.
- Kurth BM, Lange C, Kamtsiuris P et al. (2009): Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 52: 557–570.
- Kurth BM (2007): Der Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS): Ein Überblick über Planung, Durchführung und Ergebnisse unter Berücksichtigung von Aspekten eines Qualitätsmanagements. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 50: 533–546.
- Lakes T, Burkart K (2016): Childhood overweight in Berlin: intra-urban differences and underlying influencing factors. *Int J Health Geogr* 15: 12.
- Lemke D, Mattauch V, Heidinger O et al. (2015): Wer trifft ins Schwarze? Ein qualitativer Vergleich der kostenfreien Geokodierungsdienste von Google und OpenStreetMap. *Gesundheitswesen* 77: 160–165.
- Liu C, Fuentes E, Tiesler CM et al. (2014): The associations between traffic-related air pollution and noise with blood pressure in children: results from the GINIplus and LISAPLUS studies. *Int J Hyg Environ Health* 217: 499–505.
- Luan H, Law J (2014): Web GIS-Based Public Health Surveillance Systems: A Systematic Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 3: 481–506.
- Luther S, Schweikart J, Scharlach H (2016): Gesundheit verbessern und fördern – Ein Schwerpunkt in der medizin-geografischen Forschung. *Public Health Forum* 24: 59–61.

- Lyseen AK, Nohr C, Sorensen EM et al. (2014): A Review and Framework for Categorizing Current Research and Development in Health Related Geographical Information Systems (GIS) Studies. *Yearb Med Inform 9*: 110–124.
- Macintyre S, Ellaway A, Cummins S (2002): Place effects on health: how can we conceptualise, operationalise and measure them? *Soc Sci Med 55*: 125–139.
- Maier W, Scheidt-Nave C, Holle R et al. (2014): Area level deprivation is an independent determinant of prevalent type 2 diabetes and obesity at the national level in Germany. Results from the National Telephone Health Interview Surveys 'German Health Update' GEDA 2009 and 2010. *PLoS One 9*: e89661.
- Maier W, Fairburn J, Mielck A (2012): Regionale Deprivation und Mortalität in Bayern. Entwicklung eines Index Multipler Deprivation auf Gemeindeebene. *Gesundheitswesen 74*: 416–425.
- Nykiforuk CI, Flaman LM (2011): Geographic information systems (GIS) for Health Promotion and Public Health: a review. *Health Promot Pract 12*: 63–73.
- Pieper J, Schweikart J (2009): Kleinräumige Modellierung der vertragsärztlichen Versorgungssituation in Berlin. *Zeitschrift für amtliche Statistik Berlin Brandenburg 2*: 22–29.
- Reimers AK, Wagner M, Alvanides S et al. (2014): Proximity to sports facilities and sports participation for adolescents in Germany. *PLoS One 9*: e93059.
- RKI – Robert Koch-Institut (Hrsg.) (2015): Gesundheit in Deutschland. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Gemeinsam getragen von RKI und Destatis. Berlin.
- RKI – Robert Koch-Institut (2017): Arbeitsgemeinschaft Influenza. <https://influenza.rki.de/> (Zugriff am: 11.08.2017).
- Rommel A, Kroll LE (2017): Individual and Regional Determinants for Physical Therapy Utilization in Germany: Multilevel Analysis of National Survey Data. *Phys Ther 97*(5): 512–523. DOI: 10.1093/ptj/pzx022.
- Rosenberg M (2013): Health geography: Social justice, idealist theory, health and health care. *Progress in Human Geography 38*: 466–475.
- Saß AC, Lange C, Finger JD et al. (2017): Gesundheit in Deutschland aktuell – Neue Daten für Deutschland und Europa Hintergrund und Studienmethodik von GEDA 2014/2015-EHIS. *Journal of Health Monitoring 2*: 83–90.
- Scheidt-Nave C, Kamtsiuris P, Gößwald A et al. (2012): German health interview and examination survey for adults (DEGS) - design, objectives and implementation of the first data collection wave. *BMC Public Health 12*: 730–730.
- Schweikart J, Pieper J, Metzmacher A (2010): Gis-basierte und indikatorengestützte Bewertung der ambulanten ärztlichen Versorgungssituation in Berlin. *Kartographische Nachrichten 6*: 306–313.
- Schweikart J, Kistemann T (2004): Geoinformationssysteme im Gesundheitswesen: Grundlagen und Anwendungen. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Stentzel U, Piegsa J, Fredrich D et al. (2016): Accessibility of general practitioners and selected specialist physicians by car and by public transport in a rural region of Germany. *BMC Health Serv Res 16*: 587.
- Thißen M, Niemann H, Varnaccia G et al. (2017): Welches Potenzial haben Geoinformationssysteme für das bevölkerungsweite Gesundheitsmonitoring in Deutschland? *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 60*: 1440–1452.
- UBA – Umweltbundesamt (2017): Aktuelle Luftdaten - Beurteilung der Luftqualität. https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten/#/start?s=q-64FAA==&_k=rdIpiw (Zugriff am: 11. August 2017).
- Valent F, Little DA, Bertolini R et al. (2004): Burden of disease attributable to selected environmental factors and injury among children and adolescents in Europe. *The Lancet 363*: 2032–2039.
- Vandenbroucke JP (2013): Commentary: Snow's paper on 'offensive trades' with the benefit of 150 years of hindsight. *Int J Epidemiol 42*: 1235–1238.
- Voigtländer S, Deiters T (2015): Mindeststandards für die räumliche Erreichbarkeit hausärztlicher Versorgung: Ein systematischer Review. *Das Gesundheitswesen 77*: 949–957.
- Walter N, Schweikart J (2006): Räumliche Disparitäten in der ambulanten Gesundheitsversorgung Berlins. Eine GIS-basierte Analyse. In: Strobl J, Blaschke T, Griesebner G (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2006*. Beiträge zu 18. AGIT-Symposium, Salzburg. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag: 704–708.

