

AUS DEM INHALT:

- **NEUARTIGE MATERIALIEN – EINE NEUE HERAUSFORDERUNG FÜR DEN UMWELT- UND GESUNDHEITSSCHUTZ?**
- STRAHLENSCHADEN UND ALTER – WARUM KINDER BESONDERS EMPFINDLICH AUF STRahlung REAGIEREN
- PRÄVENTION VON ADIPOSITAS BEI HERANWACHSENDEN: KLEINRÄUMIGE DATEN ZU PRÄVALENZ UND DETERMINANTEN



● UMWELT + MENSCH INFORMATIONSDIENST

NR. 2/2021



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

IMPRESSUM IMPRINT

UMID – UMWELT + MENSCH
INFORMATIONSDIENST
Nr. 2/2021
November 2021

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

HERAUSGEBER

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

REDAKTION

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

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

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

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

GESAMTKOORDINATION

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

E-MAIL FÜR UMID

umid@uba.de

UMID IM INTERNET

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

LAYOUT

Odenthal Design
<https://www.odenthal-design.de>

DRUCK

Appel & Klinger Druck und Medien GmbH
<https://www.ak-druck-medien.de>

TITELBILD

TheDigitalArtist / pixabay.com / CC0

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

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



Dieses Druckerzeugnis ist mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

INHALT CONTENT

7

Neuartige Materialien – eine neue Herausforderung für den Umwelt- und Gesundheitsschutz?

Advanced Materials – a new challenge for environmental and health protection?

DORIS VÖLKER, KATHRIN SCHWIRN, VOLKER BACHMANN,
ROLF PACKROFF, JUTTA TENTSCHEIT, ANDREA HAASE

15

Entlastung des Altpapierkreislaufes durch mineralölfreien Zeitungsdruck – neue Forschungsergebnisse

Development of mineral oil free coldest inks to protect the recovered paper cycle – latest research results

ALMUT REICHART, PHILIPP STOLPER

27

Charakterisierung von Emissionen aus Holzkohlegrills und ihr Einfluss auf die Luftqualität

Characterization of emissions from charcoal grills and their influence on ambient air quality

CHRISTIAN LIESEGANG, MOHAMMAD ALEISA, MATHIAS BARTHEL,
THOMAS PILLHOFER, ALFRED TRUKENMÜLLER

39

Feinstaubbelastung Neujahr 2020 und 2021: Vergleich der Auswertungen zweier Pollenfallen in Berlin

Particulate matter Pollution at New Year 2020 and 2021: Comparing two pollen traps in Berlin

CAROLA EMANUEL, KATRIN SÜRING, WOLFGANG STRAFF

47

Arbeitshilfe zur Entwicklung und Implementierung von kommunalen Hitzeaktionsplänen veröffentlicht

Working aid for the development and implementation of municipal heat-health action plans published

BEATE BLÄTTNER †, DEBORA JANSON, HENNY ANNETTE GREWE

INHALT
CONTENT

57

**Prävention von Adipositas bei Heranwachsenden:
Welche kleinräumigen Daten zu Prävalenz und
Determinanten sind in Deutschland verfügbar?**

*Childhood obesity prevention: Which data on a small scale
are available on prevalence and determinants in Germany?*

GIANNI VARNACCIA, SUSANNE JORDAN

67

**Strahlenschaden und Alter – Warum Kinder
besonders empfindlich auf Strahlung reagieren**

*Radiation damage and age – why are children specifically
sensitive for radiation exposure*

MARIA GOMOLKA

77

**Zum Schutz der psychischen Gesundheit –
Unterstützung von Einsatzkräften in einem
radiologischen Notfall**

*Protecting mental health – supporting emergency responders
in radiological emergencies*

CHRISTIANE PÖLZL-VIOL

Neuartige Materialien – eine neue Herausforderung für den Umwelt- und Gesundheitsschutz?

Advanced Materials – a new challenge for environmental and health protection?

ZUSAMMENFASSUNG

Druckbare Elektronik, Leichtbauelemente für Autos oder Nanocarrier-Systeme für medizinische Zwecke sind funktionale Materialien, die als wichtige Beispiele für neuartige Materialien gelten. Neuartige Materialien entstehen durch die gezielte Kombination von chemischen Bausteinen, um sehr präzise interne und/oder externe Strukturen und dadurch besondere Eigenschaften und neuartige Funktionen zu erzielen. Sie versprechen ein großes Anwendungspotenzial in verschiedenen Bereichen, zum Beispiel bei erneuerbaren Energien, in der Medizin oder zur Ressourcenschonung. Allerdings lässt sich derzeit nur schwer abschätzen, welche neuartigen Materialien in Zukunft tatsächlich zum Einsatz kommen werden und inwieweit der bestehende rechtliche Rahmen und andere Maßnahmen geeignet sind, um die Sicherheit für Mensch und Umwelt und weitere Aspekte der Nachhaltigkeit von neuartigen Materialien entlang ihres Lebenszyklus zu gewährleisten. Der Artikel stellt Handlungsoptionen aus behördlicher Sicht vor.

ABSTRACT

Printable electronics, lightweight components for cars or nanocarrier systems for medicine are functional materials that are examples of advanced materials. Advanced materials are built up through a targeted combination of chemical building blocks to achieve very precise internal and external structures, and thus feature specific properties and new functions. Advanced materials promise great application potential in various areas such as renewable energies, health care or resource conservation. However, it is currently difficult to assess which novel materials will be actually used in the future and to what extent the existing legal framework or other measures will be suitable for addressing safety for human and environment as well as aspects of sustainability of advanced materials along their life cycle. To address these questions, options to act from an authority perspective are presented.

HERAUSFORDERUNGEN FÜR CHEMIKALIENSICHERHEIT UND NACHHALTIGKEIT ERKENNEN

Der Begriff „neuartige Materialien“ (auch „advanced materials“ oder innovative Materialien) bezieht sich auf Materialien, die

im Vergleich zu herkömmlichen Materialien verbesserte oder neue Eigenschaften aufweisen. Daher ist der Begriff zeitabhängig. Was heute als „neuartig“ betrachtet wird, könnte morgen bereits als „herkömmlich“ angesehen werden. Zudem umfasst der Begriff eine große Vielfalt von Materialien mit sehr unterschiedlichen Strukturen, Eigenschaften und Funktionalitäten. Dies erschwert das

DORIS VÖLKER¹,
KATHRIN SCHWIRN¹,
VOLKER BACHMANN²,
ROLF PACKROFF²,
JUTTA TENTSCHEIT³,
ANDREA HAASE³

1 Umweltbundesamt
2 Bundesanstalt für
Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin
3 Bundesinstitut für
Risikobewertung



Neuartige Konstruktionswerkstoffe und Funktionsmaterialien sind die Grundlage für innovative Technologien: Lastencopter Papillon des Designbüros Reichert in der DASA Arbeitswelt Ausstellung, Dortmund.
Foto: R. Packroff.

Verständnis darüber, welche Materialien und Werkstoffe der Begriff tatsächlich umfasst. Im folgenden Beitrag sollen als neuartige Materialien nur solche Materialien verstanden werden, die zum einen gezielt und zum anderen durch die präzise Kontrolle ihrer Zusammensetzung, was die interne und externe Struktur einschließt, hergestellt wurden. So sollen sie neue funktionelle Ansprüche der Anwendungen erfüllen können.

Neuartige Materialien versprechen neue technische Lösungen, um globale Herausforderungen wie den Klimawandel, die Energiewende, die Digitalisierung oder besseren Gesundheitsschutz zu meistern. Aufgrund der Komplexität dieser Herausforderungen, der vielen unterschiedlichen Einsatzgebiete von neuartigen Materialien und deren Vielfalt bestehen offene Fragen hinsichtlich möglicher Konsequenzen für die Sicherheit von Mensch

und Umwelt und die bestehenden Regelungen zur Chemikaliensicherheit. Neben dem möglichen Nutzen dieser Materialien müssen auch ihre potenziellen Risiken frühzeitig erkannt und geeignete Maßnahmen für einen sicheren Lebenszyklus getroffen werden.

Um die offenen Fragen, die sich durch die Verwendung von neuartigen Materialien für die Chemikaliensicherheit ergeben, genauer beschreiben zu können, startete das Umweltbundesamt (UBA) im Sommer 2019 ein Forschungsprojekt mit finanzieller Förderung durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Im Rahmen dieses Vorhabens untersuchten die Ökopol GmbH und die Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), welche Materialien sich derzeit in der Entwicklung befinden und welche möglichen Einsatzfelder sich für diese Materialien ergeben könnten. Des Weiteren

entwickelten sie einen Ansatz, um das breite und hochdynamische Feld der neuartigen Materialien in umgrenzte Materialkategorien zu unterteilen und erstellten einen Kriterienkatalog zur Bewertung der Relevanz von neuartigen Materialien im Kontext der Chemikaliensicherheit (Giese et al. 2020). Kernstück des Vorhabens war eine Serie aus internati-

onalen Themenkonferenzen, an der Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Behörden, Industrie und Zivilgesellschaft teilnahmen und sich über Wissenslücken und Handlungsbedarf für eine sichere und nachhaltige Anwendung von neuartigen Materialien austauschten (ABBILDUNG 1).

1. Themenkonferenz	RATIONALE DESIGN OF ADVANCED MATERIALS Rationales Design von neuartigen Materialien → Funktionalitäten und Anwendungen (Dezember 2019)
2. Themenkonferenz	IDENTIFICATION OF ACTION NEEDS ON CHEMICAL SAFETY Identifizierung des Handlungsbedarfs für die Chemikaliensicherheit → Ansätze zur Strukturierung des Feldes, Priorisierung und Bewertung (Juni 2020) → Bedenken im Kontext Chemikaliensicherheit zu neuartigen Materialien – bedenkliche neuartige Materialien (September 2020)
3. Themenkonferenz	IDENTIFICATION OF GOVERNANCE NEEDS Identifizierung des Steuerungsbedarfs → Handlungsoptionen (Juni 2021)

ABBILDUNG 1
 Übersicht über die Themenkonferenzen des Umweltbundesamtes (UBA) zu neuartigen Materialien.

Als Grundlage für die abschließenden Diskussionen diente dabei der Entwurf eines gemeinsamen Papiers der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) und des UBA, das Handlungsempfehlungen zur verantwortungsvollen Lenkung für den Umgang mit neuartigen Materialien im Rahmen der Chemikaliensicherheit vorschlägt. Die Veröffentlichung des finalen Papiers ist aktuell noch in Bearbeitung, die Inhalte des Papiers werden in diesem Beitrag vorab zusammengefasst.

SICHERE UND NACHHALTIGE ANWENDUNG STEUERN

Welche neuartigen Materialien zukünftig verwendet werden und inwieweit die bestehenden Rahmenbedingungen geeignet sind, ihre Sicherheit und Nachhaltigkeit entlang des Lebenszyklus zu adressieren, ist aktuell

nur schwer abzuschätzen. Daher ist ein gemeinsames Verständnis über die angemessene Steuerung, vor allem in der Förderung von neuartigen Materialien und deren Anwendungen wesentlich, bei denen die Chemikaliensicherheit und Aspekte der Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden.

FRÜHWARNSYSTEME ETABLIEREN

Hierfür müssen Strategien entwickelt werden, die es erlauben in einer möglichst frühen Phase der Materialentwicklung solche neuartigen Materialien zu erfassen, die eine mögliche Besorgnis hinsichtlich Sicherheit und Nachhaltigkeit erkennen lassen. Ein solches Frühwarnsystem benötigt angemessene Kriterien zur Ableitung und Bewertung einer Besorgnis. Hierzu eignen sich die bestehenden Kriterien der Europäischen Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von chemischen Stoffen und Gemischen in Gefahrenklassen (EC 2008). Diese Kriterien

sind allerdings nicht ausreichend, um potenziell bedenkliche Materialien („materials of concern“) zu erkennen. Zusätzlich sollte die Überprüfung auch bestimmte Materialeigenschaften berücksichtigen, die derzeit nicht durch die aktuell gültigen Gefahreigenschaften dieser Verordnung abgedeckt sind. Dies betrifft vor allem stoffübergreifende physikalische und morphologische Besonderheiten, wie zum Beispiel ein Potenzial zur Freisetzung lungengängiger biobeständiger Faserstäube, eine hohe Persistenz in der Umwelt oder eine Bioakkumulation in Umweltorganismen. Es sind auch Materialien zu berücksichtigen, die als Stoffe oder Gemische nicht unter die Europäische Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von chemischen Stoffen und Gemischen fallen, aber als Erzeugnisse oder im Abfallstadium gefährliche Stoffe freisetzen könnten. Zudem gilt es Kriterien zu entwickeln, die es erlauben, auch Nachhaltigkeitsaspekte, wie Kreislaufwirtschaft, CO₂-Fußabdruck oder Ressourcennutzung, zu berücksichtigen (ABBILDUNG 2).

Es sollte ein möglichst breiter interdisziplinärer Austausch über verschiedene Schutzziele und Zuständigkeiten hinweg angestrebt werden, um bedenkliche neuartige Materialien im Rahmen eines Frühwarnsystems zu identifizieren. Im Allgemeinen bestehen Frühwarnsysteme aus vier Phasen. In einer ersten Screening-Phase werden Frühwarnsignale aufgegriffen und in der zweiten Phase

bewertet und konkretisiert. In einer dritten Phase werden eine Risikoeinschätzung und Priorisierung vorgenommen. So sollen diejenigen Materialien identifiziert werden, die einer detaillierten Nachverfolgung bedürfen. Die letzte Phase endet mit einer Bewertung, ob bestehende rechtliche Rahmenbedingungen die neu identifizierten Risiken bereits ausreichend abdecken und mit der Ableitung der besten Handlungsoption. Im Rahmen eines Frühwarnsystems werden verschiedene Techniken mit dem Ziel eingesetzt, neue Entwicklungen in verschiedenen Bereichen ausreichend früh zu erkennen, um mögliche Einflüsse auf die Gesellschaft abzuschätzen. Neben dieser Radarfunktion für innovative Entwicklungen ist die zentrale Aufgabe eines Frühwarnsystems auch die initiale Bewertung der wissenschaftlichen Tragfähigkeit von Risikovermutungen. Genauer gesagt geht es im Kontext von neuartigen Materialien um neue Werkstoffe oder neue technologische Entwicklungen von Materialien und deren Nutzen und Herausforderungen unter Berücksichtigung von Human- und Umwelt Risiken sowie weiteren Aspekten der Nachhaltigkeit. Dabei sollte im Sinne des Vorsorgeprinzips von einem hohen Schutzniveau ausgehend überprüft werden, welches Maß an Besorgnis angebracht ist. Sollte sich eine anfängliche Besorgnis nicht entkräften lassen, gilt es, das einhergehende Risiko zu beschreiben und die Einleitung geeigneter Risikomanagementmaßnahmen zu adressieren.

ABBILDUNG 2

Kriterien für ein potenziell bedenkliches Material (englisch: Material of Concern) aus Sicht der Chemikaliensicherheit.

“Materials of Concern“

Ein bedenkliches Material (englisch: “Material of Concern (MoC)“) ist

- ▶ (i) ein Material, das die Kriterien für die Einstufung als "gefährlicher Stoff" oder "gefährliches Gemisch" im Sinne der in Anhang I der Verordnung (EG) 1272/2008 festgelegten Kriterien erfüllt oder
- ▶ (ii) ein Material, aus dem während seiner Herstellung oder seines gesamten Lebenszyklus gefährliche Stoffe oder Gemische gemäß (i) entstehen oder freigesetzt werden können oder
- ▶ (iii) ein Material, das die Kriterien (i) oder (ii) nicht erfüllt, aber aufgrund seiner morphologischen, physikalisch-chemischen, chemischen, toxikologischen oder ökotoxikologischen Eigenschaften bei seiner Herstellung oder in seinem Lebenszyklus eine Gefährdung für Mensch oder Umwelt darstellt.

Die Arbeiten innerhalb eines Frühwarnsystems basieren auf Literaturrecherchen, die verschiedene Quellen einbeziehen, aber auch auf einem intensiven Austausch zwischen Expertinnen und Experten aus verschiedenen Schutzbereichen. Zur Etablierung eines Frühwarnsystems für neuartige Materialien wurde daher im Jahr 2020 unter Federführung des BfR eine ressortübergreifende Arbeitsgruppe der Bundesoberbehörden eingerichtet. Die Arbeitsgruppe könnte als Beispiel dienen, um ähnliche Formate auch auf europäischer oder internationaler Ebene zu etablieren und diese untereinander zu vernetzen.

RECHTSRAHMEN MUSS SCHRITT HALTEN

Aufgrund der Vielfalt an neuartigen Materialien und deren potenziellen Anwendungen stellt sich natürlich die Frage, ob der bestehende Rechtsrahmen der Europäischen Chemikaliengesetzgebung geeignet und ausreichend ist, um die dann identifizierten Risiken adäquat abzudecken und zu managen. Das Ergebnis einer solchen Prüfung kann einen Anpassungsbedarf der rechtlichen Rahmenbedingungen oder auch der Bewertungsmethoden aufzeigen, zum Beispiel wenn Prüfrichtlinien und Bewertungsstrategien angepasst oder sogar neu entwickelt und implementiert werden müssen. Auch für neuartige Materialien gelten die bestehenden Regelungen der Chemikaliensicherheit, die sich an herstellende und Import-Firmen sowie weitere Aktive in der Lieferkette richten. Allerdings ist die Zuordnung von neuartigen Materialien zu den Rechtsbegriffen „Stoff“, „Gemisch“ und „Erzeugnis“ nicht immer einfach. Neben einer Stärkung der Beratung besteht auch ein Bedarf, die Chemikalienregelungen noch besser an die spezifischen Eigenschaften von Materialien anzupassen. Eine weitere Herausforderung ist die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in den derzeit vorrangig auf die Chemikaliensicherheit für Mensch und Umwelt ausgerichteten Rechtsrahmen.

Regulatorische Herausforderungen, die durch neue Technologien entstehen können, sollten frühzeitig erkannt und angegangen werden. Dieses regulatorische Vorbereitetsein (englisch „Regulatory Preparedness“) trägt dazu bei, dass neuartige Materialien und ihre Anwendungen möglichst schon vor dem Markteintritt einer geeigneten Sicherheitsbewertung unterzogen werden können. In Anlehnung an die Technologiereifestufen (englisch „Technology Readiness Level“ – TRL) für den Fortschritt von Forschung und Entwicklung bei technologischen Innovationen kann der Stand des regulatorischen Vorbereitetseins anhand von Regulierungsreifestufen von Prüf-, Mess- und Bewertungsmethoden (englisch „Regulatory Readiness Level“ – RRL) dargestellt werden (ABBILDUNG 3). Diese beschreiben entsprechend die Fortschritte bei der Entwicklung und Validierung von Mess-, Prüf- und Risikobewertungsmethoden für den regulatorischen Rahmen. Dazu sollten die Regulierungsreifestufen idealerweise immer auf einem vergleichbaren Niveau wie die entsprechenden Technologiereifestufen einer Innovation liegen. Positiv hervorzuheben ist, dass im neuen Forschungsrahmenprogramm „Horizont Europa“ der Europäischen Union die Förderung von Validierungs- und Standardisierungsmaßnahmen, zum Beispiel durch Ringversuche in verschiedenen Labors, gestärkt werden soll.

SICHERES UND NACHHALTIGES DESIGN FÖRDERN

Aufgrund der großen Herausforderungen im Rahmen der globalen Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (UN 2015) und des Europäischen Green Deals (Europäische Kommission 2019) kommt einer zukunftsfähigen Gestaltung von Materialinnovationen eine besondere Bedeutung zu. Potenzielle Gesundheits- und Umweltrisiken und der ökologische Fußabdruck der neuartigen Materialien und ihrer Anwendungen müssen frühestmöglich verstanden und beherrscht werden. In den vergangenen Jahren haben sich weltweit mehrere Initiativen im Rahmen

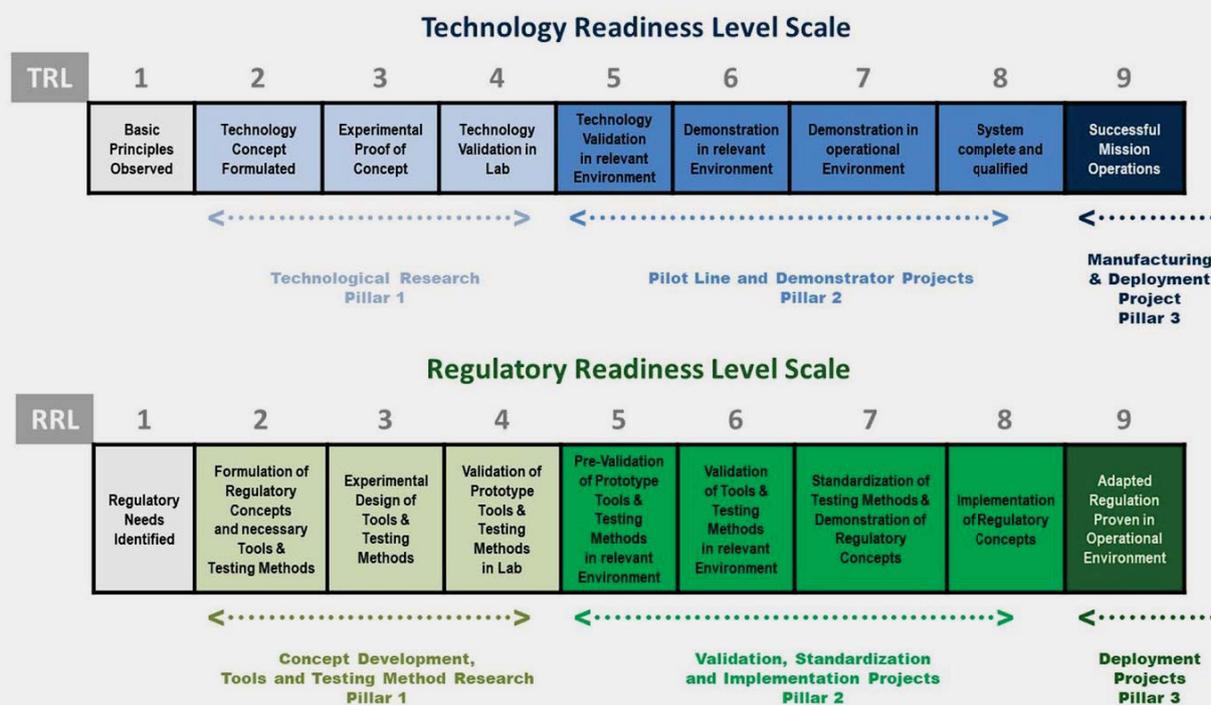


ABBILDUNG 3
 Vorschlag für eine die Technologiereifestufen (TRL) ergänzende Skala zur Regulierungsreife von Prüf-, Mess- und Bewertungsmethoden (RRL) nach Packroff und Meyer-Plath 2019 (Technology Readiness Level Scale aus: European Commission, High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies (2011), Finaler Bericht).

der Chemikaliensicherheit von Nanomaterialien mit der Entwicklung verschiedener Modelle und Werkzeuge für ein sogenanntes Safe(r)-by-Design befasst (OECD 2020). Als Erweiterung dieses Konzeptes kann ein noch zu entwickelndes, sogenanntes Safe(r)-and-Sustainable-by-Design-Konzept angesehen werden, das zusätzlich zur Sicherheit für Mensch und Umwelt auch Überlegungen zur Nachhaltigkeit einbezieht. Dabei sollte Safe(r)-and-Sustainable-by-Design als ein Ansatz verstanden werden, der Hersteller in ihren Innovations- und Entwicklungsprozessen von Materialien und Produkten unterstützt. Für eine erfolgreiche Etablierung, Umsetzung, Akzeptanz und Anwendung von Safe(r)-and-Sustainable-by-Design für neuartige Materialien sind abgestimmte und breit akzeptierte Kriterien und Indikatoren sowohl für Safe(r)-by-Design als auch für Sustainable-by-Design wesentliche Elemente. In dem Rahmen sollten auch bestehende Konzepte wie die der nachhaltigen Chemie

oder Erkenntnisse aus der Anwendung von Lebenszyklusanalysen einbezogen werden. Neben der Verminderung von stofflichen Risiken sollte Safe(r)-and-Sustainable-by-Design auch auf die Reduzierung des Bedarfs an (kritischen) Rohstoffen, die Stärkung der Wiederverwendung und des Recyclings abzielen, aber auch den Energiebedarf, mögliche Reboundeffekte und Lastenverschiebungen berücksichtigen. Damit die Idee des Safe(r)-and-Sustainable-by-Design ein Erfolg werden kann, sind Kooperation und Vernetzung auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene notwendig. Dazu gehören Beiträge von Industrie, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Behörden, um ein gemeinsames Verständnis über die Bedeutung von Safe(r)-and-Sustainable-by-Design zu finden. Entsprechende Kriterien und Indikatoren gilt es zu diskutieren und zu vereinbaren sowie den Wissenstransfer zu fördern, um sichere und nachhaltige Materialinnovationen zu gewährleisten.

KOOPERATION UND KOMMUNIKATION STÄRKEN

Sichere und nachhaltige Innovation erfordert einen vertrauensvollen, aufgeschlossenen Dialog. Nur so kann ein Austausch zwischen den verschiedenen Stakeholdern erfolgen, um Einblicke und Verständnis für die unterschiedlichen Perspektiven zu gewinnen sowie unterschiedliche Bedürfnisse und Anliegen kennenzulernen. Im Kontext neuartiger Materialien kann auf die Erfahrungen aus den jüngeren Diskussionen zur Chemikaliensicherheit von Nanomaterialien aufgebaut werden. Die bereits etablierten Infrastrukturen (z. B. Arbeitsgruppen, Beiräte und Dialogplattformen) können auch auf andere neuartige Materialien ausgeweitet werden und so die notwendigen Interaktionen der Interessensgruppen unterstützen.

FORSCHUNG ZU SICHERHEIT UND NACHHALTIGKEIT AUSBAUEN

Die Forschung spielt eine vielschichtige Rolle für die Gewährleistung sachgerechter Maßnahmen, mit denen die Risiken durch neuartige Materialien beherrscht werden können. Die im Rahmen des bestehenden Chemikalienrechts generierten Daten reichen teilweise nicht aus, um möglichst frühzeitig Risiken für Mensch und Umwelt adäquat zu erkennen und zu bewerten. Vorlaufforschung kann dazu beitragen, unabhängig von regulatorischen Vorgaben bereits vor dem Markteintritt mittels Screeningmethoden Wirkungs- und Expositionsdaten zu generieren und auch vorläufige Maßnahmen auf Basis des Vorsorgeprinzips der Europäischen Union zu begründen. Sie sollte auch darauf abzielen, den Bedarf zur Weiter- und Neuentwicklung von Prüf- und Bewertungsmethoden für die Fortschreibung des Regulierungsrahmens aufzudecken. Vorlaufforschung sollte ebenso Ansätze entwickeln und prüfen, die eine sichere und nachhaltige Entwicklung von neuartigen Materialien und ihren Anwendungen unterstützen. Um eine solche Entwicklung parallel zur Materialentwicklung

zu gewährleisten, muss die Risikoforschung zu den möglichen Auswirkungen von neuartigen Materialien und deren Anwendungen über den gesamten Lebenszyklus ein integraler Bestandteil geförderter Forschungs- und Entwicklungsprojekte für Materialinnovationen werden.

Ebenso wichtig ist eine regulierungsbegleitende Forschung. Diese umfasst unter anderem eine systematische Untersuchung des Bedarfs für spezifische Regulierungsmaßnahmen oder die Validierung, Standardisierung und Harmonisierung von Prüf- und Bewertungsmethoden. Hierzu gehören auch Projekte, wie zum Beispiel Feldstudien zur Expositionsminimierung, die evaluieren, ob die implementierten Maßnahmen in der Praxis umgesetzt werden und wirksam sind.

FAZIT

Neuartige Materialien stehen im Fokus der aktuellen Innovationsforschung – mit hohen Erwartungen im Hinblick auf die großen Herausforderungen unserer Zeit. Heute ist es jedoch schwierig, allumfassend vorherzusagen, welche neuartigen Materialien morgen tatsächlich Anwendung finden werden. Es ist derzeit auch noch schwierig abzuleiten, inwieweit die bestehenden regulatorischen Rahmenbedingungen geeignet sind, die Chemikaliensicherheit dieser Materialien entlang des Lebenszyklus zu gewährleisten. Darüber hinaus könnten neuartige Materialien zusätzliche und neue Herausforderungen in Bezug auf Nachhaltigkeitsaspekte, wie beispielsweise der Kreislaufwirtschaft, mit sich bringen.

Um diese Herausforderungen zu adressieren, haben BAuA, BfR und UBA ein gemeinsames Perspektivenpapier mit Handlungsempfehlungen für sachgerechte Maßnahmen zur Risikobeherrschung von innovativen Materialien erarbeitet. In diesem Papier wird aus behördlicher Sicht der notwendige Rahmen aufgezeigt, in dem die mit neuartigen Materialien verbundenen Herausforderungen adressiert und mögliche Maßnahmen zur sicheren Ver-

wendung und zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung entwickelt und umgesetzt werden können. Dies sollte in Zusammenarbeit mit weiteren nationalen, europäischen und internationalen Akteuren aus Wissenschaft, Politik, Industrie und Zivilgesellschaft erfolgen. Dieser Rahmen umfasst die

- Identifizierung bedenklicher Materialien durch Festlegung und Anwendung von Kriterien innerhalb eines Frühwarnsystems,
- Überprüfung und wenn notwendig eine zeitnahe Anpassung des regulatorischen Rahmens an die Anforderungen von neuartigen Materialien,
- Förderung des sicheren und nachhaltigen Designs neuartiger Materialien unter Entwicklung von dafür geeigneten Kriterien und Indikatoren,
- Unterstützung des Austauschs und der Zusammenarbeit betroffener Akteure,
- Intensivierung regulierungsrelevanter Forschung und Vorlaufforschung zur Risikofrüherkennung und zur Entwicklung nachhaltiger neuartiger Materialien.

Neuartige Materialien können nur dann einen positiven Beitrag zum europäischen Green Deal und der dazugehörigen Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit der Europäischen Kommission (Europäische Kommission 2020) leisten, wenn neben den technologischen und gesellschaftlichen Vorteilen auch die potenziellen Risiken für Mensch und Umwelt erkannt und die Voraussetzungen für eine sichere und nachhaltige Verwendung gegeben sind. Auch über Europa hinaus ist die Entwicklung von sicheren und nachhaltigen Materialien und Prozessen ein Baustein für eine nachhaltige Gesellschaft. Die Sustainable Development Goals (SDGs – Agenda 2030, UN) der Vereinten Nationen geben einen übergeordneten Rahmen auch für die Entwicklung von neuartigen Materialien vor.

LITERATUR

Giese B, Drapalik M, Zajicek L et al. (2020): Advanced materials: Overview of the field and screening criteria for relevance assessment. UBA TEXTE 132. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/advanced-materials-overview-of-the-field-screening> (Zugriff am: 31.08.2021).

EC – European Community (2008): Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures. <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj> (Zugriff am: 31.08.2021).

Europäische Kommission (2020): Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment. https://ec.europa.eu/environment/strategy/chemicals-strategy_en (Zugriff am: 31.08.2021).

Europäische Kommission (2019): The European Green Deal. COM/2019/640 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640> (Zugriff am: 31.08.2021).

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2020): Moving Towards a Safe(r) Innovation Approach (SIA) for More Sustainable Nanomaterials and Nano-enabled Products. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials, No. 96. ENV/JM/MONO(2020)36. [https://www.oecd.org/officialdocuments/?hf=10&b=0&r=%2Bf%2Flastmodifieddate%2F2020&sl=official_documents&s=desc\(document_lastmodifieddate\)](https://www.oecd.org/officialdocuments/?hf=10&b=0&r=%2Bf%2Flastmodifieddate%2F2020&sl=official_documents&s=desc(document_lastmodifieddate)) (Zugriff am: 31.08.2021).

UN – Vereinte Nationen (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E (Zugriff am: 31.08.2021).

KONTAKT

Doris Völker
Umweltbundesamt
Fachgebiet IV 2.2. „Arzneimittel, Nanomaterialien“
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: [doris.voelker\[at\]uba.de](mailto:doris.voelker[at]uba.de)

Andrea Haase
Bundesinstitut für Risikobewertung
Abteilung 7 Chemikalien- und Produktsicherheit
Fachgruppe 76 Faser- und Nanotoxikologie
Max-Dohrn-Straße 8–10
10589 Berlin
E-Mail: [Andrea-Haase\[at\]bfr.bund.de](mailto:Andrea-Haase[at]bfr.bund.de)

Rolf Packroff
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Fachbereich 4 „Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe“
Friedrich-Henkel-Weg 1–25
44149 Dortmund
E-Mail: [packroff\[at\]baua.bund.de](mailto:packroff[at]baua.bund.de)

[UBA]

Entlastung des Altpapierkreislaufes durch mineralölfreien Zeitungsdruck – neue Forschungsergebnisse

Development of mineral oil free coldest inks to protect the recovered paper cycle – latest research results

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag gibt eine Einführung in die Problematik von Mineralölkomponenten im Altpapier und in Lebensmitteln und stellt den rechtlichen Rahmen für Regulierungsansätze in Deutschland dar. Seit 2015 führte das Umweltbundesamt (UBA) ein Forschungsvorhaben zu Entwicklung und Einsatz mineralölfreier Druckfarben im Zeitungsdruck durch. Der Artikel geht auf die Inhalte und Ergebnisse des Forschungsvorhabens näher ein und erläutert die nächsten Schritte in Richtung Einsatz mineralölfreier Zeitungsdruckfarben in der Praxis in Deutschland und Frankreich. Hierbei wird ein Maßnahmenmix von freiwilligen Instrumenten auf der einen Seite, wie der Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft graphischer Papiere (AGRAPA-Selbstverpflichtung) und den Kriterien des Blauen Engels für Druck-erzeugnisse (RAL-UZ 195), und andererseits auch der Möglichkeit einer gesetzlichen Regulierung im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes aufgezeigt.

ABSTRACT

The article introduces the problem of mineral oil components in waste paper and food and presents the legal framework for regulatory approaches in Germany. Since 2015, the UBA has carried out a research project on the development and use of mineral oil-free printing inks in newspaper printing. The article goes into more detail on the content and results of the research project and explains the next steps towards the use of mineral oil-free newspaper printing inks in practice in Germany and France. This involves a mix of measures of voluntary instruments on the one hand, such as the voluntary commitment of the graphic paper working group (AGRAPA voluntary commitment) and the Blue Angel criteria for printed products (RAL-UZ 195) and, on the other hand, the possibility of statutory regulation within the framework of the circular economy act are shown.

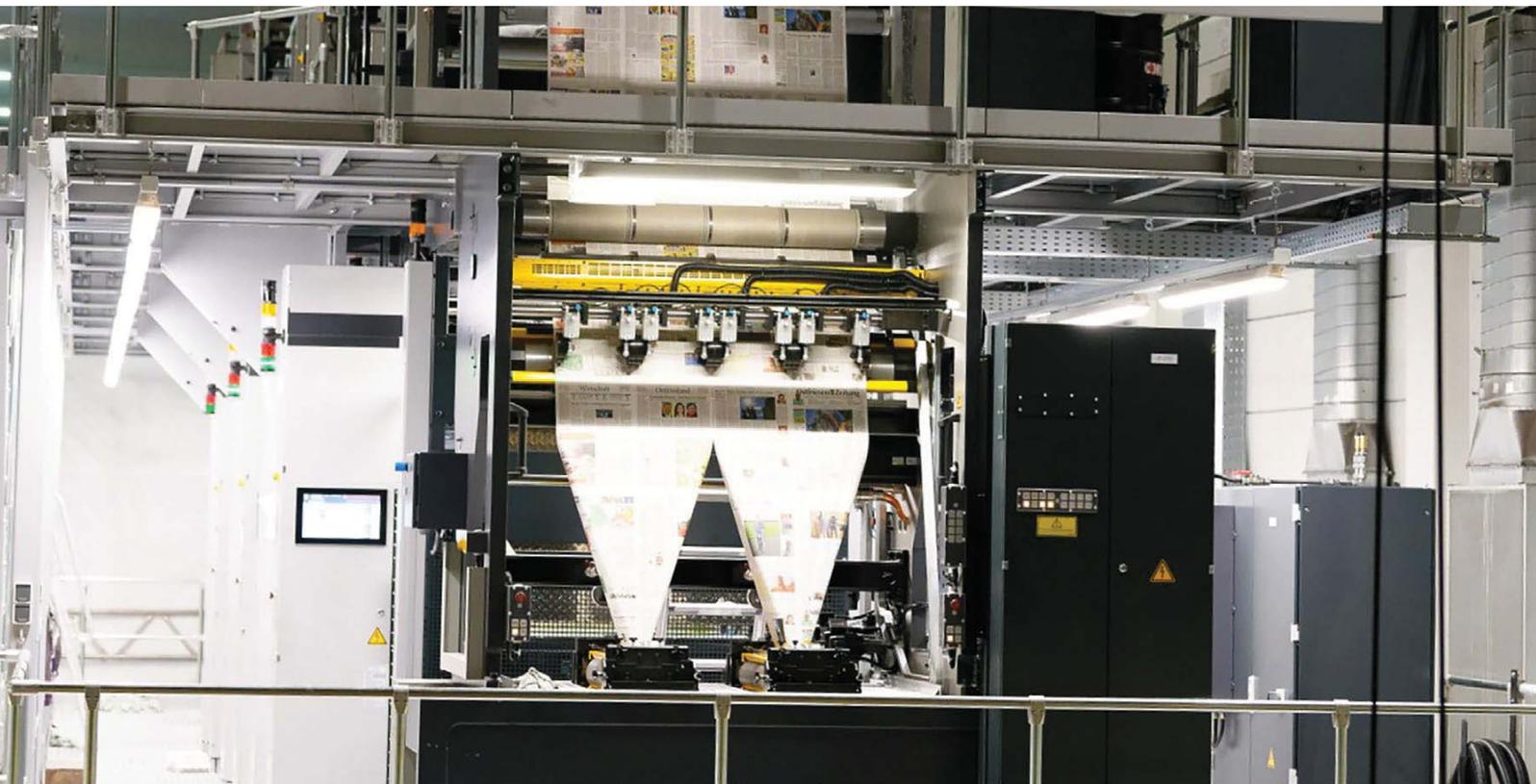
AUSGANGSSITUATION

Der Altpapierkreislauf ist eines der Vorzeigemodelle einer gut funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Direkte und indirekte Lebensmittelverpackungen können und werden zum Großteil aus Altpapier hergestellt, was zu einer deutlich ressourcenschonenderen und emissionsärmeren Produktion verglichen mit dem Einsatz von Frischfasern führt. Allerdings haben bereits 2009 Untersuchun-

gen des Kantonalen Labors Zürich festgestellt, dass Mineralöle, die unter anderem aus dem Altpapier stammen, von Verpackungen auf Lebensmittel übergehen können. Selbst durch Zwischenverpackungen können Mineralölkomponenten diffundieren und auf die Produkte übergehen (BfR 2009). Damalige Messungen haben ergeben, dass in Zeitungen bis zu 3.000 Milligramm Mineralöl pro Kilogramm (mg/kg) Zeitung enthalten sein können. In aus Altpapier hergestellten Lebens-

ALMUT REICHART¹,
PHILIPP STOLPER²

¹ Umweltbundesamt
² Fogra Forschungs-
institut für Medien-
technologien e.V.



bereitgestellt von:
Koenig & Bauer AG,
Würzburg.

mittelverpackungen wurden zwischen 300 und 1.000 mg/kg Recyclingkarton nachgewiesen. Auch in Deutschland wurden Mineralölgehalte in verschiedenen Lebensmitteln gefunden, die deutlich über den tolerierbaren Mengen liegen. Ein Übergang dieser Mineralöle auf Reis wurde damals in Mengen bis zu 19,4 mg/kg bestimmt (BfR 2009). Vor allem wegen des hohen Anteils von sowohl kürzerkettigen als auch aromatischen Kohlenwasserstoffen aus Mineralöl sind derartige Kontaminationen von Lebensmitteln zu minimieren. Kürzerkettige Kohlenwasserstoffe werden vom Körper leicht aufgenommen, sodass bei häufigerem Verzehr belasteter Lebensmittel die toxikologischen Grenzwerte überschritten werden können. Aromatische Kohlenwasserstoffe aus Mineralölen hingegen, insbesondere polyzyklische aromatische Verbindungen (PAK), können mutagene und kanzerogene Wirkung auf den menschlichen Organismus haben.