KONTAKT

Martin Thißen M.Sc.
Robert Koch-Institut
Abteilung 2: Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring
FG 24 Gesundheitsberichterstattung
Postfach 65 02 61
13302 Berlin
E-Mail: [ThissenM\[at\]rki.de](mailto:ThissenM[at]rki.de)

[RKI]

Strahlenschutz beim Stromnetzausbau – Das Forschungsprogramm des Bundesamtes für Strahlenschutz

Radiation protection in the process of power grid expansion – the research program of the federal office for radiation protection

ZUSAMMENFASSUNG

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen, werden Stromnetze in Deutschland ausgebaut. Dabei sollen Fragen des Gesundheits- und Strahlenschutzes möglichst früh berücksichtigt werden. Um die bestehenden wissenschaftlichen Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und die offenen Fragen zu beantworten, führt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein begleitendes Forschungsprogramm zum Stromnetzausbau durch. Das BfS hat acht Themenfelder identifiziert, in denen Forschungsbedarf besteht. Aktuell sind 36 Forschungsvorhaben unterschiedlicher Priorität geplant. Das Forschungsprogramm wurde vorab von der Strahlenschutzkommission positiv bewertet. Zu Beginn des Forschungsprogramms fanden eine Auftaktveranstaltung und eine Online-Konsultation statt.

BLANKA POPHOF,
CHRISTOPH
BÖHMERT, CORNELIA
EGBLOMASSÉ-
ROIDL, DIRK
GESCHWENTNER,
JENS KUHNE,
CHRISTIANE PÖLZL-
VIOL, JANINE-ALISON
SCHMIDT, MARIA
SCHNELZER, GUNDE
ZIEGELBERGER

ABSTRACT

In order to increase the proportion of renewable energies in the electricity supply, power grids in Germany are being expanded. During this process, health and radiation protection issues should be taken into consideration right from the beginning. In order to reduce the existing scientific uncertainties in risk assessment and to be able to answer open questions, the German Federal Office for Radiation Protection (BfS) initiated an accompanying research program "Radiation Protection in the Process of Power Grid Expansion". The BfS has identified eight main topic areas with a need for research. Currently, 36 research projects are planned. The research program was positively evaluated in advance by the German Radiation Protection Commission. At the beginning of the research program, a kick-off meeting and an online consultation took place.

DIE ENTSTEHUNG DES FORSCHUNGSPROGRAMMS

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen, werden die bestehenden Stromnetze in Deutschland ausgebaut und verstärkt. Hierfür werden nicht nur bestehende Hochspannungs-Wechselstromübertragungsleitungen (HWÜ-Leitungen) ertüchtigt, sondern auch neue HWÜ-Leitungen sowie erstmals Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen (HGÜ-Leitungen) errichtet, letztere vorzugsweise als Erdkabel. Die vom Ausbau

betreffene Bevölkerung steht den notwendigen Maßnahmen zum Teil kritisch bis ablehnend gegenüber. Dabei werden unter anderem Befürchtungen zu gesundheitlichen Risiken geäußert.

Beim Ausbau der Stromnetze müssen Fragen des Gesundheits- und Strahlenschutzes von Anfang an berücksichtigt werden. Die Grenzwerte der 26. Bundesimmissionschutzverordnung (26. BImSchV) schützen vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken durch statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder, die von Stromleitungen ausgehen. Es gibt jedoch



FOTO
Hochspannungsleitung.
Quelle: BfS.

wissenschaftliche Unsicherheiten in Bezug auf mögliche gesundheitliche Wirkungen unterhalb dieser Grenzwerte und weitere offene, nicht oder wenig untersuchte Fragen, wie zum Beispiel Wahrnehmungsschwellen elektrischer Felder.

Um bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und offene Fragen zu beantworten, führt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein begleitendes Forschungsprogramm zum "Strahlenschutz beim Stromnetzausbau" durch. In insgesamt acht Themenfeldern, die im Weiteren beschrieben werden, sollen 36 Forschungsvorhaben durchgeführt werden (TABELLE I). Entsprechend der jeweiligen Relevanz, Machbarkeit und Dringlichkeit hat das BfS diesen Projekten unterschiedliche Prioritäten zugewiesen.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) nahm eine Bewertung aller Projektvorschläge des BfS bezüglich Dringlichkeit, Relevanz und

der geplanten Kosten vor (SSK 2016). Diese war mit der Priorisierung durch das BfS weitestgehend deckungsgleich.