Weitere potenzielle Quellen für Mineralöle in Lebensmitteln bilden neben mineralölhaltigem Altpapier die Maschinenöle in den Produktionsmaschinen sowie altpapierhaltige und anderweitige Verpackungen wie Jute- oder Sisalsäcke, die für den Transport verwendet werden. Aus Sicht des Umweltbundesamtes (UBA) und des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) sollten daher die Übergänge von Mineralöl aus Recyclingpapier und -pappe als einer wesentlichen Quelle auf Lebensmittel umgehend minimiert werden. Das UBA hat bereits 2011 und 2012 in Pressemitteilungen auf die Problematik der Mineralölbelastung in Lebensmitteln und den Zusammenhang zum Zeitungsdruck hingewiesen und die jeweiligen Akteure aufgefordert auf die Verwendung mineralölhaltiger Produktionshilfsmittel und Druckfarben zu verzichten (UBA 2011; UBA 2012).

Für besonders gefährdete Lebensmittel ist daher eine wirksame Barriere in der Verpackung zum Schutz der Verbraucherin-

nen und Verbraucher vor Mineralölrückständen notwendig. Diese darf wiederum aber im Recycling nicht zu Problemen führen. Solche Lösungen stehen bereits zur Verfügung. An der Weiterentwicklung entsprechender Konzepte wird intensiv gearbeitet. Allerdings ist jede Barriere auch mit zusätzlichem Ressourcenverbrauch und Emissionen bei der Herstellung sowie Mehraufwand im Recycling verbunden. Aus Umweltsicht sollte daher alles dafür getan werden, den Aufwand für die Barrieren so gering wie technisch möglich zu halten, ohne die menschliche Gesundheit zu gefährden. Der Aufwand, der für die Barrieren betrieben werden muss, richtet sich nach der Menge des Mineralöls im Verpackungspapierrohstoff. Diese gilt es zu senken.

Die bedruckten Zeitungen gelangen in den Altpapierkreislauf. Dort werden sie überwiegend zu Verpackungen recycelt. 2018 wurden nach Informationen des Verbandes der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie noch 39.000 Tonnen Mineralöl in den europäischen Altpapierkreislauf eingetragen. 80 Prozent davon stammen aus der Bedruckung von Zeitungen. Allerdings gibt es hier durch die zunehmende Nutzung digitaler Medien einen abnehmenden Trend. Pro Jahr gehen die verkauften Mengen im Publikationsdruck um circa 10 Prozent zurück. Seit dem Jahr 2012 hat sich die Menge des eingetragenen Mineralöls in den Altpapierkreislauf bereits halbiert. Während bei der Herstellung von grafischen Papieren ein Recycling mit Druckfarbenentfernung (Deinking) stattfindet, um ein möglichst helles Papier zu erhalten, werden sie im Gegensatz dazu im Verpackungspapierkreislauf nicht entfernt. Die bislang geringeren Anforderungen an den Weißgrad machen dies nicht erforderlich. Der Aufwand für das Deinking ist erwartungsgemäß hoch und zusätzlich mit Faserverlust verbunden.

Durch den Ersatz mineralöhlhaltiger Druckfarben im Zeitungsdruck auch in Deutschland kann daher ein wichtiger Schritt in Richtung Ausschleusung unerwünschter Stoffe aus dem Altpapierkreislauf getan werden. Damit könnte sowohl dem Ver-

braucherschutz als auch dem Umweltschutz nachhaltig Rechnung getragen werden. Verpackungen aus recyceltem Altpapier sind im Vergleich zu Verpackungen aus Frischfasern umweltfreundlicher und ökologisch sinnvoller. Deshalb ist es wichtig, das Altpapier von Schadstoffen freizuhalten beziehungsweise zu entfrachten.

GESUNDHEITLICHE BEWERTUNG DER MINERALÖLE

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und auch die Europäische Aufsichtsbehörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bewerten den Gehalt von bestimmten Mineralölen in Lebensmitteln als bedenklich.

Chemisch betrachtet handelt es sich bei den Mineralölbestandteilen um eine Mischung aus gesättigten aliphatischen (kettenförmigen) und aromatischen (ringförmigen) Kohlenwasserstoffen. Dabei steht die Abkürzung MOSH für „mineral oil saturated hydrocarbons“ und MOAH für „mineral oil aromatic hydrocarbons“.

Gesättigte Kohlenwasserstoffe (MOSH) eines bestimmten Kettenlängenbereichs werden vom Körper aufgenommen und können auch beim Menschen in einigen Organen nachgewiesen werden. Aus tierexperimentellen Studien ist bekannt, dass Mineralölgemische, die solche Verbindungen enthalten, zu Ablagerungen und entzündlichen Effekten in der Leber in einem bestimmten Rattenstamm führen können. Die Relevanz dieses Befundes für den Menschen ist jedoch noch nicht geklärt (BfR 2020).

Toxikologische Daten zur Bewertung und zur Ableitung von gesundheitlichen Richtwerten für aromatische Kohlenwasserstoffe (MOAH) stehen nicht zur Verfügung. Die in Lebensmitteln nachgewiesene Fraktion an aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen (MOAH) kann aus unterschiedlichen Eintragsquellen stammen. Meist handelt es

sich dabei um eine komplexe Mischung aus überwiegend hochalkylierten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, zu denen auch krebserzeugende Substanzen gehören können. Eine gesundheitliche Bewertung ist aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht möglich (BfR 2020).

Die Auffassung des BfR, dass die aus recyceltem Karton übergehenden aromatischen Kohlenwasserstofffraktionen möglicherweise krebserzeugende Eigenschaften besitzen, wurde durch ein Gutachten der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) aus dem Jahr 2012 bestätigt (EFSA 2012). Es sollte deshalb aus Vorsorgegründen ein nachweisbarer Übergang von MOAH aus Verpackungen auf Lebensmittel vermieden werden.

Aus Sicht des Verbraucherschutzes sollte zukünftig der Übergang aller bekannten Mineralölkomponten aus Recyclingpapier und -pappe auf Lebensmittel sowie auch der Eintrag aus anderen Quellen minimiert werden. Derzeit gibt es keine gesetzlichen Vorgaben, die die Gehalte an Mineralölbestandteilen in Lebensmitteln reguliert.

GEPLANTE REGELUNGSANSÄTZE

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat zur Regulierung von Mineralölübergängen aus Lebensmittelbedarfsgegenständen aus Gründen des gesundheitlichen Verbraucherschutzes zwei Verordnungsentwürfe vorgelegt:

1 Der Entwurf für eine sogenannte Mineralölverordnung sieht Regelungen für den Übergang von Mineralöl aus Lebensmittelverpackungen, die unter Verwendung von Recycling-Papier hergestellt wurden, auf Lebensmittel vor, um Verbraucherinnen und Verbraucher vor gesundheitlich nachteiligen Wirkungen dieser Stoffe zu schützen. Der Entwurf wurde am 17. August 2020 gemäß Richtlinie (EU) 2015/1535 bei der Europäischen Kommission notifiziert (BMEL 2020).

2 Zum Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher vor möglichen Gesundheitsgefahren im Verkehr mit bedruckten Lebensmittelbedarfsgegenständen (z. B. Verpackungen) hat das BMEL einen weiteren Verordnungsentwurf auf den Weg gebracht, der unter anderem eine Positivliste der Stoffe vorsieht, die bei einer solchen Bedruckung verwendet werden dürfen: Die sogenannte Druckfarbenverordnung. Der derzeitige Entwurf ist 2017 bei der EU-Kommission notifiziert worden (BMEL 2017).

Beide Verordnungsentwürfe werden derzeit wieder auf Ressortebene diskutiert.

Im Rahmen des §23 Produktverantwortung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird derzeit keine gesetzliche Maßnahme zur Konkretisierung der Produktverantwortung in Bezug auf den Mineralölgehalt in Recyclingpapier angestrebt.

Das Umweltministerium (BMU) setzt hier auf freiwillige Maßnahmen im Rahmen der Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere – AGRAPA (AGRAPA 2020), die sich verpflichtet hat, ein hochwertiges Recycling graphischer Papiere sicherzustellen. Der AGRAPA gehören zehn wichtige Verbände der Wertschöpfungskette Druck an. Die Verbände der AGRAPA legen dem BMU jedes Jahr zwei Berichte zur Einhaltung der Selbstverpflichtungserklärung sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht vor. Die Verbände verpflichten sich darin unter anderem zur Sicherstellung der stofflichen Verwertungsquote von graphischen Altpapieren im Bereich von 80 ± 3 Prozent. Die Verleger und die Druckindustrie verpflichten sich darüber hinaus „soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar, [...] Fertigungsmaterialien und -hilfsmittel (insbesondere Druckfarben und Kleber) und Drucktechniken einzusetzen, die eine ordnungsgemäße, schadlose und verarbeitungstechnisch möglichst optimale Verwertung graphischer Papiere nicht behindern [...]“ (AGRAPA 2001)

Seit Bekanntwerden der Mineralöl-Problematik wird seitens des BMU und des UBA Handlungsbedarf insbesondere im Zeitungsdruck gesehen und eingefordert. Hierzu wurde eine Reihe von Fachgesprächen geführt. Die Unterstützung und fachliche Begleitung des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ist eine zentrale Maßnahme im Rahmen der AGRAPA, um die Mineralölbelastung des Altpapierkreislaufes nachhaltig zu reduzieren.

Die AGRAPA hat sich bereit erklärt, weitere Druckversuche in einer anderen als der am Projekt beteiligten Druckerei zu finanzieren, um die neu entwickelten Farbsysteme stetig zu optimieren sowie deren Einsatzmöglichkeiten in der realen Zeitungsproduktion zu verbessern.

In den kommenden Monaten soll die Selbstverpflichtung in der Form weiterentwickelt werden, dass eine stärkere Verwendung von Recyclingpapieren mit dem Umweltzeichen Blauer Engel und der Einsatz mineralölfreier Farben aktiv durch die Verbände gefördert werden.

ERGEBNISSE DES FORSCHUNGSVORHABENS

Werden der Altpapierkreislauf und die bestehenden Systeme der Altpapiererfassung und -sortierung betrachtet, so können bezüglich des Altpapiers folgende Feststellungen getroffen werden:

- 1 Graphische Altpapiere werden zunehmend auch im Verpackungspapierbereich bewertet.
- 2 Bisher fehlen technische beziehungsweise ökonomisch darstellbare Möglichkeiten, mineralölbasierte Stoffe aus dem Altpapier vollständig zu entfernen.
- 3 Es existiert keine Möglichkeit, belastete Altpapiere zu 100 Prozent getrennt zu erfassen.

An dieser Stelle verfolgt das UBA den Ansatz an der Quelle, nämlich den Einsatz mineralölfreier Druckfarben im Zeitungsdruck. Um

den Erfahrungsschatz in der Herstellung und im Einsatz von mineralöloptimierten Zeitungsdruckfarben zu erhöhen, wurden in dem Forschungsvorhaben mehrere mineralöloptimierte Farbsätze für den Zeitungsdruck entwickelt und in einem produktionsbegleitenden Langzeitdruckversuch in der Zeitungsproduktion getestet. Die neu entwickelten Druckfarben sollten höchsten drucktechnischen Qualitätsanforderungen genügen und sich auch im Papierrecycling wieder von den Papierfasern trennen lassen (Deinking). Der Nachweis der Mineralölfreiheit sollte mit der gleichen Methode durchgeführt werden, die auch im Bereich der Lebensmittelüberwachung angewandt wird.

Im Auftrag des UBA führte die Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V. seit dem 04. Februar 2016 dieses Forschungsvorhaben durch. Für die praxisorientierte Umsetzung des im Dezember 2020 abgeschlossenen Forschungsvorhabens waren weitere Partner wichtig. Daher wurde das Vorhaben durch einen wissenschaftlichen Begleitkreis unterstützt und arbeitete mit mehreren Druckfarbenherstellern zusammen. Die Druckversuche wurden bei der Frankfurter Societäts-Druckerei (FSD) durchgeführt. Auch das Sächsische Institut für die Druckindustrie (SID) und der Kartonhersteller Moritz J. Weig sowie das Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV) der TU Darmstadt unterstützen das Vorhaben.

Die konkreten Anforderungen an die Druckfarben lauteten wie folgt:

- Von den aliphatischen Kohlenwasserstoffen (MOSH) dürfen in den Druckfarben nur Stoffe der Kettenlänge C10 bis C20 eingesetzt werden, zusätzlich dürfen die folgenden hochmolekularen Verbindungen ohne Löseeigenschaften eingesetzt werden, wenn sie eine Kohlenstoffzahl von mehr als 35 aufweisen und der Anteil C20 bis C35 maximal fünf Prozent bezogen auf die Druckfarbe beträgt: mikrokristalline Wachse, Vaseline, Polyolefin-, Paraffin-, oder Fischer-Tropsch-Wachse.

- In den Druckfarben sollen als konstitutionelle Bestandteile weniger als 0,1 Gewichtsprozent aromatische Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl (MOAH) eingesetzt werden. Darüber hinaus gilt für die durch die EU-Verordnung Nr. 1272/2013 geregelten PAK der dort festgelegte Grenzwert.
- Der Einsatz von Rohstoffen aus Kokosbeziehungsweise Palmkernöl ist nicht zulässig.

Die Langzeitdruckversuche erstreckten sich insgesamt über einen Zeitraum von 22 Monaten und waren damit für eine Druckfarbenneuentwicklung verhältnismäßig kurz. Mit einer der beiden Druckfarbenserien wurde 15 Wochen kontinuierlich gedruckt, mit der anderen wurden ohne Unterbrechungen und Nachjustierungen maximal sechs Wochen erreicht. Diese mussten jedoch beim letzten Versuch aufgrund des Projektlaufzeitendes – und nicht wegen technischer Schwierigkeiten – beendet werden. Durch die Druckversuche konnte der konzeptionelle Beweis für die Verwendung von mineralölfreien Druckfarben im Zeitungsdruck für zwei Farbsysteme erbracht werden. Letzte verbleibende technische Schwierigkeiten, wie die Alterung der Druckfarben und damit die Veränderung rheologischer Eigenschaften (Fließeigenschaften), erfordern weitere Entwicklungsschritte. Auch ist die Farbergiebigkeit für einige der Druckfarben noch nicht zufriedenstellend. Die entwickelten Druckfarbenserien sind deshalb noch nicht ausentwickelt und bedürfen weiterer Optimierungszyklen. Dennoch wurden die Projektziele bezüglich Verdruckbarkeit und Druckqualität mineralöl-

freier Farben grundsätzlich erreicht.

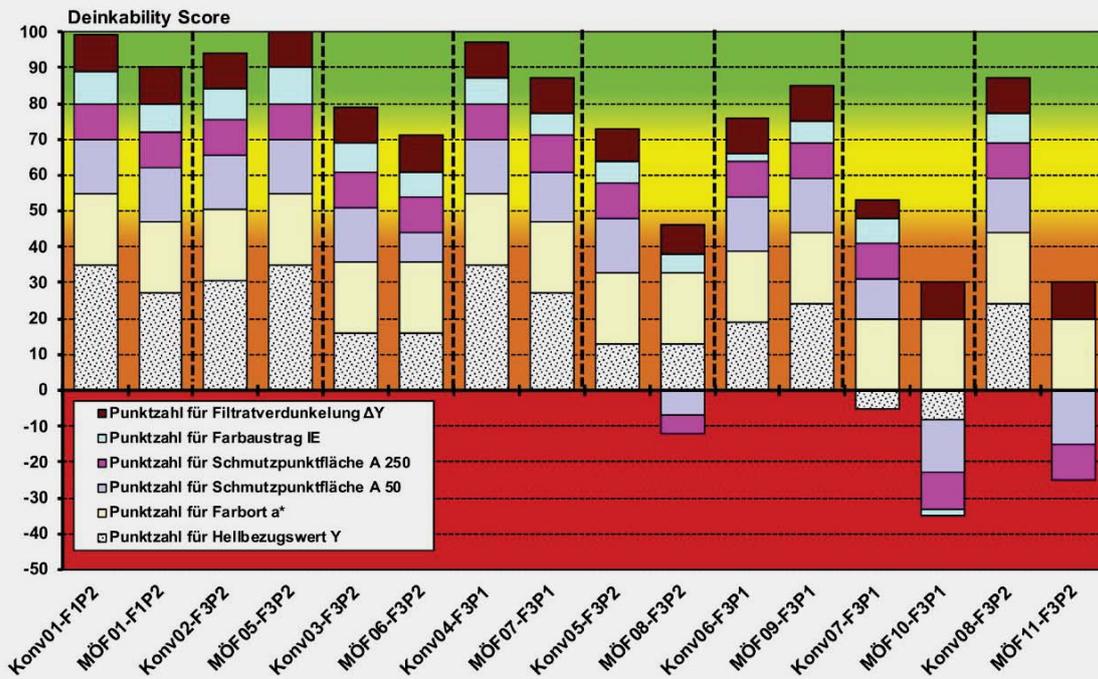
Im Verlaufe des Projektes wurden verschiedene Druckprodukte auf ihr Deinkingverhalten getestet. Generell zeigte sich, dass die Mehrzahl der untersuchten Produkte gut bis befriedigend deinkbar waren. Allerdings zeigten einige mineralölfreie Druckprodukte geringere Helligkeitswerte und geringere Faserausbeuten bei den Deinkingversuchen nach der INGEDE Methode 11 (INGEDE 2018). Bei einer vollständigen Umstellung von mineralöhlhaltigen auf mineralölfreie Farben hätte dies negative Auswirkungen auf die Altpapierströme. Hier besteht weiterer Forschungs- und Optimierungsbedarf. Die Deinkbarkeit wird in sogenannten Deinkability-Scores ausgedrückt. Diese sind einheitenlos und in [TABELLE I](#) dargestellt.

Die Ergebnisse der Deinking-Versuche sind in [ABBILDUNG I](#) dargestellt. Hier sind auf der x-Achse die verschiedenen getesteten Druckprodukte aufgereiht und auf der y-Achse die jeweiligen Deinkability-Scores aufgetragen. Dabei werden immer zwei Druckprodukte miteinander verglichen: ein mit konventionellen mineralöhlhaltigen Druckfarben (Konv) bedrucktes und ein mit mineralölfreien (MÖF) Druckfarben bedrucktes Druckprodukt. Die unterschiedlichen Hintergrundfarben zeigen die Einstufung des Deinkability-Scores an. Ziel ist es, für mit mineralölfreien Druckfarben bedruckte Zeitungen einen Deinkability-Score im grünen Bereich zu erhalten.

Zum Thema Mineralölfreiheit konnte eine reduzierte Belastung der Druckerzeugnisse mit kritischen Mineralölbestandteilen durch den Einsatz der neuartigen Druckfarben gezeigt werden. So sank der MOAH-Gehalt in den Zeitungen mit der mineralölfreien

TABELLE I
Skala zur Bewertung der Deinkbarkeit.