Im Juli 2017 wurde das Forschungsprogramm bei einer Auftaktveranstaltung in Berlin vorgestellt. Eine darauffolgende Online-Konsultation ermöglichte es nationalen und internationalen Experten, Behördenvertretern und der interessierten Öffentlichkeit, sich an der Ausgestaltung des Forschungsprogramms zu beteiligen. Dabei konnten zwei Monate lang die Relevanz des gesamten Forschungsprogramms oder einzelner Themenfelder bewertet und Anregungen zur Schwerpunktsetzung oder zur Konzeption des Forschungsprogramms gegeben werden. In diesem Zeitraum sind insgesamt 240 Bewertungen und 163 Kommentare eingegangen, hiervon 14 Bewertungen und fünf Kommentare über die englischsprachige Website. Der Großteil der Bewertungen stammte von interessierten

Bürgerinnen und Bürgern (ABBILDUNG 1). Die Kommentare waren überwiegend positiv, und die große Mehrheit (95 Prozent) stufte das Forschungsprogramm als sehr wichtig ein. Das BfS erreichten auch zahlreiche Kooperationsangebote und ergänzende Projektvorschläge. Die Kommentare wurden zusammengefasst und auf den Internetseiten des BfS veröffentlicht. Einige Vorschläge werden bei der Planung weiterer Projekte berücksichtigt werden, so zum Beispiel der Einfluss niederfrequenter Felder auf Tiere und Pflanzen, auf oxidativen Stress sowie auf den Schlaf.

FORSCHUNG IN ACHT THEMENFELDERN

1. NEURODEGENERATIVE ERKRANKUNGEN

Neurodegenerative Erkrankungen sind Erkrankungen des zentralen oder des peripheren Nervensystems, bei denen es zur Degeneration und zum Absterben von Nervenzellen kommt. Dies führt zu Funktionsstörungen des Gehirns (z.B. Gedächtnisstörungen, Demenzen) und des Bewegungsapparats (z.B. Multiple Sklerose, Parkinson-Krankheit, Amyotrophe Lateralsklerose [ALS]).

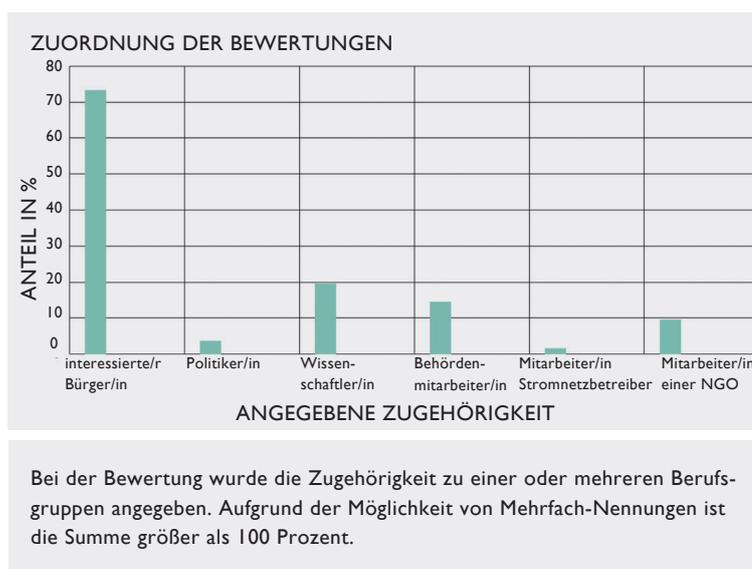
Beobachtungsstudien am Menschen (epidemiologische Studien) zeigen bei beruflich hoch exponierten Personengruppen einen schwachen Zusammenhang zwischen Magnetfeldexpositionen und ALS (Huss 2018) beziehungsweise Alzheimer-Demenz (AD) (Jalilian et al. 2017). Demgegenüber zeigen epidemiologische Studien keinen Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und der Parkinson-Krankheit beziehungsweise multipler Sklerose (Feychting et al. 2003). Tierexperimentelle Studien konnten die positiven epidemiologischen Befunde zur beruflichen Exposition mit Magnetfeldern und ALS beziehungsweise AD bisher nicht bestätigen, auch ist ein Wirkmechanismus nicht bekannt (Liebl et al. 2015).

	THEMENFELD	ANZAHL DER PROJEKTE
1	Niederfrequente Magnetfelder und neurodegenerative Erkrankungen	7
2	Bestimmung von Wahrnehmungs- und Wirkungsschwellen	4
3	Leukämie im Kindesalter und Magnetfeldexposition	8
4	Kokanzerosenität von Magnetfeldexposition	1
5	Magnetfeldexposition und Fehlgeburtenrate	1
6	Auftrete, Ausbreitung, Absorption von Korona-Ionen	4
7	Exposition und Dosimetrie	4
8	Risikowahrnehmung und Risikokommunikation	7

Für AD liegt aus einer Studie zusätzlich ein Hinweis auf eine Zunahme des Risikos mit der Wohndauer bei Personen, die innerhalb von 50 Metern Entfernung von einer Hochspannungsleitung wohnen, vor (Huss et al. 2009). Aus einer anderen Studie gibt es schwache Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Personen, die innerhalb von 50 Metern von einer Hochspannungsleitung wohnten und die bei Diagnose jünger als 75 Jahre waren (Frei et al. 2013). Insgesamt sprechen die Befunde jedoch eher nicht für erhöhtes AD-Risiko in der Nähe von Hochspannungsleitungen. Für ALS

TABELLE I
Themenfelder des Forschungsprogramms jeweils mit Anzahl der durchzuführenden Projekte.