DEINKABILITY-SCORE	BEWERTUNG
100–71 (grün)	gut deinkbar
70–51 (gelb)	befriedigend deinkbar
50–0 (orange)	ausreichend deinkbar
ab einem negativen Einzelwert (unabhängig von weiteren positiven Einzelwerten) (rot)	nicht geeignet für das Deinking



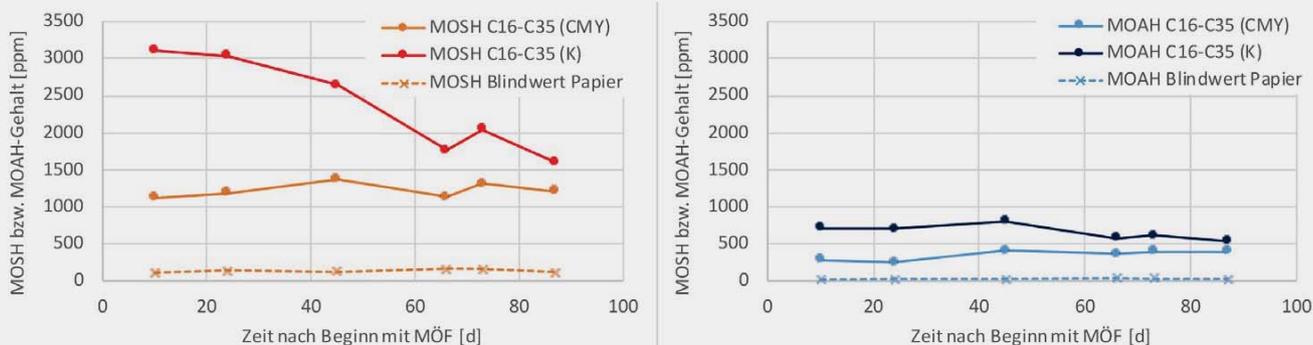
Vergleich der Deinking-Ergebnisse vergleichbarer Druckprodukte aus mineralölfreien (MÖF) und konventionellen (Konv) Druckfarben in Form des Deinkability-Scores (UBA 2021). Die Hintergrundfarbe stellt die gesamte Deinkbarkeit über alle Kriterien dar.

Druckfarbe auf circa 50 Prozent des Gehalts bei vergleichbarer Produktion mit konventioneller Druckfarbe. Trotz der Aussage der Druckfarbenhersteller, dass die Rezepturen der neuartigen Zeitungsdruckfarben keine kritischen Mineralölbestandteile enthalten, wurden in allen mit der Methode des BfR getesteten Druckfarben und Druckprodukten erhebliche Mengen an Mineralöl (MOSH und MOAH) gemessen. Lediglich in den Buntfarben eines Herstellers konnten teilweise Gehalte von weniger als den geforderten 0,1 Prozent MOAH gemessen werden. Die Ursache für die Mineralölgehalte liegt vor allem in der Kontamination der mineralölfreien Druckfarben mit konventionellen Druckfarben während des Herstellungsprozesses, da die neuartigen Druckfarben auf den gleichen Anlagen gefertigt wurden wie die konven-

tionellen. Trotz oberflächlicher Reinigung kommt es zu deutlichen Verschmutzungen der derzeit nur in kleinen Chargen produzierten neuen Druckfarben. Außerdem konnte im Rahmen dieses Projektes eine Abnahme der Kontamination durch die Druckmaschine (z. B. durch Rohre, Pumpen, Gummiwerkstoffe, Bodentank) über einen Zeitraum von drei Monaten beobachtet werden (ABBILDUNG 2). Bei der Markteinführung der neuartigen Druckfarben ist aufgrund der Farbrezepturen von einer Reduktion des Mineralöleintrags in das Altpapier auszugehen.

Zum Ende des Projektes stehen keine fertig entwickelten mineralölfreien Druckfarben zur Verfügung, die die Praxisreife erreicht haben. Der Nachweis für die konzeptionelle Verdruckbarkeit wurde für beide Farbserien erbracht. Beide derzeit verfügba-

ABBILDUNG 1
 Vergleich von
 Deinking-Ergebnissen.



Gezeigt sind jeweils die gesamte MOSH- bzw. MOAH-Fraktion von Druckprodukten mit reiner Schwarzfarbe (K) sowie dem Mittelwert von Druckprodukten mit den Buntfarben (CMY) und die Gehalte der Referenzmessungen des unbedruckten Papiers (gestrichelte Linien). MÖF: mineralölfrei.

ABBILDUNG 2
Mineralölgehalte von
Druckprodukten in zeit-
licher Entwicklung.

ren Druckfarbensätze müssen allerdings in der Praxis weiter optimiert und angepasst werden. Da es sich bei den mineralölfreien Zeitungsdruckfarben um eine komplette Neuentwicklung handelt, war der Zeitraum von circa 22 Monaten für die Entwicklung relativ kurz. Die Forschungsergebnisse sind auf den Internetseiten von UBA, BMU und dem Forschungsnehmer veröffentlicht (BMU 2021; UBA 2021; Fogra 2021). Sie werden aktuell in den internationalen Fachgremien der Papier- und Druckindustrie eingebracht (WAN-IFRA 2021).

BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Das Vorhaben liefert eine fundierte fachliche Grundlage für die Entwicklung mineralölfreier Farben für den Zeitungsdruck. Der Erfahrungsschatz bei der Entwicklung und im Einsatz von mineralölfreien Druckfarben im Zeitungsdruck wurde deutlich erhöht. Auch wenn die Druckfarben noch nicht fertig entwickelt sind, sind sie für den Einsatz in der Praxis grundsätzlich geeignet. Insgesamt hat dieses Vorhaben damit die Grundlage ge-

schaffen, die Mineralölbelastung des Altpapierkreislaufes aus Druckfarben mittelfristig zu reduzieren. Die vollständige Umstellung der Druckfarben wird allerdings nicht ausreichen, um den Altpapierkreislauf vollständig von Mineralöleinträgen zu befreien, da weiterhin geringe Mengen Mineralöl in Druckfarben enthalten sein werden und Einträge auch durch den Import mineralölbelasteter Druckerzeugnisse erfolgen. Allerdings spielt die Höhe der Belastung eine wesentliche Rolle bei der Gestaltung von funktionellen Barrieren für Lebensmittelkontaktpapiere aus Altpapier. Diese Barrieren können bei geringerer Mineralölbelastung mit weniger Materialeinsatz oder auch aus alternativen Materialien hergestellt werden, um eine ausreichende Barrierewirkung zu erzielen. Damit wird es langfristig wieder besser möglich sein, Lebensmittelkontaktpapiere aus Altpapier mit Barrierefunktion herzustellen und damit einen Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz sowie einen Beitrag zum Schutz der Biodiversität zu leisten. Gleichzeitig wird die menschliche Gesundheit vor der Aufnahme von Mineralöl über Lebensmittel aus altpapierbasierten Verpackungen besser geschützt.

EINFÜHRUNG IN DIE PRAXIS

Die Weiterentwicklung der Farben kann nur im praktischen Einsatz im Druck fortgeführt werden. Die Farben sind bereits so weit entwickelt, dass deren Einsatz als Voraussetzung für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel für Druckerzeugnisse (RAL-UZ 195 und auch in anderen Papiervergabegrundlagen) oder für das EU-Ecolabel für Druckerzeugnisse gefordert werden kann, um die noch fehlenden Entwicklungsschritte in der Praxis fortzuführen. Beim Blauen Engel für Druckerzeugnisse wird dies bereits umgesetzt. Im europäischen Umweltzeichen wird das UBA die Forderung nach mineralölfreien Druckfarben verstärkt einfordern.

Die AGRAPA-Selbstverpflichtung soll im Jahr 2022 qualitativ in dieser Hinsicht weiterentwickelt werden. Die Forschungsergebnisse sollen auch dort genutzt werden, um die Verbände zu weiteren Aktivitäten zur Unterstützung des praktischen Einsatzes dieser Farben und deren weiterer Optimierung zu bewegen.

Die Ergebnisse werden vom UBA auch im Ausschuss Papier der BfR-Kommission für Bedarfsgegenstände vorgestellt und bei der Weiterentwicklung der XXXVI. Empfehlung des BfR für Papiere, Kartons und Pappen für den Lebensmittelkontakt berücksichtigt.

Das UBA wird weitere Forschungsvorhaben anderer Institutionen zur Verbesserung der Druckfarben im Recyclingprozess begleiten.

Die deutschen Forschungsergebnisse werden auch im Ausland seit einigen Jahren interessiert verfolgt (siehe INFOBOX).

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen des durchgeführten Projektes konnten weitreichende Erkenntnisse bezüglich mineralölfreier Druckfarben auf Seiten der Druckfarben-, Druckmaschinenhersteller sowie der Druck- und Verlagsbranche und der Papierindustrie gesammelt werden. Am Ende des Projektes stehen keine fertig entwickelten mineralölfreien Druckfarben zur Verfügung, die die Praxisreife erreicht haben. Die derzeit verfügbaren Druckfarbensätze müssen in der Praxis weiter optimiert und angepasst werden.

Aktuell sind drei weitere thematische Anschlussprojekte bei der Fogra in Durchführung, um die noch offenen Punkte weiter zu untersuchen:

- Im Rahmen der Selbstverpflichtung der AGRAPA vereinbartes Folgeprojekt der Trägerverbände: Langzeitdruckversuche in einer Druckerei mit anderem Druckwerk (Druckerei Heilbronner Stimme), Verwendung der weiterentwickelten Druckfarben unter wissenschaftlicher Begleitung und Untersuchungen (Fogra und Begleitkreis). Die Druckversuche laufen bereits und werden voraussichtlich noch 2021 abgeschlossen.

DER FRANZÖSISCHE WEG

Frankreich hat 2018 mit einem Aktionsplan begonnen, das Mineralölproblem genau zu untersuchen und geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Seit 2020 müssen Inverkehrbringer von mineralöhlhaltigen Verpackungspapieren im Rahmen der Produktverantwortung erhöhte Verwertungsentgelte bezahlen, seit 2021 auch Inverkehrbringer von mit mineralöhlhaltigen Druckfarben bedruckten Druckerzeugnissen. Diese Abgaben werden 2021 und 2022 noch einmal erhöht. Zusätzlich wurde das Französische Abfallvermeidungs- und Kreislaufwirtschaftsgesetz (AGEC – Artikel 112) in der Form geändert, dass ab dem 1. Januar 2022 die Verwendung von Mineralölen in Verpackungen verboten wird und ab dem 1. Januar 2025 die Verwendung von Mineralölen in Druckerzeugnissen, die für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Die genaueren Bedingungen werden derzeit diskutiert und sollen in einer Rechtsverordnung festgelegt werden. Ziel ist es, genaue Grenzwerte für kritische MOAH und/oder MOSH zu definieren, statt generell Mineralöle zu verbieten (Robert 2020).

INFOBOX

- 2 CITEO – Frankreich: Ringversuch zum Deinkbarkeitstest in deutschen und französischen Labors, vergleichbare Druckmuster werden von der Fogra hergestellt und an die Labore verteilt.
- 3 Projekt der AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V.: Ermittlung eines standardisierten Gummiverträglichkeitstests und der Deinkbarkeit von mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben bedruckten Druckprodukten. Das Projekt soll bis Ende Februar 2022 abgeschlossen werden.

Das UBA ist in den Begleitkreisen dieser Vorhaben beteiligt. Neben diesen Forschungsaktivitäten sollen nun auch andere Anreize gesetzt werden, um mineralölfreie Zeitungsdruckfarben in die Praxis zu bringen. In Deutschland wird dabei auf freiwillige Instrumente, wie das Umweltzeichen Blauer Engel und die Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere (AGRAPA), gesetzt.

In Frankreich werden demgegenüber finanzielle Anreize gesetzt, um die Druckfarbumstellung zu unterstützen. Ab 2022 gibt es sogar gesetzliche Einschränkungen für den Einsatz mineralöhlaltiger Druckfarben sowohl für Verpackungspapiere als auch (ab 2023) für die ersten Druckerzeugnisse. Die Wege beider Länder sind zwar sehr unterschiedlich, verfolgen aber das gleiche Ziel. Durch den größeren Markt (Frankreich und Deutschland) können beide Wege dazu beitragen, dass die Umstellung auf mineralölfreie Druckfarben insgesamt schneller vorangeht.

LITERATUR

AGRAPA – Arbeitsgemeinschaft graphische Papiere (2020): AGRAPA Jahresberichte und Zusatzberichte. <https://www.agrapa.de/jahresberichte> (Zugriff am: 27.08.2021).

AGRAPA – Arbeitsgemeinschaft graphische Papiere (2001): Fortschreibung der Selbstverpflichtung vom 26. September 1994 für eine Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere, Erklärung an das Bundesumweltministerium 2001. <https://www.agrapa.de/> (Zugriff am: 01.09.2021).

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (2020): Fragen und Antworten zu Mineralölbestandteilen in Lebensmitteln. https://www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zu_mineraloelbestandteilen_in_lebensmitteln-132213.html (Zugriff am: 27.08.2021).

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (2009): Übergänge von Mineralöl aus Verpackungsmaterialien auf Lebensmittel. Stellungnahme Nr. 008/2010 vom 09. Dezember 2009. https://www.bfr.bund.de/de/bfr_stellungnahmen_2009.html (Zugriff am: 01.09.2021).

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2020): Entwurf der Zweiundzwanzigsten Verordnung zur Änderung der Bedarfsgegenständeverordnung. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Verbraucherschutz/Produktsicherheit/MineraloelVO_Entwurf.html (Zugriff am: 27.08.2021).

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017): Entwurf der Einundzwanzigsten Verordnung zur Änderung der Bedarfsgegenständeverordnung – Notifizierte Fassung. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Verbraucherschutz/Produktsicherheit/DruckfarbenVO-DE.html (Zugriff am: 27.08.2021).

Fogra – Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V. (2021): Wie kommt das Mineralöl in die Schokolade? <https://fogra.org/stories/wie-kommt-mineraloel-in-die-schokolade> (Zugriff am: 27.08.2021).

INGEDE – International Association of deinking Industry (2018): INGEDE Method 11 Assessment of print product recyclability – Deinkability test. <http://pub.ingede.com/methoden/> (Zugriff am: 31.08.2021).

Robert, JF (CITEO) (2020): Mineral oils French situation. Präsentation im Rahmen des Abschlussfachgespräches zum UFOPLAN-Vorhaben, FKZ: 3715313190. Virtuelle Veranstaltung am: 29.10.2020.

UBA – Umweltbundesamt (2021): Weiterentwicklung und Einsatz mineralölfreier Zeitungsdruckfarben im Zeitungsdruck. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), FKZ: 3715 31 319. UBA-Texte 99. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-einsatz-mineraloelfreier> (Zugriff am: 27.08.2021).

UBA – Umweltbundesamt (2012): Pressemitteilung des Umweltbundesamtes vom 29.11.2012: Mineralölrückstände in Adventskalendern sind vermeidbar <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/mineraloelrueckstaende-in-adventskalendern-sind> (Zugriff am: 27.08.2021).

UBA – Umweltbundesamt (2011): Pressemitteilung des Umweltbundesamtes vom 23.11.2011: Bereits beim Bedrucken von Papier ans Recycling denken! <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bereits-beim-bedrucken-von-papier-ans-recycling> (Zugriff am: 27.08.2021).

KONTAKT

Almut Reichart
Umweltbundesamt
Fachgebiet III 2.1 „Übergreifende Angelegenheiten,
Chemische Industrie, Feuerungsanlagen“
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
E-Mail: almut.reichart@uba.de

[UBA]

Charakterisierung von Emissionen aus Holzkohlegrills und ihr Einfluss auf die Luftqualität

Characterization of emissions from charcoal grills and their influence on ambient air quality

ZUSAMMENFASSUNG

In Grill-Restaurants, -Gaststätten und -Imbissen werden Speisen auf Holzkohlegrills zubereitet. Aufgrund der dichten Bebauung im innerstädtischen Bereich und einer teilweise unzureichenden Ableitung der Emissionen (geringe Mündungshöhe des Schornsteins), verbunden mit fehlender oder nicht ausreichend wirksamer Emissionsminderungstechnik, kann es zu einer hohen Belastung der Außenluft mit Feinstaub, Gerüchen und anderen Schadstoffen in der Nachbarschaft kommen. Die Geruchs- und die Staubbelastung durch Holzkohlegrillanlagen werden häufig als größte Probleme wahrgenommen. Schon einzelne Holzkohlegrills können zur Überschreitung der Geruchsimmissionswerte in der Umgebung beitragen. Bei einer Häufung mehrerer Holzkohlegrills im innerstädtischen Bereich kann es neben einer weiträumigen Überschreitung der Geruchsimmissionswerte auch zur Überschreitung der Immissionsgrenzwerte für Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) und in ungünstigen Lagen in Innenhöfen auch von Benzol kommen.

ABSTRACT

In charcoal grill restaurants, food is prepared on charcoal grills. Often these are built in inner-city areas. Due to the dense development and sometimes poor discharge of emissions (outlet of chimney), combined with missing or non-existent emission control technology, a high concentration of fine dust, odours and other pollutants can occur for the neighbourhood. Odour emissions from charcoal grills are the biggest problem from an air hygiene perspective. Here, even single charcoal grills cause limit values for statutory nuisance smell to be exceeded. If there is an accumulation of several charcoal grills in the inner-city area, the limit values for particulate matter (PM_{10} and $PM_{2,5}$) in ambient air and, in unfavorable inner-courtyard areas with low air exchange, also for benzene are exceeded.

EINLEITUNG

Holzkohlegrills stellen eine nicht genehmigungsbedürftige Anlage im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) (§3 Abs. 5 Nr. 2 BImSchG) dar, die den §§ 22 bis 25 BImSchG unterliegt. Somit ist für die Errichtung und den Betrieb von Holzkohlegrills kein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG

durchzuführen. Holzkohle ist gemäß der ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) als Brennstoff in nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen zugelassen. Holzkohlegrills, die dazu bestimmt sind, Speisen durch unmittelbare Berührung mit heißen Abgasen zu backen oder in ähnlicher Weise zuzubereiten, waren jedoch von einem

CHRISTIAN LIESEGANG¹, MOHAMMAD ALEYS², MATHIAS BARTHEL³, THOMAS PILLHOFER³, ALFRED TRUKENMÜLLER¹

¹ Umweltbundesamt

² Fraunhofer-Institut für Bauphysik

³ Wölfel Engineering



Holzkohlegrills in Restaurants können zu einer hohen Schadstoffbelastung der Außenluft beitragen. Quelle: Aleya, Leistner 2021.

Großteil der Anforderungen der 1. BImSchV ausgenommen. Hierzu gehören die Anforderungen an die Überwachung, die Ableitbedingungen und Emissionsbegrenzungen. Für Holzkohlegrills und ähnliche Anlagen, die seit dem 20. Juni 2019 neu errichtet oder wesentlich geändert wurden beziehungsweise werden, sind die Anforderungen an die Überwachung und die Ableitbedingungen anwendbar.

Holzkohlegrills werden als nicht genehmigungsbedürftige Anlagen vielfach ohne Berücksichtigung des Einflusses auf die Luftqualität der Außenluft errichtet und wie typische Kücheneinheiten in der Gastronomie bewertet. Eine klassische Abgasführung (z. B. Schornsteinmündung mindestens ein Meter über First; Fenster, Türen und Lüftungsöff-

nungen im Umkreis müssen überragt werden) oder Abgasreinigung ist häufig nicht vorhanden.

Ein hohes Emissionspotenzial für Luftschadstoffe stellen die schwankenden Bedingungen während des Grillvorgangs dar. Dies umfasst die unregelmäßige Luftzufuhr, die unterschiedliche Beschickung des Grills mit Kohle und Grillgut und insbesondere die unkontrollierte beziehungsweise unbeabsichtigte Verbrennung von herabtropfendem Fett.