ABBILDUNG 1
Gruppenzugehörigkeiten der 240 Bewertungen.
Quelle: BfS.



wurde kein statistischer Zusammenhang mit Wohnorten in der Nähe von Stromleitungen gefunden (Röösli et al. 2018).

Expertinnen und Experten aus der Medizin, Epidemiologie, Neurobiologie und dem Strahlenschutz kamen im Dezember 2017 in München zu einem internationalen Workshop zusammen. Sie informierten und diskutierten über den aktuellen Forschungsstand bezüglich des Zusammenhangs zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldexposition und über die bestehenden Kenntnislücken. Die Ergebnisse aus dem Workshop, vor allem Hinweise auf neue, möglicherweise besser geeignete Tiermodelle, werden bei der Initiierung weiterer Forschungsvorhaben und der Präzisierung der Methoden genutzt.

In weiteren Schritten werden aktuell vorliegende epidemiologische Daten einer gepoolten Analyse und einer Metaanalyse unterzogen, um den Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldern oder auch Stromschlägen nochmals zu prüfen. Sollten die bisherigen Erkenntnisse bestätigt werden, wird versucht, in Tierstudien und Studien an Zellkulturen zu prüfen, ob es sich um einen kausalen Zusammenhang handelt. Außerdem wird nach möglichen Wirkmechanismen gesucht. Voraussetzung dafür sind geeignete Tiermodelle und Zelllinien.

2. WAHRNEHMUNGS- UND WIRKUNGSSCHWELLEN

Elektrische und magnetische Felder können unter besonderen Umständen wahrgenommen und als unangenehm empfunden werden oder auf Körperfunktionen einwirken. Niederfrequente Magnetfelder induzieren im Körper elektrische Ströme und Felder (ABBILDUNG 2), die deutlich oberhalb der Grenzwerte zur Reizung von Nerven und Muskeln führen. Statische und niederfrequente elektrische Felder von Freileitungen können bei ausreichend hohen Feldstärken direkt wahrgenommen werden. Zudem können sich leitfähige Objekte wie zum Beispiel

Autos, die sich unterhalb von Stromleitungen befinden, elektrisch aufladen. Bei Berührung der Metalloberfläche des Autos durch Personen kann es zu Funkenentladungen und Kontaktströmen kommen. Entsprechend der 26. BImSchV sind derartige störende und unangenehme Ereignisse unterhalb von Stromfreileitungen zu vermeiden. Allerdings sind die Wahrnehmungsschwellen von Menschen und vor allem ihre Abhängigkeit von Alter und Geschlecht nur unzureichend bekannt. Die Randbedingungen, unter denen es zu den genannten Ereignissen kommt, müssen ebenfalls genauer untersucht werden.

Um diese Fragen zu klären, wurde als erster Schritt im Oktober 2016 in München der Internationale „Workshop zu Wirkungs- und Wahrnehmungsschwellen statischer und niederfrequenter magnetischer und elektrischer Felder und Kontaktströmen beim Menschen“ (BfS 2018a) durchgeführt. Führende Expertinnen und Experten auf den Gebieten der Dosimetrie und Neurobiologie waren vertreten und gaben eine Übersicht zum aktuellen Forschungsstand. Die anschließende Diskussion diente der Identifizierung von Kenntnislücken und Forschungsschwerpunkten, die eine Präzisierung der weiteren geplanten Forschungsvorhaben ermöglicht. Forschungsbedarf wurde vor allem bei Wahrnehmungsschwellen von statischen elektrischen Feldern sowie der Wahrnehmung und dem Auftreten von Kontaktströmen und Funkenentladungen gesehen. Zu diesen Endpunkten sind weitere Forschungsvorhaben geplant.

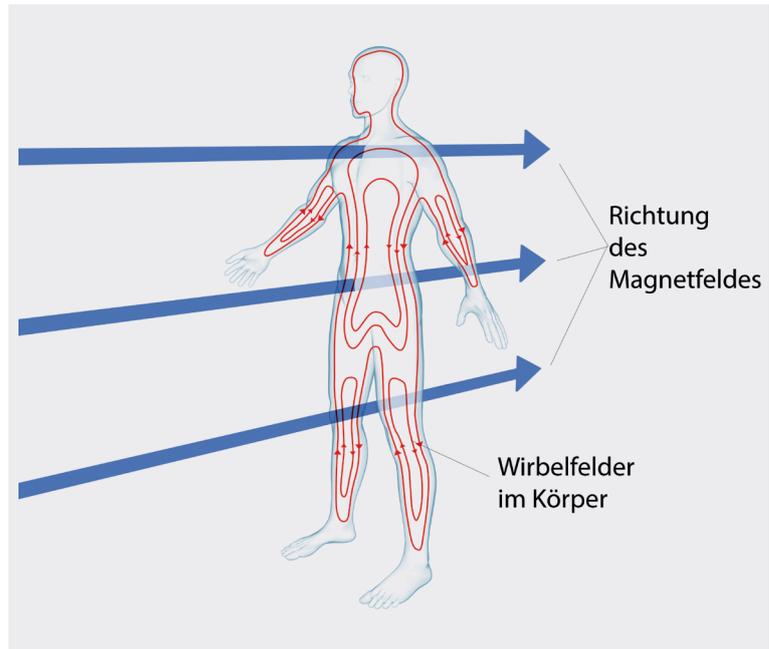
3. LEUKÄMIEN IM KINDESALTER UND MAGNETFELDEXPOSITION