Holzkohlegrillrestaurants werden hauptsächlich im innerstädtischen Bereich errichtet und betrieben. Aufgrund der dichten Bebauung und einer teilweise unzureichenden Ableitung der Abgase (z. B. durch zu geringe Mündungshöhe des Schornsteins, keine Ableitung in die freie Luftströmung), verbunden

mit nicht vorhandener oder nicht ausreichend wirksamer Emissionsminderungstechnik, kann es zu einer hohen Belastung der Außenluft mit Feinstaub, Gerüchen und anderen Schadstoffen kommen. Die Folge sind schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt sowie Beschwerden von betroffenen Anwohnerinnen und Anwohnern bei Behörden, Fachdienststellen oder beim Schornsteinfegerhandwerk.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen, die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten“ (FKZ: 3718 533024) wurden der Anlagenbestand von Holzkohlegrills, die Beschwerdesituation, die Emissionen mit und ohne nachgeschalteter Emissionsminderungstechnik untersucht und basierend auf den Ergebnissen Ausbreitungsmodellierungen durchgeführt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens hat der Zentralinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV) eine Umfrage bei Schornsteinfegerbetrieben durchgeführt. Es sollte ermittelt werden, ob und wie viele Anlagen zur Zubereitung von Speisen betrieben werden und welche Brennstoffe eingesetzt werden. Die Anzahl der Holzkohlegrills ergibt sich aus der Hochrechnung mit 7.397 Anlagen in Deutschland. Nur ein sehr geringer Anteil der Anlagen verfügt über ein nachgeschaltetes Abgasreinigungssystem (Aleysa, Leistner 2021).

GRILLVERSUCHSANLAGE

Für die Ermittlung der Emissionen von Holzkohlegrills wurde im Technikum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP (Fraunhofer IBP) eine technische Versuchseinrichtung aufgebaut, mit welcher der Praxisbetrieb von im Gastronomiebereich eingesetzten Grillanlagen mit und ohne handelsübliche Abgasreinigungseinrichtung simuliert und die relevanten Emissionen gemessen werden konnten.

Als Grillanlage wurde ein handelsüblicher Gastronomie-Grill mit einer Grillfläche von circa 0,5 m² verwendet. Die Speisen werden auf einem über der Glut befestigten Grillrost zubereitet. Der Rost besteht aus dreieck-prismaförmigen Fettauffangrinnen, über die ein Teil der abtropfenden Fette und Flüssigkeiten in einen Fettauffangbehälter abgeleitet wird.

Bei der verwendeten Abgasreinigung handelt es sich um ein mehrstufiges Abgasreinigungssystem, das über folgende hintereinander geschaltete Reinigungsstufen verfügt:

- Dunstabzugshaube: Die Dunstabzugshaube dient der Abscheidung von Stäuben und Aerosolen.
- Ozongenerator: Der Ozongenerator dient der Beaufschlagung des Abgases mit Ozon. Hierdurch sollen unverbrannte Komponenten bei niedrigen Temperaturen oxidiert und unter anderem die Geruchsemissionen gemindert werden.
- Zweistufiger Rauchgaswäscher: Der zweistufige Rauchgaswäscher dient der Abscheidung von Fettpartikeln und der Vorkonditionierung des Abgases für die nachgeschalteten Reinigungsstufen. In der ersten Stufe wird das Abgas mittels spezieller Sprüheinheiten mit Frischwasser und in der zweiten Stufe mit einer Tensidflüssigkeit besprüht. Hierdurch kommt es zu einer Entfernung von Ruß und Fettpartikeln. Gleichzeitig wird das Abgas von 50° C auf etwa 25° C abgekühlt.
- Drahtgestrickfilter: Der Drahtgestrickfilter dient der Abscheidung von Fetten und Wassertröpfchen.
- Schwammfilter: Der Schwammfilter dient der Abscheidung von Aerosolen, Fetten und Wassertröpfchen mit einem Durchmesser von mehr als 2,2 µm.
- Elektroabscheider: Der Elektroabscheider dient der Abscheidung von Stäuben.
- Aktivkohlefilter: Der Aktivkohlefilter dient der Abscheidung von organischen Stoffen und Gerüchen. Stäube werden auch in einem Aktivkohlefilter abgeschieden, sollten aber in einem vorgeschalteten Elektroabscheider weitestgehend reduziert

werden, da sich der Aktivkohlefilter sonst mit Staub zusetzen kann.

ERGEBNISSE DER EMISSIONSMESSUNG

Für die Grillversuche wurden circa 15 bis 25 kg Grillkohle eingesetzt. Als Grillgut wurden unter anderem Lammspieße – sogenannte Adana-Spieße – mit einem Fettanteil von etwa 30 bis 40 Prozent verwendet. Hierbei wurde an zwei Versuchstagen etwa 2,5 bis 3,5 Stunden gegrillt. An beiden Versuchstagen wurden circa 50 Adana-Spieße zubereitet. Pro Grillvorgang wurden etwa 2,5 bis 3 kg Fleisch gegrillt, was etwa 10 bis 15 Adana-Spießen entspricht.

Neben Lammspießen, Hähnchenfleisch und Gemüse wurden auch Versuche mit anderen Grillgütern (Schweinefleisch, Rindfleisch, Fisch) an einem handelsüblichen Grill durchgeführt. Die Ergebnisse lassen sich auf die Ergebnisse der Emissionsmessungen an einer Gastronomieanlage übertragen.

In **TABELLE 1** werden die spezifischen Emissionsfaktoren aus der Speisenzubereitung durch einen Holzkohlegrill dargestellt. Hierbei werden die Emissionen auf den Energiegehalt des Brennstoffs bezogen. Es wird sichtbar, dass im Vergleich zu anderen Grillgütern wie Fisch oder Fleisch, die höchsten Emissionen bei der Zubereitung von Lammspießen entstehen. Hier sind die Emissionen an Feinstaub (PM₁₀), Kohlenwasserstoffen und Organic Gaseous Carbon (OGC) ungefähr dreimal höher als bei der Zubereitung anderer Grillgüter.

ERGEBNISSE DER EMISSIONSMINDERUNG DER ABGASREINIGUNGSANLAGE

Für die Betrachtung der Dauerfunktionalität der Abgasreinigungstechnik und Abschätzung von Zeitintervallen für die notwendige Reinigung und Wartung wurde das Glutbett über einen Zeitraum von drei Wochen mit 130 kg Fett beaufschlagt. Das entspricht einer Masse von etwa 500 kg Hackfleisch

TABELLE 1
 Emissionsfaktoren bei der Speisenzubereitung auf einem Holzkohlegrill.
 Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

EMISSIONSFAKTOR (kg/TJ)	LAMMSPIESSE	SCHWEINESTEAK	HÄHNCHENSCHENKEL	HÄHNCHENMISCHUNG*	FISCH	HOLZKOHLE (Glutbettvorbereitung)
Kohlenstoffmonoxid (CO)	3.038	4.670	4.640	2.757	3.706	1.867
Kohlenwasserstoffe (CnHm) (FTIR)	3.671	1.112	1.063	391	669	539
Organic Gaseous Carbon (FID)	1.885	622	191	47	248	199
Nicht Methan Kohlenwasserstoffe	3.440	830	861	230	494	411
Feinstaub PM 10	1.241	304	282	84	244	16–428
PAK	3,7–5,7					0,3–0,4
davon Naphthalin	3,5–5,5					–
BTEX	45,1–76,9					6,4–17,9
davon Benzol	20,9–34,3					5,5–10
Gerüche [GE/m³]	36.000–120.000					

* Mischung aus Hähnchenschenkel, -brust und -flügel.

beziehungsweise Lammspießen. In TABELLE 2 sind die Emissionen (Frachten und Konzentrationen) im Neuzustand, das heißt vor der Beaufschlagung mit Fett, sowie nach der Beaufschlagung mit Fett dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Abscheideleistung der Abgasreinigungsanlage nach der Beaufschlagung der Grillanlage mit Fett insbesondere bei den Kohlenwasserstoffen (C_nH_m) sowie leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX) und bei den polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) stark nachgelassen hat.

Bei den BTEX sind die Konzentrationen im Reingas nach der Dauerbelastung höher als im Rohgas. Das lässt sich mit der Beladung des Aktivkohlefilters begründen. Nach der

Dauerbelastung war der Aktivkohlefilter so stark beladen, dass einerseits keine Adsorption von BTEX mehr stattfinden konnte und andererseits bereits adsorbierte Komponenten desorbiert wurden.

Eine Minderung der Feinstaubkonzentration (PM_{10}) von über 90 Prozent und eine Minderung der Geruchskonzentration um 87 Prozent war auch noch nach der Belastung der Abgasminderungseinrichtung möglich.

Die Geruchsemissionen (gemessen in Geruchseinheiten – GE) lagen im Rohgas im Durchschnitt zwischen 38.000 GE/ m^3 und 42.000 GE/ m^3 . Bei starker Rauchentwicklung, hervorgerufen durch die Schürung des Brennstoffs sowie kurz nach dem Auflegen des Grillguts, wurden Geruchsemissionsspitzen von bis zu 120.000 GE/ m^3 gemessen.

TABELLE 2
 Vergleich der Emissionen vor und nach der Belastung des Abgasreinigungssystems mit 130 kg Fett über 3 Wochen. Quelle: Aleya, Leistner 2021.

STOFF/ STOFFGRUPPE	EINHEIT	GRILLEN VON HACKFLEISCH (VOR BELASTUNG)		GRILLEN VON HACKFLEISCH (NACH BELASTUNG)	
		ROHGAS	REINGAS	ROHGAS	REINGAS
Sauerstoffgehalt O_2	[Vol.-%]	20 < O_2 < 21	20 < O_2 < 21	20 < O_2 < 21	20 < O_2 < 21
Kohlenstoffmonoxid CO (FTIR)	[mg/Nm ³]	113–203	217–292	38–87	107–139
	[g/h]	90–162	254–342	50–115	139–181
Kohlenwasserstoffe C_nH_m (FTIR)	[mg/Nm ³]	227–510	44–114	166–278	115–173
	[g/h]	182–408	51–133	219–367	150–225
OGC (FID)	[mg/Nm ³]	47–134	12–55	21–68	10–71
	[g/h]	38–107	14–64	28–90	13–92
PAK	[µg/Nm ³]	280	nicht nachweisbar	433	271
	[g/h]	0,224	nicht nachweisbar	0,346	0,352
BTEX	[µg/Nm ³]	5.830	2.310	3.420	6.220
	[g/h]	4,7	3,0	2,7	8,1
Gerüche (Olfaktometer)	[GE/m ³]	36.000 – 120.000	300–500	36.000 – 120.000	4.200 – 5.000
Feinstaub PM_{10} , $PM_{2,5}$ (gravimetrisch)*	[mg/Nm ³]	90–171	< 10	90 – 171	< 5
	[g/h]	108–205	< 12	108–205	< 6
Ultrafeinstaub (5 nm bis 350 nm, gezählt, SMPS)	[Partikel/ Ncm ³]	$6,6 \times 10^6$	$2,7 \times 10^4$	$6,6 \times 10^6$	$2,7 \times 10^4$

* Ein Großteil der Stäube ist kleiner als $PM_{2,5}$.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch eine Abgasreinigung im Neuzustand eine Minderung an toxikologisch und geruchsrelevanten Stäuben und Aerosolen sowie gasförmigen Emissionen erreicht werden kann. Die wichtigste Abscheidestufe zur Minderung von Gerüchen und Kohlenwasserstoffen ist der Aktivkohlefilter.

Um eine hohe Effektivität bei der Reinigung des Abgases beizubehalten, ist eine regelmäßige Wartung der Abgasreinigungseinrichtung erforderlich.

Vor allem der Aktivkohlefilter muss regelmäßig ausgetauscht beziehungsweise gewartet werden, da die notwendige Schadstoffminderung sonst nicht eintritt und es zu einer Desorption von Schadstoffen nach vollständiger Beladung des Aktivkohlefilters kommt. Auch wenn nur geringe Geruchsemissionen wahrgenommen werden, ist ein Austausch des Aktivkohlefilters und gegebenenfalls eine Wartung der Anlage notwendig, da es sonst zu hohen Emissionen an gasförmigen Kohlenwasserstoffen und zu einer Desorption von Aromaten am Aktivkohlefilter kommen kann.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass ein spezifischer Verbrauch von 1 kg Aktivkohle pro 10 kg Grillgut (Lammspieße mit einem Fettgehalt zwischen 38 % und 45 %) erforderlich ist, um eine ausreichende Adsorption von Schadstoffen zu gewährleisten.

IMMISSIONSMODELLIERUNG

VORGEHENSWEISE

Im Rahmen der Immissionsmodellierung wird die Ausbreitung der in den Emissionsmessungen ermittelten Geruchs- und Luftschadstoffemissionen für drei reale Anlagenstandorte durch Ausbreitungsrechnungen in verschiedenen Szenarien simuliert:

- 1 worst case: Rohgas mit realen Ableitbedingungen,

- 2 Reingas mit Abgasreinigungsanlage nach Dauerbelastung,
- 3 Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4,
- 4 best case: Kombination der Szenarien 2. und 3.

Ergebnisse dieser Simulationen sind berechnete Felder der Immissionen (Geruchsstundenhäufigkeiten und Schadstoffkonzentrationen) in der Außenluft. Im Folgenden werden beispielhaft die Ergebnisse für das Modellgebiet Mannheim Marktplatz mit 12 Holzkohlegrills und 3 Pizzaöfen vorgestellt.

Zusätzlich zu den Geruchsimmissionen werden die Luftschadstoffe Staub, Stickoxide (NO_x), CO und als besonders gesundheits-schädliche organische Verbindungen die Stoffgruppen BTEX und PAK untersucht.

Die Emissionszeitreihen, das heißt die zeitliche Variation der Emissionen, werden in Anlehnung an reale Betriebszeiten ermittelt.

Für die Simulation der Schadstoffausbreitung werden Windfelder benötigt, die zuvor speziell für das Modellgebiet berechnet wurden. Die Windfeldberechnung erfolgte mit dem mikroskaligen, prognostischen Windfeldmodell MISKAM, um die Strömungs- und Turbulenzfelder in der Umgebung der innerstädtischen Bebauungsstrukturen berücksichtigen zu können.

Die Ausbreitungsrechnungen für Geruch, Staub und Gase wurden mit einem Lagrange'schen Partikelmodell entsprechend den Anforderungen des Anhangs 2 der Neufassung der TA Luft in Verbindung mit der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 berechnet.

ÜBERSICHT DER EMISSIONSFAKTOREN

Für die Ableitung der Emissionsquellstärken werden die Ergebnisse der Versuchsanlage auf dem Prüfstand des Fraunhofer IBP verwendet. Die Immissionsmodellierung wird für die Schadstoffe Feinstaub (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$), CO, PAK, BTEX, sowie Gerüche durchgeführt.

Die quantitativen Analysen der Abgase aus den Grillversuchen von Hackfleischspießen aus dem Holzkohlegrill haben ergeben, dass

die emittierten PAK zu mehr als 95 Prozent als Naphthalin auftreten. Die Konzentrationen von Benzo(a)pyren, für welches die 39. BImSchV als Leitsubstanz der PAK einen Immissionszielwert von 1 ng/m^3 vorsieht, liegen in den Analysen unterhalb der Nachweisgrenze. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird im Sinne einer konservativen Vorgehensweise der Summenparameter PAK in den Ausbreitungsrechnungen berücksichtigt und die so ermittelten Immissionskonzentrationen werden informativ dem Beurteilungswert für Benzo(a)pyren gegenübergestellt.

Des Weiteren zeigen die quantitativen Analysen, dass die im Abgas nachgewiesenen Benzol-Konzentrationen je nach Grillversuch zwischen 39 und 46 Prozent Anteil an den BTEX-Aromaten haben (TABELLE 1). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden die im Abgas nachgewiesenen BTEX-Konzentrationen in den Ausbreitungsrechnungen modelliert und die ermittelten Immissionskonzentrationen werden informativ dem Grenzwert von $5 \mu\text{g/m}^3$ (Jahresmittelwert für Benzol) nach der 39. BImSchV gegenübergestellt.

Um die zeitliche Variabilität der Emissionen im typischen Tagesbetrieb abzubilden, werden jeweils die folgenden Phasen unterschieden:

- Glutvorbereitung (Entzünden des Brennstoffs und Einbrennphase),
- Grillvorgang (Zubereitung von Speisen),
- Gluthalphase (Standby-Betrieb zwischen den Phasen mit Speisenzubereitung).

Die angesetzten Emissionsquellstärken für die Modellierung sind in TABELLE 3 zusammengefasst und können von den Werten der Dauerbelastung (TABELLE 2) aufgrund der Vielzahl der Messwerte sowie des zeitlichen Ablaufs des Projekts abweichen.

Im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen werden die Minderungsgrade für ein bereits mit Schadstoffen belastetes System berücksichtigt, um ein realitätsnahes Szenario zu berücksichtigen.

SCHADSTOFF	ABGASZUSTAND	PHASE	LAMMSPIESS HOLZKOHLEGRILL	EINHEIT
CO	Rohgas	Vorbereiten	702	g/h
		Grillen	495	
		Gluterhaltung	260	
	Reingas	Vorbereiten	528	
		Grillen	452	
		Gluterhaltung	260	
PM ₁₀	Rohgas	Vorbereiten	7	g/h
		Grillen	125	
		Gluterhaltung	7	
	Reingas	Vorbereiten	n.n.	
		Grillen	5	
		Gluterhaltung	n.n.	
PM _{2,5}	Rohgas	Vorbereiten	7	g/h
		Grillen	121	
		Gluterhaltung	7	
	Reingas	Vorbereiten	–	
		Grillen	5	
		Gluterhaltung	–	
Geruch	Rohgas	Vorbereiten	23,7	MGE/h
		Grillen	156,0	
		Gluterhaltung	–	
	Reingas	Vorbereiten	0,1	
		Grillen	6,5	
		Gluterhaltung	–	
PAK	Rohgas	Vorbereiten	–	mg/h
		Grillen	346	
		Gluterhaltung	–	
	Reingas	Vorbereiten	–	
		Grillen	352	
		Gluterhaltung	–	
BTEX	Rohgas	Vorbereiten	–	mg/h
		Grillen	4.664	
		Gluterhaltung	–	
	Reingas	Vorbereiten	–	
		Grillen	8.086	
		Gluterhaltung	–	

– : Emissionswert nicht gemessen
 n. n.: nicht nachweisbar – Konzentration unterhalb der Nachweisgrenze

TABELLE 3
 Emissionsquellstärken (Emissionsfrachten) für Lammspieße in Abhängigkeit von der Betriebsphase (Werte nach der Dauerbelastung). Quelle: Aleya, Leistner 2021.

Um der Zeitabhängigkeit der Emissionen im Tagesverlauf entsprechend einem typischen Betriebsszenario Rechnung zu tragen, werden für den Betrieb der Holzkohlegrills folgende Betriebsphasen in Ansatz gebracht:

- 10:00 – 11:00 Uhr Glutvorbereitung
- 11:00 – 14:00 Uhr Grillbetrieb
- 14:00 – 17:00 Uhr Gluthalphase
- 17:00 – 01:00 Uhr Grillbetrieb

Die Emissionen werden an 365 Tagen des Jahres modelliert, unter der Annahme, dass alle Anlagen zur gleichen Zeit dieselbe Betriebssituation aufweisen.

ERGEBNISSE DER IMMISSIONSMODELLIERUNG

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die anlagenbedingte Zusatzbelastung der Ausbreitungsrechnungen differenziert nach Szenario aufgezeigt und diskutiert. Zusätzlich wurde für die Speise „Hackfleischspieße“ der Einfluss von Emissionsminderungstechnik (Reingas) untersucht. Es werden Ergebnisse von vier Szenarien vorgestellt: Im Szenario „worst case“ wurden die Emissionsfaktoren ohne Einsatz von Emissionsminderungstechnik (sogenannte Rohgasemissionen) (TABELLE 1) unter Annahme der in der Praxis vorgefundenen, teils ungünstigen, Ableitbedingungen verwendet.