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC), eine Einrichtung der Weltgesundheitsorganisation (WHO), stufte niederfrequente Magnetfelder bereits 2001 als "möglicherweise kanzerogen" (Gruppe 2b) ein. Diese Klassifizierung basiert auf der in mehreren epidemiologischen Studien konsistent beobachteten statistischen Assoziation zwischen schwachen niederfrequenten Magnetfeldern und einem leicht erhöhten

Risiko für Leukämien im Kindesalter. Zu diesem Thema initiierte das BfS seit 2008 mehrere internationale Workshops, teilweise in Kooperation mit der WHO, der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) und anderen nationalen Strahlenschutzbehörden oder Gremien. Im Jahr 2010 wurde zusammen mit pädiatrischen Onkologen eine interdisziplinäre Forschungsagenda (Ziegelberger et al. 2011) erarbeitet, mit dem Ziel, die komplexen Ursachen von Leukämien im Kindesalter zu klären. Auf dieser Basis wurden einige der Themenschwerpunkte aufgegriffen und entsprechende Pilotprojekte initiiert. Die Ergebnisse von fünf Pilotstudien sind im Online-Repositorium DORIS des BfS veröffentlicht (Borkhardt et al. 2015, 2016; Stanulla et al. 2015; Lightfoot et al. 2016; Zeeb et al. 2016) und legen als nächste Schritte weitere Folgeforschungsvorhaben nahe: In Planung sind neben epidemiologischen Studien (Metaanalyse, bei Bedarf gepoolte Analyse, Beteiligung an einer Geburtenkohorte) auch molekularbiologische und genetische Untersuchungen zu den Ursachen von Leukämien bei Kindern, sowie experimentelle Studien an geeigneten Tiermodellen während einer Magnetfeldexposition.

Seit langem wird ein geschwächtes beziehungsweise nicht ausgereiftes Immunsystem als eine der Ursachen für Leukämien im Kindesalter vermutet. Ein neu entwickeltes Mausmodell soll klären, ob sich die in Pilotstudien beobachteten Magnetfeldeffekte auf zytotoxische T-Zellen (eine bestimmte Art von Immunzellen) bestätigen lassen. Ein entsprechendes Forschungsvorhaben wird derzeit am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und experimentelle Medizin (ITEM) in Hannover durchgeführt. Die ersten Ergebnisse dieser Studie werden Ende 2018 erwartet.

Im November 2016 fand der fünfte vom BfS organisierte internationale Workshop zum Stand der Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter statt (BfS 2018b), 2019 ist ein weiterer Workshop zum Austausch des Kenntnisstandes geplant.



4. KO-KANZEROGENITÄT VON MAGNETFELDEXPOSITION

Die WHO (2007) empfiehlt mit hoher Priorität, Tierstudien und In vitro-Studien zu einer möglichen ko-karzinogenen Wirkung von Magnetfeldern durchzuführen. Eine aktuelle Studie (Soffritti et al. 2016) an Ratten, die lebenslang, das heißt pränatal bis zum natürlichen Tod, niederfrequenten Magnetfeldern und zusätzlich einer einmaligen Dosis ionisierender Strahlung ausgesetzt wurden, zeigte signifikant erhöhte Erkrankungsraten bei mehreren Tumorarten. Diese Ergebnisse sollen überprüft werden.

5. FEHLGEBURTENRATE

Aufgrund einzelner Hinweise zu beruflicher und häuslicher Magnetfeldexposition (z.B. durch die Nutzung von Heizdecken) wurde die Fehlgeburtenrate als zu untersuchender Endpunkt in die WHO-Forschungsagenda (WHO 2007) aufgenommen. Allerdings gab die WHO der Untersuchung dieses Endpunkts keine hohe Priorität, da die bestehende Evidenz für einen Zusammenhang als sehr schwach eingestuft wird. Da aber ein solcher

ABBILDUNG 2

Niederfrequente Magnetfelder durchdringen den menschlichen Körper und induzieren im Körperinneren elektrische Wirbelfelder.

Quelle: BfS.

Zusammenhang aufgrund der großen Anzahl von Magnetfeld-exponierten Personen insgesamt von großer Tragweite wäre, wird eine Verbesserung der Datenlage angestrebt. In einem epidemiologischen Vorhaben soll das Fehlgeburtsrisiko an einer bereits bestehenden Kohorte mit vorhandenen Daten zu häuslichen und/oder beruflichen Magnetfeldexpositionen ausgewertet werden.