Das Szenario „Reingas“ berücksichtigte den Einsatz von Emissionsminderungstechnik nach der Dauerbelastung (TABELLE 2). Das Szenario „VDI 3781-4“ verwendete ebenfalls Rohgasemissionen, setzte jedoch voraus, dass diese über verbesserte Schornsteine, die außerhalb der Rezirkulationszone enden, abgeleitet wurden, sodass der ungestörte Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung nach den Anforderungen der Richtlinie VDI 3781, Blatt 4, gewährleistet ist.

Im „best case“-Szenario wurden sowohl der Einsatz von Emissionsminderungstechnik als

auch optimierte Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4, angenommen.

Aus den berechneten räumlichen Konzentrationsverteilungen wurde jeweils das Maximum in der bodennahen Schicht in 1,5 Meter Höhe c_{\max} sowie der Durchschnittswert der Konzentration auf 1,5 Meter Höhe im gesamten Rechengebiet c_{avg} ermittelt. Im Untersuchungsgebiet Mannheim kam es an einzelnen Anlagenstandorten aufgrund der Kombination von niedriger Kaminhöhe mit Ableitung in einen Innenhofbereich zu lokal sehr hoher Belastung mit Luftschadstoffen. Die Werte wurden separat als Wert $c_{\max,I}$ ausgewiesen und von den ermittelten Konzentrationen in Bereichen außerhalb solcher ungünstiger Konstellationen $c_{\max,A}$ unterschieden.

ERGEBNISSE DER IMMISSIONSMODELLIERUNG IN MANNHEIM

TABELLE 4 zeigt die anlagenbedingte Zusatzbelastung mit Schadstoffen für $PM_{2,5}$, PM_{10} , CO, PAK und BTEX sowie die Geruchshäufigkeit in einer Höhe von 1,5 Meter über Geländeoberkante. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse des worst-case-Szenarios grafisch dargestellt und diskutiert. Das Modell simulierte die Zusatzbelastungen von 12 Holzkohlegrills und 3 Pizzaöfen, deren Schornsteine in den Abbildungen durch blaue Punkte markiert sind.

Die Ergebnisse weisen für die prognostizierte Zusatzbelastung für $PM_{2,5}$ Maximalwerte von über $1.400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in einem Innenhof aus (TABELLE 4). Außerhalb von Innenhofsituationen mit niedrigen Quellen liegt die Maximalkonzentration bei $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Am Beispiel der $PM_{2,5}$ -Immissionen in **ABBILDUNG 1** lässt sich nachvollziehen, wie sich die Summe aus der Vorbelastung und den von allen betrachteten Anlagen verursachten Zusatzbelastungen zu einer Gesamtbelastung addiert, der die Öffentlichkeit ausgesetzt ist. Die Zusatzbelastung, welche angesichts der anzunehmenden Vorbelastung von $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geeignet ist, den Grenzwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu überschreiten, erstreckt sich bis zu einer Ent-

UNTERSUCHUNGSGBIET MANNHEIM													
ZUBEREITUNG VON HACKFLEISCHSPIESSEN													
WORST-CASE													
REINGAS													
VDI 3781-4													
BEST-CASE													
		C _{MAX,I}	C _{MAX,A}	C _{AVG}	C _{MAX,I}	C _{MAX,A}	C _{AVG}	C _{MAX,I}	C _{MAX,A}	C _{AVG}	C _{MAX,I}	C _{MAX,A}	C _{AVG}
PM _{2,5}	µg/m ³	1.471	39,0	3,36	60,6	1,61	0,14	10,3	9,41	1,35	0,40	0,39	0,05
PM ₁₀	µg/m ³	1.512	40,0	3,44	60,6	1,61	0,14	10,5	9,71	1,38	0,40	0,39	0,05
CO	µg/m ³	7.208	194	17,2	6.545	170	14,8	64,9	49,6	7,04	54,8	42,4	6,04
BTEX	µg/m ³	58,6	1,60	0,14	102	2,70	0,24	0,40	0,38	0,05	0,69	0,65	0,09
PAK	ng/m ³	4.169	107	9,33	4.241	109	9,49	28,2	25,6	3,73	28,7	26,0	3,79
Geruch	%	59	49	9	58	43	6	42	35	8	34	28	5

TABELLE 4

Übersicht der Berechnungsergebnisse in der Berechnungshöhe 1,5 Meter für das Untersuchungsgebiet Mannheim (anlagenbedingte Zusatzbelastung).
 Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

fernung von circa 200 Metern vom Schwerpunkt der modellierten Quellen.

Im Weiteren ist die Zusatzbelastung von Gerüchen farbgrafisch für das Modellgebiet Mannheim Marktplatz dargestellt. Die (modellierte) Geruchsstundenhäufigkeit lag in einzelnen Innenhofsituationen bei Werten von bis zu 59 Prozent der Jahresstunden (AB-BILDUNG 2). Außerhalb von luftaustauscharmen Lagen in Innenhöfen wurden noch 49 Prozent Geruchsstundenhäufigkeit erreicht. Da für die Anlagen im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen ein Betrieb in 62,5 Prozent der Jahresstunden angenommen wurde, kann dieser Wert rechnerisch auch als Geruchsstundenhäufigkeit nicht überschritten werden.

Im vorliegenden Fall erstreckt sich der Bereich, in dem eine Überschreitung der relativen Geruchsstundenhäufigkeit von 10 Prozent zu erwarten ist, nach Norden über die nördliche Begrenzung des Rechengebietes hinaus und nach Süden bis zum circa 200 Meter südlich des Marktplatzes gelegenen Paradeplatz.

Es zeigt sich, dass die BTEX-Maximalwerte für dieses Szenario in einzelnen Innenhöfen

mit bis zu 59 µg/m³ prognostiziert wurden (TABELLE 4) und lokale Grenzwertüberschreitungen somit sicher angenommen werden können, auch unter der Annahme, dass es sich nur bei circa 40 Prozent der BTEX um Benzol handelt.

Außerhalb von Innenhofsituationen, die durch niedrige Quellen überdurchschnittlich belastet wurden, lag die Maximalkonzentration im Jahresmittel bei circa 1,6 µg/m³, sodass hier keine Grenzwertüberschreitungen zu erwarten sind.

Für die modellierten PAK-Immissionen sind außerhalb von ungünstigen Innenhofsituationen Maximalwerte von bis zu 107 ng/m³ zu erwarten, was den als Anhaltswert dienenden Zielwert für Benzo(a)pyren nach 39. BImSchV von 1 ng/m³ um den Faktor 100 überschreitet. Allerdings handelt es sich hierbei zu 95 Prozent um Naphthalin, wie oben beschrieben. Eine Überschreitung des Benzo(a)pyrengrenzwerts scheint somit nicht gegeben.

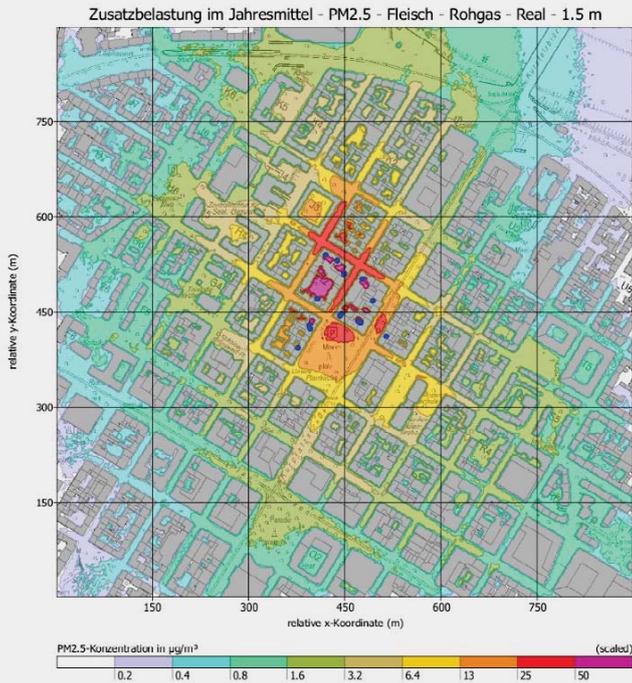


ABBILDUNG 1
 Zusatzbelastung der PM_{2,5}-Immissionskonzentration im Umfeld des Marktplatzes Mannheim. Szenario worst-case. Quelle: Aleya, Leistner 2021.

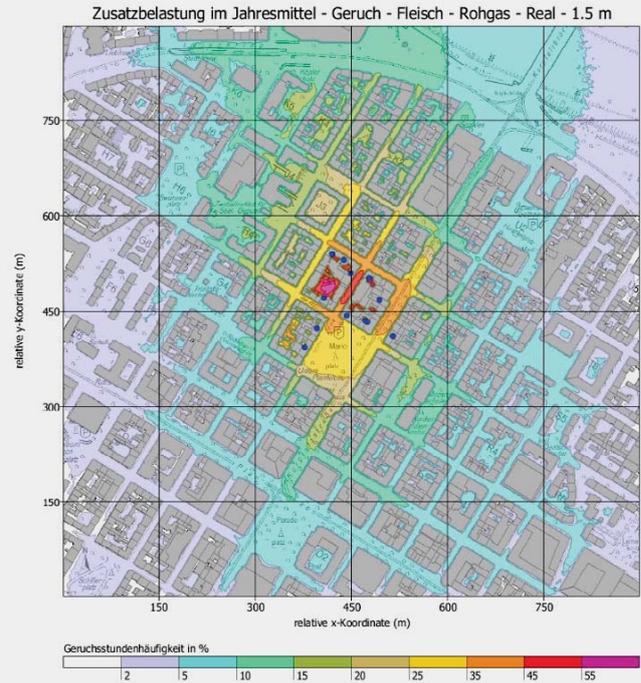


ABBILDUNG 2
 Zusatzbelastung der relativen Geruchsstundenhäufigkeit im Umfeld des Marktplatzes Mannheim. Szenario worst-case. Quelle: Aleya, Leistner 2021.

FAZIT

Holzkohlegrills haben ein sehr hohes Emissionspotenzial für Staub, organische Kohlenwasserstoffe und Gerüche. Diese ergeben sich zum einen durch die unregelmäßige Luftzufuhr, die unterschiedliche Beschickung des Grills mit Kohle und Grillgut und vor allem durch die unkontrollierte beziehungsweise unbeabsichtigte Verbrennung von herabtropfendem Fett. Viele Anlagen verfügen nur über ungenügende Ableitbedingungen und werden häufig ohne Emissionsminderungstechniken betrieben.

Hohe Emissionsfrachten ergeben sich aus den vergleichsweise hohen Emissionsfaktoren, den hohen Volumenströmen (bis zu 40-fach höher als bei Einzelraumfeuerungsanlagen) und der langen Betriebsdauer (ca.

10 Stunden pro Tag). Daraus können sich für eine typische Grillanlage, bei einer angenommenen Betriebsdauer von 10 Stunden täglich und sechs Tagen pro Woche in Summe Frachten von 19 bis 650 kg Feinstaub (PM₁₀), 15 kg BTEX (davon ca. 9 kg Benzol) und 475 bis 1.163 kg an Kohlenwasserstoffen im Jahr ergeben. Damit können Holzkohlegrills wesentlich zur Immissionsbelastung in der Nachbarschaft, insbesondere einer erheblichen Belästigung durch Gerüche und Feinstaub beitragen.

Die Geruchsemissionen aus Holzkohlegrills stellen aus lufthygienischer Sicht das größte Problem solcher Holzkohlegrills dar. Hier kann es schon durch einzelne Holzkohlegrills zur Überschreitung der Geruchsimmisionswerte kommen. Bei einer Häufung mehrerer Holzkohlegrills im innerstädti-

schen Bereich kann es neben einer weiträumigen Überschreitung der Geruchsimmissionswerte auch zu einer Überschreitung der Immissionsgrenzwerte für Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) und in ungünstigen luftaustauscharmen Innenhöfen auch von Benzol kommen.

Bei der Neuerrichtung von Holzkohlegrills sollte geprüft werden, ob die Errichtung dieser Anlagen ohne Beeinträchtigung des näheren Umfelds möglich ist. Hierbei sollte der Einsatz von Brennstoffen wie Gas und Strom zur Speisenzubereitung geprüft und als Alternative betrachtet werden. Sollten Holzkohlegrills errichtet werden, so ist der Einsatz einer dauerhaft funktionsfähigen und wirksamen Abgasreinigungsanlage notwendig. Hier ist es wichtig, die Wartung (z. B. Austausch des Aktivkohlefilters) in den dafür vorgesehenen Intervallen durchzuführen. Darüber hinaus sollten die Schornsteine von Holzkohlegrills die Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4, einhalten. Nur so lässt sich eine wirksame Verdünnung der Abgase und dadurch eine zusätzliche Verminderung der Immissionsbelastung in der direkten Nachbarschaft erreichen.

Bei bestehenden Holzkohlegrills sollte der Einsatz einer nachgeschalteten, dauerhaft funktionsfähigen und wirksamen Abgasreinigungsanlagentechnik geprüft werden. Darüber hinaus sollte die Möglichkeit der Verbesserung der Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4, in Betracht gezogen werden. Alternativ sollte der Einsatz anderer Brennstoffe wie Gas oder Strom zur Speisenzubereitung in Erwägung gezogen werden. ●

KONTAKT

Christian Liesegang
Umweltbundesamt
Fachgebiet III 2.1 „Übergreifende Angelegenheiten,
Chemische Industrie, Feuerungsanlagen“
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
E-Mail: christian.liesegang[at]uba.de

[UBA]

LITERATUR

Aleysa M, Leistner P (2021): Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten. FKZ: 3718 533024. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unveröffentlichter Zwischenbericht.

Feinstaubbelastung Neujahr 2020 und 2021: Vergleich der Auswertungen zweier Pollenfallen in Berlin

Particulate matter Pollution at New Year 2020 and 2021: Comparing two pollen traps in Berlin

ZUSAMMENFASSUNG

Silvesterfeuerwerk führt oft zu einer vorübergehend messbaren Luftbelastung insbesondere mit Feinstaub: Partikel kleiner $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) und kleiner $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$). Aufgrund der strengen Einschränkungen des öffentlichen Lebens und des weitgehenden Ausfalls des Feuerwerks war dies zum Jahreswechsel 2020/21 wesentlich weniger ausgeprägt. Wir stellen hier die Auswertungen zweier konventioneller Pollenfallen (Burkhard-Fallen) im zeitlichen Verlauf des Jahreswechsels 2019/20 und 2020/21 vor. Diese optische Partikelanalysemethode ist zwar nicht für Feinstaubmessungen validiert, kann diese aber dennoch anschaulich und zeitbezogen illustrieren. Die Ergebnisse werden den offiziell berichteten PM_{10} -Messwerten von Berliner Luftgütemessstationen an den betreffenden Neujahrstagen gegenübergestellt. Die Visualisierung von Fein- und Grobstaubb Belastungen (bis $80\ \mu\text{m}$ Durchmesser) kann die Kommunikation über gesundheitlich relevante Expositionen durch Luftverunreinigungen unterstützen.

CAROLA EMANUEL,
KATRIN SÜRING,
WOLFGANG STRAFF

ABSTRACT

New Year's Eve fireworks usually lead to significant air pollution with particulate matter. Compared to the previous year, the turn of the year 2020/21 led to considerably lower air pollution with fine dust due to the strict restrictions on public life and the extensive limitations of the fireworks. We present the temporal progressions of two devices intended and used for the collection of pollen. The optical particle analysis is typically not validated for particle measurements, nevertheless fine and coarse dust (up to $80\ \mu\text{m}$ diameter) particles can be illustrated with reference to the time of exposure. These results are compared with the officially reported results for particulate matter (PM_{10}) of Berlin air quality stations on the relevant New Year's Days. The visual documentation of fine and coarse dust pollution can support communication about health-relevant exposures to air pollution.

HINTERGRUND

Am ersten Tag des neuen Jahres ist die Luftbelastung mit gesundheitsgefährdendem Feinstaub an vielen Orten höher als an allen anderen Tagen im Jahr. Dies zeigen Auswertungen der Daten aus den Messnetzen der Länder und des Umweltbundesamtes (UBA). In der ersten Stunde des neuen Jahres sind PM_{10} -Stundenmittelwerte um 1.000

Mikrogramm Feinstaub pro Kubikmeter Luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in den Großstädten keine Seltenheit (Dauert et al. 2020). Bei Feinstaub handelt es sich um ein komplexes Gemisch fester und flüssiger Partikel. Es wird in seiner Zusammensetzung zu Silvester deutlich von den Abbrennprodukten der Feuerwerkskörper bestimmt, deren Einfluss auf die Gesundheit nicht unbedenklich ist (Hickey et al. 2020).



Quelle: [cosmicphotos/pixabay.com](https://www.pixabay.com/).

Anders als in den Vorjahren ergab sich Ende 2020 zum Jahreswechsel die ungewöhnliche Situation, dass aufgrund der Corona-Pandemie in Deutschland der Verkauf von Feuerwerk verboten war. Zudem war, mit je nach Bundesland spezifischen Unterschieden, auch das Abbrennen von Feuerwerk, welches vielleicht noch aus Vorjahresbeständen vorhanden war, untersagt. So gab es in Berlin allein 56 ausgewiesene Verbotszonen, darunter auch die sehr beliebten Partybereiche vor dem Brandenburger Tor und viele andere öffentliche Parks und Plätze (Tageschau 2020). Auch das traditionelle Höhenfeuerwerk, welches normalerweise bundesweit übertragen wird, konnte 2020/21 nicht stattfinden (Hauptstadtportal 2020).

Mit dieser Auswertung möchten wir zeigen, welche Auswirkungen der weitgehende Ausfall des Silvesterfeuerwerks zum Jahreswechsel 2020/21 im Vergleich zum Vorjahr hatte. Wir illustrieren die Feinstaubbelastung mit einer Darstellung einer optischen Partikelanalysemethode nach der sogenannten Hirst-Methode an einem Standort in Berlin-Mitte (Charité, Campus Mitte) sowie an einem Standort in Berlin-Dahlem (Thielallee, Nähe UBA, Standort Berlin Corrensplatz). Diese Analysen stellen wir den Messergebnissen von Berliner Luftgütemessstationen an den betreffenden Silvesternächten und Neujahrstagen gegenüber.

EINGESETZTE TECHNIK

Am Standort Berlin-Dahlem wird die Belastung der Luft mit Pollen und anderen Schwebstoffpartikeln für wissenschaftliche Fragestellungen ganzjährig untersucht. Die Analyse mittels der Hirst-Methode wird normalerweise dazu verwendet, Pollen von allergenen Pflanzen zu identifizieren. Hierfür wird eine Burkard-Pollenfalle eingesetzt, die Schwebstoffpartikel, welche die Größe von PM_{10} auch übersteigen können, auf einer rotierenden Membran bindet. Verschiedenste Schwebstoffpartikel können so auf einer adhäsiven Matrix fixiert und nach einer entsprechenden Weiterverarbeitung mikroskopisch analysiert werden. Diese visuelle Analyse der Membranstreifen ist methodisch ausführlich in der VDI-Richtlinie 4252 beschrieben (VDI 2019). Die gleiche Methode wird für die Pollenanalysen der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) an vielen verschiedenen Standorten in Deutschland verwendet. In Berlin befindet sich eine solche Pollenfalle auf dem Campus der Charité in Berlin-Mitte. Anders als in Berlin-Dahlem, wo sich diese Pollenfalle in etwa in 1,5 Metern Höhe befindet, ist diese im Dachbereich eines Klinikgebäudes installiert.