6. AUFTRETEN, AUSBREITUNG UND ABSORPTION VON KORONA-IONEN

Durch den bei Hochspannungsleitungen auftretenden Korona-Effekt können an Freileitungsseilen Luftmoleküle und Aerosole elektrisch aufgeladen und durch Wind über vergleichsweise große Distanzen verbreitet werden. 1996 wurde in England die Hypothese entwickelt, dass so erzeugte geladene Partikel das Risiko der Anwohnerinnen und Anwohner für Atemwegserkrankungen erhöhen (Henshaw et al. 1996; Fews et al. 1999). Wissenschaftliche Beweise für diese Vermutung gibt es nicht. Die britische Strahlenschutzbehörde (früher National Radiological Protection Board/NRPB, jetzt Public Health England/PHE) schätzt ein zusätzlich erhöhtes Gesundheitsrisiko durch an herkömmlichen HWÜ-Leitungen aufgeladene Luftschadstoffe als unwahrscheinlich beziehungsweise sehr gering ein (NRPB 2004), sieht in Detailfragen jedoch noch Forschungsbedarf.

Da davon ausgegangen wird, dass die Ladungswolken bei HGÜ-Leitungen im Vergleich zu HWÜ-Leitungen zeitlich stabiler sind beziehungsweise sich weiter verbreiten, gewinnt die Hypothese eine neue Bedeutung. Die Frage, ob Luftschadstoffe aus dem Untergrund (z.B. Radon und seine Zerfallprodukte), aus industriellen Prozessen oder aus dem Verkehr, in Abhängigkeit von ihrem elektrischen Ladungszustand verstärkt vom Körper aufgenommen werden und somit ein höheres Gesundheitsrisiko darstellen, ist nicht abschließend geklärt.

Das BfS wird zunächst eine Literaturstudie vergeben, die den wissenschaftlichen Kenntnisstand zur Entstehung, Konzentration und

Ausbreitung von ionisierten Luftmolekülen und Staubpartikeln ermitteln wird. Die Forschungsnehmer werden die herkömmlichen HWÜ-Leitungen mit den geplanten HGÜ-Leitungen vergleichen und dabei auch die Abhängigkeit von Witterungsbedingungen berücksichtigen. Sie werden potenzielle Gesundheitsrisiken ermitteln, Wissenslücken identifizieren und Forschungsansätze sowie geeignete Untersuchungsmethoden vorschlagen. Die weitere Forschung wird von den Ergebnissen der Literaturstudie abhängen.

7. EXPOSITIONSANALYSE UND EXPOSITIONSBEWERTUNG

Die bei der Exposition mit niederfrequenten Feldern im Körper hervorgerufenen Feldgrößen können zum Teil nur mit großen Unsicherheiten angegeben werden. So weist der unabhängige Wissenschaftliche Ausschuss der Europäischen Union (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks / SCENIHR) zum Beispiel auf einen Mangel an Daten und systematischen Studien zu den dielektrischen Eigenschaften von Geweben bei niedrigen Frequenzen hin. Die WHO empfiehlt in ihrer Forschungsagenda zu niederfrequenten Feldern, dosimetrische Modelle für Gewebe und Gewebestrukturen, die besonders sensitiv für induzierte elektrische Felder sind, zu verbessern (WHO 2007). Auch internationale Fachgesellschaften wie das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) und das International Committee on Electromagnetic Safety (ICES) haben in diesem Zusammenhang Forschungsbedarf identifiziert (Reilly et al. 2016). Hierzu soll vom BfS ein Beitrag geliefert werden.

Bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von Anlagen für die elektrische Energieversorgung sollte aus Vorsorgegründen darauf geachtet werden, dass die Exposition der Bevölkerung nicht wesentlich erhöht wird (ABBILDUNG 3). Untersuchungen zu niederfrequenten Magnetfeldern in Deutschland, die vor allem vor dem Jahr 2000 in der Bevölkerung durchgeführt wurden, haben zeitlich gemittelte Expositionen von etwa 0,1 Mikro-

tesla bei 50 Hertz ergeben. Diese Daten sollen aktualisiert und auf weitere Frequenzbereiche ausgedehnt werden.

Außerdem sind entsprechend der 26. BimSchV Anlagen für die elektrische Energieversorgung so zu betreiben, dass keine erheblichen Belästigungen durch Berührungsspannungen (Kontaktströme, Entladung beim Berühren aufgeladener, nicht geerdeter Gegenstände) und Funkenentladungen verursacht werden. Das Auftreten dieser Effekte soll näher untersucht werden.

8. RISIKOWAHRNEHMUNG UND RISIKOKOMMUNIKATION

Neben Aspekten des Natur- und Umweltschutzes sowie der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes prägen Fragen zu den gesundheitlichen Risiken durch statische und niederfrequente Felder die Diskussionen vor Ort und die Medienberichterstattung. Neben sachlichen Argumenten sind stets auch Emotionen und Ängste in der Bevölkerung ein wichtiger Bestandteil dieser Diskussionen.