Kontinuierliche Feinstaubbelastungen sind Gegenstand der Luftqualitätsüberwachung der Bundesländer. In Berlin werden im Rahmen des Berliner Luftgüte-Messnetzes (BLUME) kontinuierlich automatische PM_{10} -Messungen durchgeführt, sodass stündliche Feinstaub-Messwerte (PM_{10}) auf der Internetseite *Luftdaten Berlin* zur Verfügung stehen (Hauptstadtportal 2021). Diese Konzentrationen werden für die Luftqualitätsberichterstattung des Landes Berlin ganzjährig erhoben.

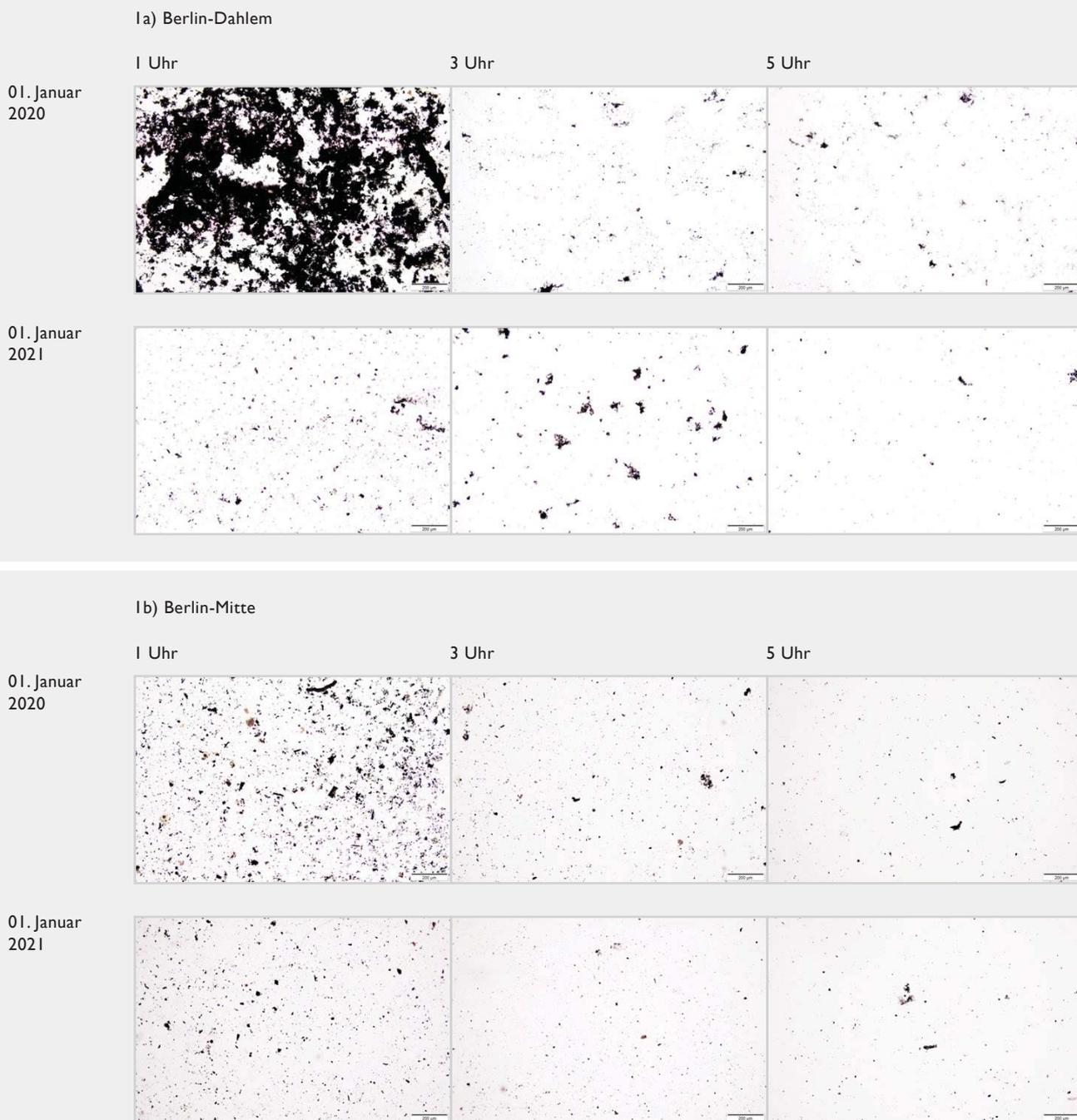
ERGEBNISSE

Es wurden die Pollenpräparate des Jahreswechsels 2019/20 sowie 2020/21 von zwei Berliner Standorten, an denen Burkard-Fallen installiert sind, ausgewertet: Die

mikroskopischen Aufnahmen der Präparate sind in 100-facher Vergrößerung dargestellt und zeigen exemplarisch in Zwei-Stundenintervallen den Verlauf der Neujahrstage 2020 und 2021. **ABBILDUNG 1A** zeigt für den Standort Berlin-Dahlem einen Vergleich der mikroskopischen Befunde um ein, drei und fünf Uhr morgens beider Neujahrstage. Unmittelbar nach dem Jahreswechsel am Neujahrstag 2020 zeigt sich eine beträchtliche Belegung der Fangmembran mit Staubpartikeln. Sie ist so stark, dass einzelne Partikel kaum mehr voneinander unterschieden werden können. Es hat eine Agglomeration von Partikeln auf der Fangmembran stattgefunden. Um drei Uhr morgens ist bereits eine deutlich geringere Belegung der Fangmembran erkennbar und eine weitere Reduzierung der darauf abgelagerten Partikel um fünf Uhr morgens. Demgegenüber zeigt die mikroskopische Auswertung der Burkard-Falle am Neujahrsmorgen 2021 nur eine gering erhöhte Belastung der Luft. Die pandemiebedingten Einschränkungen des Silvesterfeuerwerks beim Jahreswechsel 2020/21 fallen deutlich ins Auge (**ABBILDUNG 1A**).

Am Standort Berlin-Mitte zeigt sich ein anderes Bild hinsichtlich der Belegung der Fangmembranen mit Staub aus der Umgebungsluft. Es ist zwar am Neujahrsmorgen 2021 eine im Vergleich zum Vorjahr deutliche Reduzierung der Belastung erkennbar (**ABBILDUNG 1B**), dennoch wirkt das Bild in beiden Jahren eher so, als sei die Umgebungsluft weniger staubbelastet als am Standort Berlin-Dahlem zu Neujahr 2020. Aufgrund der verminderten Agglomerationseffekte am Standort Berlin-Mitte ist allerdings insbesondere bei stärkerer Vergrößerung erkennbar, dass es sich um einen großen Anteil von Feinstaubpartikeln $< 10 \mu m$ (PM_{10}) handelt (hier nicht gezeigt). Aus **ABBILDUNG 2** geht hervor, dass die Agglomerationen 2020 am Standort Berlin-Dahlem auch tatsächlich aus Feinstaubpartikeln zusammengesetzt sind, welche die Größe von PM_{10} deutlich unterschreiten.

ABBILDUNG I
Partikelanalyse nach der
Hirst-Methode.



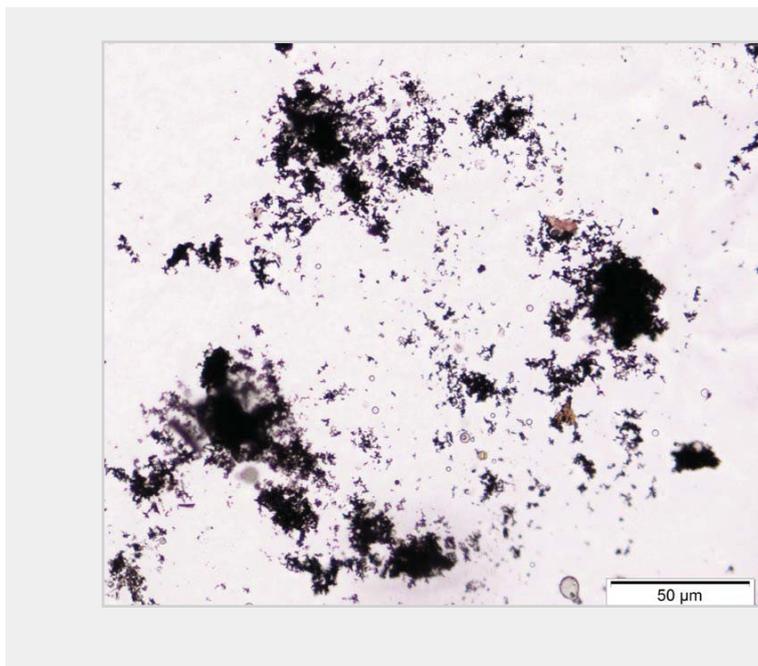
Die mikroskopischen Aufnahmen vermitteln ein Bild der Luftbelastung in den morgendlichen Stunden des Neujahrstages 2020 und 2021 von zwei Berliner Standorten: Ia): Berlin-Dahlem, Nähe Thielallee, Ib): Berlin-Mitte, Charité-Gelände. Die mittels der Burkard-Falle fixierten Luftpartikel sind in 100-facher Vergrößerung dargestellt. Der rechts unten eingefügte Balken entspricht einer Länge vom 200 µm.

MESSERGEBNISSE DES BERLINER LUFTGÜTEMESSNETZES ZUM VERGLEICH

TABELLE 1 zeigt eine Gegenüberstellung der stündlichen Messergebnisse für ein, drei und fünf Uhr morgens sowie der über 24 Stunden gemittelten Messwerte von zehn Berliner Messstationen des Luftgüte-Messnetzes BLUME für PM_{10} . Die Verteilung der Messstationen innerhalb Berlins bezieht Standorte an großen Verkehrsstraßen, im städtischen Hintergrund und auch ländliche stadtnahe Gebiete (Stadttrand) mit ein. Dadurch soll ein möglichst breiter Überblick über die Luftbelastung in Berlin gewährleistet werden.

Es zeigt sich, dass 2020 die Tagesmittelwerte für PM_{10} von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dem EU-Grenzwert für das Tagesmittel) an vier von zehn Messstationen überschritten wurden. Am 01.01.2021 wurden diese jedoch an keiner Messstation überschritten. In der Gegenüberstellung der Stundenwerte der automatischen Messungen um ein Uhr früh am Neujahrstag ist vor allem 2020 und etwas weniger ausgeprägt auch 2021 der Einfluss des Berliner Feuerwerks ersichtlich: Als Folge des Silvesterfeuerwerks ist eine deutliche Erhöhung der PM_{10} -Konzentration in der Stunde nach Mitternacht erkennbar (**TABELLE 1**).

Auffällig sind insbesondere die sehr hohen PM_{10} -Konzentrationen, welche am Neujahrsmorgen 2020 um ein Uhr gemessen wurden. Insbesondere an Standorten im Innenstadtbereich, wo üblicherweise auch vermehrt Feuerwerkskörper gezündet werden, konnten zum Teil über $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} gemessen werden. Gerade in diesen Gebieten zeigt sich, dass die Reduzierung des Silvesterfeuerwerks bei dem Jahreswechsel 2020/21 zu geringeren Feinstaubkonzentrationen führte. Neujahr 2021 zur selben Zeit waren die gemessenen Feinstaubkonzentrationen an diesen Orten deutlich niedriger. So wurde zum Beispiel in Berlin-Mitte, einem Ort, wo üblicherweise auch touristisch vielfältige Silvesterfeierlichkeiten stattfinden, nur ein Sechstel der Feinstaubbelastung des Vorjahres zu diesem Zeitpunkt nachgewiesen.



Bei einer höheren Auflösung der mikroskopischen Aufnahme (400-fache Vergrößerung) ist erkennbar, dass sich die anhaftenden Schwebepartikelaggregate der Luft vornehmlich aus Feinstaubpartikeln mit einer Größe unter $10 \mu\text{m}$ zusammensetzen. Der rechts lokalisierte Balken entspricht einer Länge von $50 \mu\text{m}$.

Ein direkter Vergleich der Luftbelastung im Verlauf der beiden Neujahrsmorgen 2020 und 2021 ist für die Zeitpunkte ein, drei und fünf Uhr in **ABBILDUNG 3** dargestellt.

ABBILDUNG 2
Partikelanalyse nach der Hirst-Methode – Agglomerations-effekte.

DISKUSSION

Feinstaub ist ein guter Indikator für Luftverschmutzungen. Weltweit beeinträchtigt er die Gesundheit von mehr Menschen als andere Luftschadstoffe. Es bestehen deutliche Zusammenhänge zwischen einer hohen Konzentration von Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) und einer erhöhten Sterblichkeit und auch dem Auftreten verschiedener Erkrankungen sowohl bei täglicher als auch bei chronischer Belastung (WHO 2018).

Die Europäische Union (EU) führte mit der Richtlinie 1999/30/EG verpflichtende Grenzwerte der PM_{10} -Belastung der Luft innerhalb der EU ein. Der seit dem 1. Januar 2005 einzuhaltende Tagesmittelwert für PM_{10} beträgt

MESS-STATION	BEZIRK	TYP	PM ₁₀ -KONZENTRATION in µg/m ³							
			01.01.2020				01.01.2021			
			1 Uhr	3 Uhr	5 Uhr	Tages-mittelwert	1 Uhr	3 Uhr	5 Uhr	Tages-mittelwert
010	Wedding	H	57	70	27	30	52	69	41	29
032	Charlottenburg-Wilmersdorf	S	32	39	28	24	20	49	41	25
042	Neukölln	H	208	96	35	46	74	82	38	37
077	Pankow	S	39	56	30	30	50	65	44	33
085	Treptow-Köpenick	S	112	116	46	39	45	35	32	28
117	Steglitz-Zehlendorf	V	451	66	35	58	157	75	38	39
124	Tempelhof-Schöneberg	V	751	113	43	75	217	53	40	41
143	Neukölln	V	547	74	45	64	95	86	39	39
171	Mitte	H	373	93	29	48	58	75	41	32
174	Friedrichshain-Kreuzberg	V	757	115	45	83	254	67	49	47

Dargestellt sind grau hinterlegt die Tagesmittelwerte der PM₁₀-Belastung der Berliner Messstationen. Im Vergleich dazu zeigen die stündlich gemittelten Feinstaubbelastungen um 1 Uhr, um 3 Uhr und um 5 Uhr die hohen Schwankungen der Feinstaubemission nach dem Silvesterfeuerwerk (Hauptstadtportal 2021).

Typ: V = Verkehr, H = Hintergrund, S = Stadtrand

TABELLE I
 PM₁₀-Konzentrationen
 an Berliner Mess-
 stationen vom 01. Januar
 der Jahre 2020 und
 2021.

50 µg/m³ bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr. Der Jahresmittelwert für PM₁₀ beläuft sich auf 40 µg/m³. Am Neujahrsmorgen 2021 wurde im Gegensatz zu 2020 der Grenzwert des Tagesmittelwerts für PM₁₀ von 50 µg/m³ an keiner Berliner Messstation überschritten.

Die Auswertungen der Pollenfallen in den beiden Zeiträumen der ersten Neujahrsstunden der Jahre 2020 und 2021 tragen nicht zu einer offiziellen Berichterstattung über die Situation der Luftqualität bei. Die Methode eignet sich nur bedingt, um Aussagen über die Konzentration von Feinstaub oder die Anzahl von Partikeln in der Umgebungsluft zu treffen. Es ist auch wichtig zu erwähnen, dass aufgrund der Art und Weise der Sammelmethode bei Pollensammelgeräten nicht nur Feinstaub auf der Membran abgelagert wird. Dennoch kann bei einer stärkeren Vergrößerung der mikroskopischen Präparate der Fangfolien die deutliche Beladung mit Feinstaub nachgewiesen werden. Ohne dass eine Quantifizierung vorgenommen

wurde, kann aus dem mikroskopischen Bild abgeschätzt werden, dass sich überwiegend Feinstaubpartikel der Kategorien PM₁₀ und auch PM_{2,5} abgelagert haben und auch, dass die Agglomerate auf der Folie der Pollenfalle in Berlin-Dahlem aus einzelnen mehrheitlich sehr kleinen Partikeln (PM_{2,5}) bestehen (ABBILDUNG 2). Eine genauere Analyse dieser Partikelgrößenverteilung könnte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Bake konnte allerdings schon 2001 am gleichen Standort nachweisen, dass die Konzentration von PM_{2,5} durch das Silvesterfeuerwerk in der Neujahrsnacht in Innenräumen bei geschlossenen Fenstern (Doppelkastenfenster, Altbau) um den Faktor 10 ansteigt (Bake 2002). Warum es am Standort Berlin-Dahlem und nicht am Standort Berlin-Mitte zu den starken Agglomerationseffekten kommt, kann unterschiedliche Gründe haben: Zum einen ist die Pollenfalle hier deutlich niedriger (in Kopfhöhe) installiert als in Berlin-Mitte (Dachbereich eines Klinikgebäudes), sodass es aufgrund des Standortes

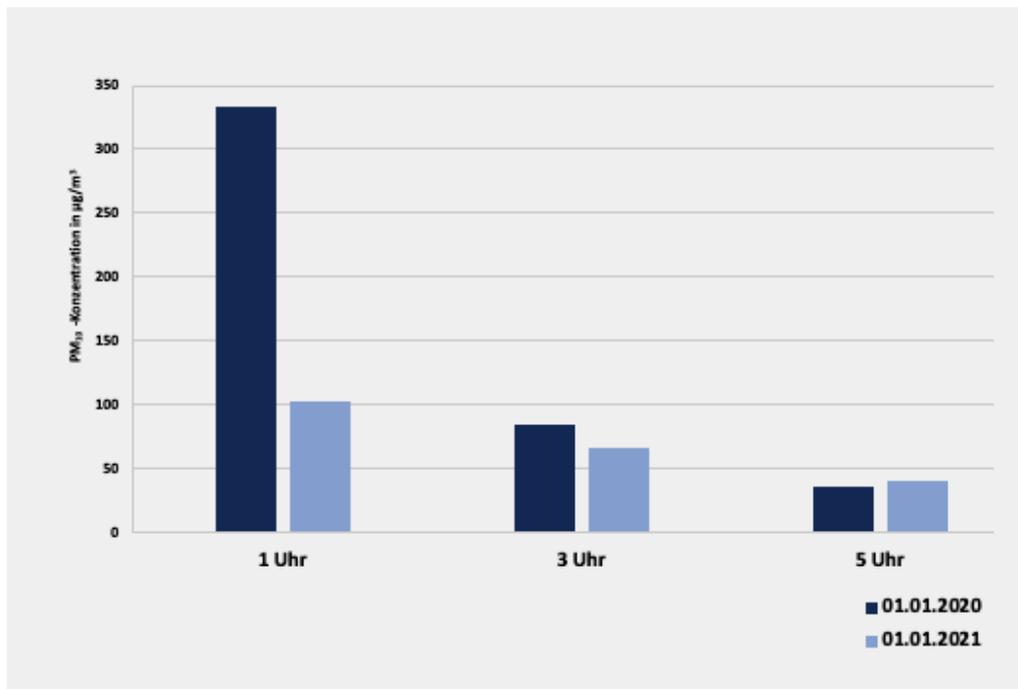


ABBILDUNG 3
PM₁₀-Belastung des
Neujahrstages im Ver-
gleich der Jahre 2020
und 2021.

Die PM₁₀-Belastung wurde aus den entsprechenden Werten von zehn Berliner Messstationen am Neujahrstag stündlich gemittelt und im Vergleich der Jahre 2020 und 2021 dargestellt.

zu unterschiedlich hohen Partikelanzahlen und -konzentrationen kommen kann. Zum anderen können auch innerstädtische kleinräumige Witterungsunterschiede von Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Wind zu Veränderungen des Sammelbildes beitragen.

Bezüglich der Wirkungen von Staubbelastungen gelten Feinstäube (PM_{2,5} aber auch PM₁₀) als besonders relevant für die gesundheitliche Wirkung. Dennoch muss erwähnt werden, dass auch gröbere Stäube (z. B. Schwebstaub, Total Suspended Particles, TSP) zu Irritationen und Entzündungen der oberen Atemwege führen können.