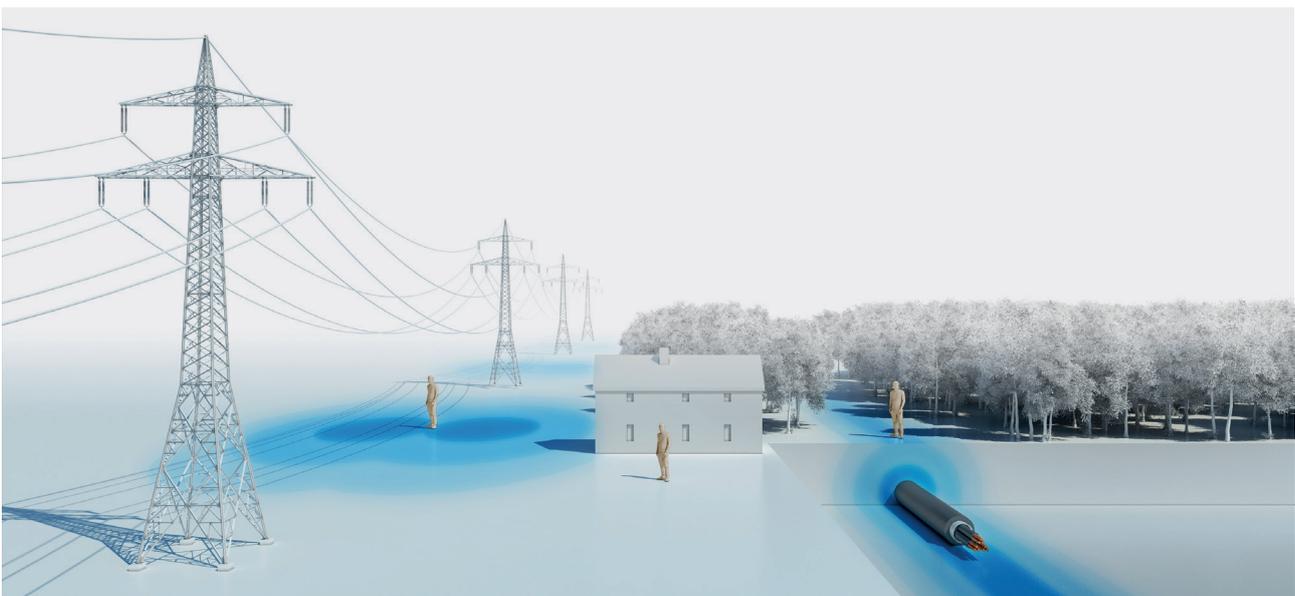
Die Thematik ist, was die technische Ausgestaltung der Anlagen zur Stromversorgung, aber auch die möglichen gesundheitlichen Risiken durch die elektrischen und magnetischen Felder betrifft, sehr komplex.

Für die Bürgerinnen und Bürger ist es daher schwierig, alle damit verbundenen Aspekte zu überblicken und zu bewerten. Auch Behördenmitarbeiter und -mitarbeiterinnen sowie politische Mandatsträger und -trägerinnen verfügen oftmals nicht über ein ausreichendes Fachwissen, um alle Fragen kompetent beantworten zu können.

Dieser Teil des Forschungsprogramms ermittelt die Kenntnisse und die Risikowahrnehmung der Bürgerinnen und Bürger sowie deren Informationsbedürfnisse. Ausgehend davon wird geklärt, wie die Informationen aufbereitet werden müssen und wie sie zu vermitteln sind, um eine möglichst breite Öffentlichkeit und vor allem die Betroffenen zu erreichen. Außerdem wird untersucht, welche Faktoren für die Meinungsbildung in der Öffentlichkeit ausschlaggebend sind und wie die Glaubwürdigkeit der beteiligten Behörden und das Vertrauen in die handelnden Personen erhöht werden können.

Die Projekte im Forschungsschwerpunkt Risikokommunikation sollen der Verunsicherung der Bürgerinnen und Bürger bezüglich der gesundheitlichen Wirkungen von Stromleitungen entgegenwirken. Ziel ist es, einen Beitrag dafür zu leisten, dass sich die Bürgerinnen und Bürger anhand der vorlie-

ABBILDUNG 3
In der Nähe von Freileitungen und Erdkabeln breiten sich Magnetfelder (blau) aus und führen zur Exposition der Bevölkerung. Quelle: BfS.



genden Informationen ihre eigene fundierte Meinung bilden können.

Das BfS führte Ende November 2017 am BfS-Standort in München ein Fachgespräch durch, in dem die bisherigen Erkenntnisse aus der sozialwissenschaftlichen Forschung mit der interessierten sowie der Fachöffentlichkeit diskutiert wurden (BfS 2018c). Themenschwerpunkte waren Diskursgestaltung, Glaubwürdigkeit, Vertrauen, Transparenz und "Lessons Learned" aus bisherigen Praxisbeispielen des Stromnetzausbaus.

Repräsentative und regelmäßige Umfragen werden eine geeignete Ausgangsbasis bieten, um mit zielgruppenspezifischen Informations- und Kommunikationsmaßnahmen auf die Sorgen und Bedürfnisse der Bevölkerung einzugehen.

Aktuelle Informationen zum Verlauf des Forschungsprogramms können unter http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html abgerufen werden.

LITERATUR

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018a): Action and perception thresholds of static and ELF magnetic and electric fields and contact currents in humans. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018011814498> (Zugriff am: 01.08.2018).

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018b): 5th International Workshop on the Causes of Childhood Leukemia - Vorhaben 3616102233. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018050314817> (Zugriff am: 01.08.2018).

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018c): BfS-Fachgespräch: Risikokommunikation beim Stromnetzausbau. Kurzbericht. <http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/fg-risikokommunikation.html> (Zugriff am 30.05.2018).

Borkhardt A, Sanchez-Garcia I, Cobaleda C et al. (2015): Übersicht über vorhandene Tiermodelle, die für die Leukämieforschung angewandt werden könnten - Vorhaben 3612570029. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015012912274> (Zugriff am: 01.08.2018).

Borkhardt A, Slany R (2016): Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden - Vorhaben 3612570019. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016082614074> (Zugriff am: 01.08.2018).

Fews A, Henshaw DL, Keitch PA et al. (1999): Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines. *Int J Radiat Biol* 75 (12): 1505–1521.

Feychting M, Jonsson F, Pedersen NL et al. (2003): Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidemiology* 14 (4): 413–419; discussion 427–418.

Frei P, Poulsen AH, Mezei G et al. (2013): Residential distance to high-voltage power lines and risk of neurodegenerative diseases: a Danish population-based case-control study. *Am J Epidemiol* 177(9): 970–978.

Henshaw DL, Ross AN, Fews AP et al. (1996): Enhanced deposition of radon daughter nuclei in the vicinity of power frequency electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol* 69 (1): 25–38.

Huss A, Peters S, Vermeulen R (2018): Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of ALS: A systematic review and meta-analysis. *Bioelectromagnetics* 39 (2): 156–163.

Huss A, Spoerri A, Egger M et al. (2009): Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol* 169(2): 167–175.

Jalilian H, Teshnizi SH, Roosli M et al. (2017): Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and risk of Alzheimer disease: A systematic review and meta-analysis. *Neurotoxicology*. DOI: 10.1016/j.neuro.2017.12.005.

Liebl MP, Windschmitt J, Besemer AS et al. (2015): Low-frequency magnetic fields do not aggravate disease in mouse models of Alzheimer's disease and amyotrophic lateral sclerosis. *Sci Rep*. 5: 8585.

Lightfoot T, Starr L, Erdmann F et al. (2016): Untersuchungen zum Zusammenwirken umweltbedingter Risikofaktoren mit genetischen und weiteren endogenen Faktoren bei der Entstehung von Leukämie im Kindesalter - Teilvorhaben 4: Pilotstudie zum Vergleich der Inzidenz von Leukämie im Kindesalter in verschiedenen Ländern - Vorhaben 3611570028 <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016111114156> (Zugriff am: 01.08.2018).

NRPB – National Radiological Protection Board (2004): Particle deposition in the vicinity of power lines and possible effects on health. Documents of the NRPB, Volume 15 (1).

Reilly JP, Hirata A (2016): Low-frequency electrical dosimetry: research agenda of the IEEE International Committee on Electromagnetic Safety. *Phys. Med. Biol.* 61:R138-R149.

Rööslä M, Jalilov H (2018): A meta-analysis on residential exposure to magnetic fields and the risk of amyotrophic lateral sclerosis. *Rev Environ Health*. DOI: 10.1515/reveh-2018-0019.

Soffritti M, Tibaldi E, Padovani M et al. (2016): Life-span exposure to sinusoidal-50 Hz magnetic field and acute low-dose gamma radiation induce carcinogenic effects in Sprague-Dawley rats. *Int J Radiat Biol* 92 (4): 202–214.

SSK – Strahlenschutzkommission (2016): Forschungsprogramm zur Verbesserung der Risikobewertung und Risikokommunikation beim Stromnetzausbau. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2016/2016-12-01_Stn_Stromnetzausbau_KT.html (Zugriff am: 01.08.2018).

Stanulla M, Borkhardt A, Eckert C et al. (2015): Untersuchungen zum Zusammenwirken umweltbedingter Risikofaktoren mit genetischen und weiteren endogenen Faktoren bei der Entstehung von Leukämie im Kindesalter. Pilotstudie: Sequenzierung und bioinformatische Auswertung - Vorhaben 361 IS70014. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2015012912280> (Zugriff am: 01.08.2018).

WHO – Weltgesundheitsorganisation (2007): Research Agenda for Extremely Low Frequency Fields. http://www.who.int/peh-emf/research/elf_research_agenda_2007.pdf?ua=1 (Zugriff am: 03.08.2018).

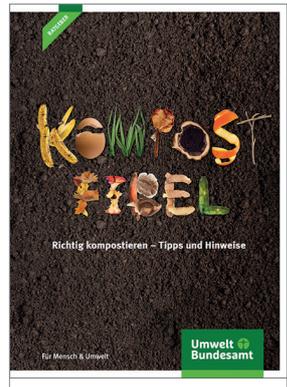
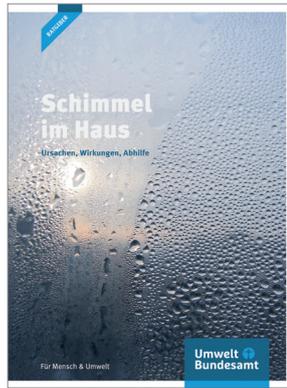
Zeeb H, Günther K, Ernst S (2016): Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien (prospektive Forschungsansätze) - Vorhaben 361 IS70020. <http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2016120814182> (Zugriff am: 01.08.2018).

Ziegelberger G, Baum C, Borkhardt A et al. (2011): Research recommendations toward a better understanding of the causes of childhood leukemia. *Blood Cancer Journal* 107 (3): 312–314.

KONTAKT

Blanka Pophof
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim/Neuherberg
E-Mail: [bpophof\[at\]bfs.de](mailto:bpophof[at]bfs.de)

[BfS]



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