Hinsichtlich der Darstellung des mikroskopischen Bildes einer Staubbelastung ist jedoch insbesondere von Bedeutung, dass dieser visuelle Eindruck eine Erweiterung der Wahrnehmung einer Belastung ermöglicht. Zu der Berichterstattung über die Belastung der Umgebungsluft in der physikalisch messbaren Einheit µg/m³ kommt hier ein mikroskopisches Bild hinzu. Durch das Zusammenspiel dieser beiden Informationen kann es

gelingen, die Bedeutung der Luftbelastung zu unterstreichen, und im Sinne eines erweiterten Kommunikationskonzeptes auszubauen. Auch für Laien kann somit leichter ersichtlich werden, wie stark die (vermeidbare) Luftbelastung durch menschliches Handeln zu Silvester ist.

FAZIT

Bei der Aufklärung über umweltbedingte Risiken für die Gesundheit ist es oftmals schwierig, allgemein verständliche Formen der Kommunikation zu finden. Durch die ganzjährige Pollensammlung an zwei Standorten in Berlin liegen Bilder mikroskopischer Präparate vor, welche die Fein- und Grobstaubbelastung konkret visuell zeigen und im zeitlichen Verlauf darstellen. Dieses mikroskopische Verfahren wird grundsätzlich zwar nicht zur Feinstaubmessung verwendet, es kann allerdings zur Aufklärung über Feinstaubbelastungen zu Silvester

oder in anderen Situationen beitragen. So kann es einen Beitrag leisten, wenn neben Konzentrationsdaten und Datenvisualisierungen (Diagramme, Tabellen etc.) für die Kommunikation konkrete Bilder einer Expositionssituation gewünscht werden.

DANKSAGUNG

Die Autorinnen und der Autor danken den Mitarbeitenden der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) für die freundliche Kooperation am Standort Berlin-Dahlem und die Bereitstellung der Pollenpräparate der Messtation in Berlin-Mitte/Charité sowie Sabine Bach für die medizinisch-technische Betreuung.

LITERATUR

Bake D (2002): Schwebstaub in der Innenraumluft im Verhältnis zur Außenluft. UMID 03: 16–18.

Dauert U, Straff W, Gerwig H et al. (2020): Zum Jahreswechsel: Wenn die Luft „zum Schneiden“ ist. Hintergrundpapiere 16. Dessau-Roßlau. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/jahreswechsel-wenn-die-luft-schneiden-ist> (Zugriff am: 13.09.2021).

Hauptstadtportal berlin.de (2021): Berliner Luftgütemessnetz – Überblick aktiver Messtationen. <https://luftdaten.berlin.de/station/overview/active> (Zugriff am: 03.09.2021).

Hauptstadtportal berlin.de (2020): Kein Silvester-Feuerwerk am Brandenburger Tor. BerlinOnline Stadtportal GmbH & Co. KG. <https://www.berlin.de/kultur-und-tickets/nachrichten/6398851-2154924-kein-silvesterfeuerwerk-am-brandenburger.html> (Zugriff am: 03.09.2021).

Hickey C, Gordon C, Galdanes K et al. (2020): Toxicity of particles emitted by fireworks. Part Fibre Toxicol 17: 28.

Tagesschau (2020): FAQ Corona-Regeln. Was ist zu Silvester erlaubt und was nicht? <https://www.tagesschau.de/inland/faq-silvester-101.html> (Zugriff am: 03.09.2021).

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2019): Richtlinie VDI 4252 Blatt 4. Bioaerosole und biologische Agenzien – Ermittlung von Pollen und Sporen in der Außenluft unter Verwendung einer volumetrischen Methode für ein Messnetz zu allergologischen Zwecken.

WHO – Weltgesundheitsorganisation (2018): Ambient (outdoor) air pollution. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Zugriff am: 03.09.2021).

KONTAKT

Dr. Carola Emanuel
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 1.5 „Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung“
Corrensplatz 1
14195 Berlin
E-Mail: carola.emanuel[at]uba.de

[UBA]

Arbeitshilfe zur Entwicklung und Implementierung von kommunalen Hitzeaktionsplänen veröffentlicht

Working aid for the development and implementation of municipal heat-health action plans published

ZUSAMMENFASSUNG

In Deutschland sind Kommunen von der 93. Gesundheitsministerkonferenz (2020) dazu aufgerufen, innerhalb von fünf Jahren Hitzeaktionspläne (HAP) zu entwickeln. Im Rahmen des vom Umweltbundesamt (UBA) geförderten Projektes „HAP-DE – Analyse von Hitzeaktionsplänen und gesundheitlichen Anpassungsmaßnahmen an Hitzeextreme in Deutschland“ ist eine Arbeitshilfe für Kommunen entstanden, die vorhaben einen HAP zu erstellen. Diese Zusammenfassung grundlegender Erkenntnisse aus Materialien und Empfehlungen anderer Projekte und Modelle soll eine nachhaltige Implementierung von HAP in Kommunen wahrscheinlich machen. Einige Kommunen haben sich in der vom Projekt angebotenen Beratung explizit eine solche Konkretisierung der 2017 veröffentlichten Handlungsempfehlungen der Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)“ gewünscht. Die hier vorgestellte Arbeitshilfe umfasst Empfehlungen, praktische Beispiele und Arbeitsmaterialien und wurde mit mehreren Kommunen evaluiert.

BEATE BLÄTTNER †,
DEBORA JANSON,
HENNY ANNETTE
GREWE

ABSTRACT

In 2020, the German Health Ministers' Conference requested local authorities to develop heat-health action plans within five years. The UBA (German Environment Agency)-funded project "HAP-DE", which analysis heat health action plans in Germany, recently published a guide that supports municipalities who wish to adapt heat health action plans. The document compiles basic findings from materials and recommendations of other projects and models to make sustainable implementation of heat action plans on local level more likely. During the projects consultation, some municipalities have asked for more explicit advice, how to apply the recommendations for heat-health action plans, published in 2017. The guide presented here consists of recommendations, practical examples and working materials; it was evaluated together with local municipalities.

HINTERGRUND

2019 war weltweit das zweitwärmste Jahr (DWD 2020); in Deutschland war das vergangene Jahrzehnt (2011–2020) das wärmste in den Aufzeichnungen (DWD 2021). Auch die Anzahl und Intensität der Hitzetage pro Sommer steigt. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird als Folge des Klimawandels für Deutschland eine Verdreifachung der Zahl

der jährlichen Hitzetage auf fast 40 Tage erwartet (Zacharias, Koppe 2015: 139).

Bereits jetzt haben Hitzeextreme auch in Europa spürbare Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung. Allein im August 2003 wurden in den zwölf vom Hitzesommer betroffenen Ländern Europas fast 45.000 zusätzliche Todesfälle verzeichnet, darunter 7.295 in Deutschland (Robine et al. 2007). Für Deutschland sind auch in den Jahren



Ein Paar schützt sich mit einem Schirm vor der Mittagssonne. Quelle: Annette Grewe.

2006, 2010, 2013 und 2015 jeweils zwischen 3.300 und 6.200 zusätzliche Todesfälle während Hitzewellen festzustellen (an der Heiden 2019). Zu späteren Jahren fehlen bislang noch bundesweite Daten.

Während einige Länder Europas den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) folgend (Matthies et al. 2008) als politische Antwort auf die gesundheitlichen Folgen solcher Extremwetterereignisse Hitzeaktionspläne (HAP) auf nationaler oder regionaler Ebene entwickelt und verabschiedet haben, ist Deutschland auf Bundesebene noch nicht wesentlich über die Entwicklung des Hitzewarnsystems des Deutschen Wetterdienstes (DWD) hinausgekommen. Die Entscheidung einzelner Staaten für regionale oder nationale HAP ist davon abhängig, ob sie eher zentralistisch oder föderal strukturiert sind. In Deutschland wird die kommunale Zuständigkeit für HAP diskutiert, obwohl Kommunen keine eigenen Staatsgebilde

sind, also keine verfassungsrechtliche Souveränität besitzen. Auch wenn ihnen im Grundgesetz (§ 28 GG) das Recht einer subsidiären Selbstverwaltung eingeräumt wird, werden sie durch die Vorgaben der jeweiligen Länder reguliert.

Wirksame HAP umfassen neben der Information der Bevölkerung, orientiert an einem Warnsystem, vor allem konkrete Schutzmaßnahmen für vulnerable Bevölkerungsgruppen und ein Monitoring der Mortalität oder Morbidität im Kontext von Hitze. Dies lässt sich nur in einer Kooperation von Institutionen unterschiedlicher Sektoren umsetzen und bedarf eines Rahmens auf Ebene des jeweiligen Bundeslandes oder der Nation. Auch langfristige Maßnahmen, wie die Begrünung von Städten oder der Erhalt von Frischluftschneisen, stellen ein zentrales Element eines HAP dar. Viele Kommunen haben derartige Maßnahmen bereits in weiteren Konzepten etabliert, auf die sie verweisen können.

Im Aktionsplan II der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) (BMU 2016) wurde von der Bundesregierung angeregt zu prüfen, ob die Länder HAP erarbeiten können. Mit den Ergebnissen der Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)“ von 2017 wurden entsprechende Empfehlungen formuliert. Diese sind als Grundlage für die konkrete Erarbeitung und Etablierung von auf die jeweilige Region abgestimmten, praktikablen HAP zu verstehen und richten sich in erster Linie an die Länder (GAK 2017).

Die GAK (2017) folgt damit dem Rat der WHO Europa zur Entwicklung von HAP (Matthies et al. 2008) und orientiert sich weitgehend an deren Empfehlungen. Entscheidend sind acht Kernelemente, von der zentralen Koordinierung und interdisziplinären Zusammenarbeit über die besondere Beachtung von Risikogruppen bis zum Monitoring und zur Evaluierung der Maßnahmen. Ergänzend dazu ist inzwischen eine aktuelle Aufbereitung des Erkenntnisstandes aus europäischen Ländern von der WHO veröffentlicht worden. Die WHO bemängelt darin ein Missverhältnis zwischen einer klaren Evidenz für die gesundheitliche Belastung durch Hitze und der nur langsamen Implementierung von HAP (WHO Europe 2021).

Es liegen vielversprechende Befunde zur Verringerung der hitzebedingten Mortalität für ältere Personen über 65 Jahre, über 75 Jahre und über 80 Jahre nach Einführung eines HAP vor (Niebuhr et al. 2021). Trotz methodischer Einschränkungen zeigen europäische Studien, dass HAP einen Effekt auf die Reduktion der Sterblichkeit und der Krankheitslast haben, wenn sie nicht nur die Weitergabe von Informationen über Hitze umfassen. Hinzu kommen signifikante Ergebnisse für weitere gefährdete Bevölkerungsgruppen, wie Alleinlebende, Kinder und Jugendliche sowie Personen mit einem niedrigen sozioökonomischen Status, allerdings auf Basis nur weniger Studien. Die Wirksamkeit eines HAP hängt auch davon ab, in welchem Umfang, in welcher Intensität und mit welchem

Organisationsgrad die einzelnen Elemente umgesetzt werden.

Im Aktionsplan Anpassung III der DAS (BMU 2020) wurde eine die Empfehlungen der GAK (2017) unterstützend durchzuführende Bestandserhebung, Analyse und Evaluation von bestehenden beziehungsweise geplanten HAP festgeschrieben. Diese wird derzeit mit dem Projekt „HAP-DE – Analyse von Hitzeaktionsplänen und gesundheitlichen Anpassungsmaßnahmen an Hitzeextreme in Deutschland“ versucht. Dabei geht es im Wesentlichen um die Frage der Auswirkung der Handlungsempfehlungen der GAK (2017).

Im Rahmen ihrer 93. Konferenz sprachen sich die Gesundheitsminister und -ministerinnen der Länder am 30.09.2020 für die Erstellung von kommunalen HAP in einem Fünfjahreszeitraum aus (GMK 2020). Dieser Beschluss wurde durch die 97. Konferenz der Ministerinnen und Minister, Senatorinnen und Senatoren für Arbeit und Soziales der Länder im November 2020 bestätigt (ASMK 2020).

Inzwischen hat zur Unterstützung der Entwicklung von kommunalen HAP beispielsweise Bayern eine Tool-Box (LGL 2021) nach Schweizer Vorbild (Swiss TPH 2021) veröffentlicht und die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) ein Informationsportal „Klima-Mensch-Gesundheit“ online gestellt (BZgA 2021). Informationsmaterialien für die Allgemeinbevölkerung wurden vor allem durch das Umweltbundesamt (UBA 2015, 2021) entwickelt und überarbeitet. Die Stadt Offenbach hat einen kommunalen HAP bereits 2020 implementiert, einige andere Städte und Kommunen, darunter Erfurt, Köln, Mannheim und Worms, sind dabei kommunale HAP zu entwickeln (Blättner, Grewe 2021). Andere Städte haben keinen HAP, aber interessante Einzelmaßnahmen wie ein Hitzeschutzkonzept für Obdachlose in Bochum.

Eine von der Hochschule Fulda im Juni 2021 veröffentlichte Arbeitshilfe soll Kommunen bei der Entwicklung eines HAP unterstützen. Einige Kommunen haben sich in

der vom Projekt HAP-DE angebotenen Beratung explizit eine solche Konkretisierung der Handlungsempfehlungen der GAK (2017) gewünscht.

VORGEHEN

Ziel der Arbeitshilfe ist die Zusammenfassung grundlegender Erkenntnisse aus Materialien, Empfehlungen und Handlungsanleitungen anderer Projekte und Modelle zu einzelnen Handlungsschritten, um eine nachhaltige Implementierung von HAP in Kommunen und Städten zu unterstützen.

Ein Entwurf dieser Arbeitshilfe wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages innerhalb des BMU-Programms „Anpassung an den Klimawandel“ mit dem Schwerpunkt „Kommunale Leuchtturmvorhaben“ geförderten Projektes „Hitze / Sicher Worms. Gemeinsam handeln“ (2020 bis 2022) für die Stadt Worms pilotiert. Im Rahmen des vom BMU finanzierten und vom Umweltbundesamt (UBA) geförderten Projekts „HAP-DE. Analyse von Hitzeaktionsplänen und gesundheitlichen Anpassungsmaßnahmen an Hitzeextreme in Deutschland“ (2019 bis 2022) wurde die Arbeitshilfe weiterentwickelt und mit mehreren Städten und Stadtstaaten unterschiedlicher Größe evaluiert. Ein Teil des Projektes HAP-DE ist die individuelle Beratung von Kommunen und Ländern, die mit dieser Arbeitshilfe unterstützt werden soll.

Den Empfehlungen der Arbeitshilfe liegen insbesondere Zusammenfassungen von Dokumenten übergeordneter Institutionen zugrunde (TABELLE 1).

Auf ergänzende Dokumente und Referenzen wird in den einzelnen Empfehlungen hingewiesen. Darüber hinaus ist die Expertise der Wissenschaftlerinnen bei der Unterstützung von Kommunen in der Entwicklung von HAP in die Empfehlungen eingeflossen. Die im Folgenden vorgestellte Arbeitshilfe ist unter anderem auf den Projektwebseiten

<https://www.hs-fulda.de/pflege-und-gesundheit/forschung/forschungsschwerpunkte/klimawandel-und-gesundheit/hitzeaktionsplaene> oder <https://www.adelphi.de/de/projekt/hap-de-analyse-von-hitzeaktionspl%C3%A4nen-und-gesundheitlichen-anpassungsma%C3%9Fnahmen-hitzeextreme> zu finden.

ERGEBNISSE

Die rund 40-seitige Arbeitshilfe formuliert in fünf Kapiteln 19 Empfehlungen und bietet mit einem Gliederungsvorschlag für einen HAP, einer Checkliste und einer ausführlichen Literaturliste zusätzliche Arbeitsmaterialien an. Eine Zusammenfassung, die die 19 Empfehlungen aufgreift, ist dem Text vorangestellt.

Um die Arbeitshilfe möglichst praxisnah und anschaulich zu gestalten, wurden im Text Aktivitäten zum Hitzeschutz aus deutschen Kommunen vorgestellt, ergänzt durch Beispiele aus dem europäischen Umfeld. Bei der Auswahl der Beispiele wurde eine großflächige regionale Verteilung beachtet. Auch wurde versucht, zu möglichst allen Aspekten eines HAP Beispiele zu finden. Eine Evaluation der jeweils vorgestellten Maßnahmen ist damit nicht verbunden. Sechs Abbildungen sollen zur Anschaulichkeit beitragen. Kapitel 1 umfasst, ähnlich dem Aufbau einer Guideline, Vorbemerkungen, die die Methodik und Entstehung der Arbeitshilfe beschreiben.

Kapitel 2 fasst die Argumente zusammen, die für die Entwicklung eines HAP sprechen. Es wird empfohlen, damit zu argumentieren, dass Hitze ein für die Bevölkerung relevantes Gesundheitsproblem und ein HAP ein wirksames, grundsätzlich machbares und empfohlenes Instrument ist. Mit aussagekräftigen und gut verständlichen Karten und Abbildungen soll deutlich gemacht werden, dass die jeweilige Kommune ein für die Region essenzielles Problem hat, für das ein HAP eine Lösung bieten kann. Dies beruht auf der Erfahrung, dass Probleme nur dann als relevante Probleme verstanden werden, wenn mit Daten und Fakten belegt werden kann, dass sie für die

HERAUSGEBER	JAHR	TITEL	INTERNETQUELLE
Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe "Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels" (GAK)	2017	Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit	https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/hap_handlungsempfehlungen_bf.pdf
International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (Singh et al.)	2019	Heatwave Guide for Cities	https://www.climatecentre.org/downloads/files/IFRCGeneva/RCCC%20Heatwave%20Guide%202019%20A4%20RR%20ONLINE%20copy.pdf
Swiss TPH	2021 (Original 2017)	Hitze-Massnahmen-Toolbox 2021. Ein Massnahmenkatalog für den Schutz der menschlichen Gesundheit vor Hitze Erarbeitet im Rahmen der Umsetzung des Aktionsplans «Anpassung an den Klimawandel» des Bundes.	https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/das-nccs/themenschwerpunkte/klimawandel-und-gesundheit.html
WHO Europa (Matthies et al.)	2008	vergleiche auch: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Hitzeaktionspläne in Kommunen – Unterstützung bei der Erstellung von Maßnahmen und Konzepten – Toolbox März 2021	https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/heathealth-action-plans
WHO Europa	2019	Gesundheitshinweise zur Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden. Neue und Aktualisierte Hinweise für unterschiedliche Zielgruppen	https://www.euro.who.int/de/health-topics/Life-stages/healthy-ageing/publications/2019/public-health-advice-on-preventing-health-effects-of-heat.-new-and-updated-information-for-different-audiences
WHO Europa	2021	Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention	https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/2021/heat-and-health-in-the-who-european-region-updated-evidence-for-effective-prevention-2021

jeweilige Region auch zutreffen. Empfohlen wird, sich mit geeigneten Städten im In- und Ausland darüber auszutauschen, wie der HAP dort entwickelt wurde, welche Hindernisse bei der Umsetzung auftraten und welchen Rat aus der Praxis andere Städte geben können. Im ersten Teilkapitel wird zudem erläutert, warum sich nicht immer die besten Präventionskonzepte durchsetzen und weshalb Verbündete bei der Umsetzung wichtig sein können.

Kapitel 3 befasst sich mit der Beteiligung anderer an der Entwicklung des HAP und dem Aufbau von entsprechenden Strukturen. Ein HAP kann nicht von einer Einzelperson mit entsprechender Fachexpertise entwickelt werden. Es bedarf der Beteiligung vieler Akteure aus unterschiedlichen Ressorts, eines koordinierenden Gremiums unter Leitung der Stadtverwaltung und der Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger der Stadt. Die Zusammenarbeit von unterschiedlichen Fachab-

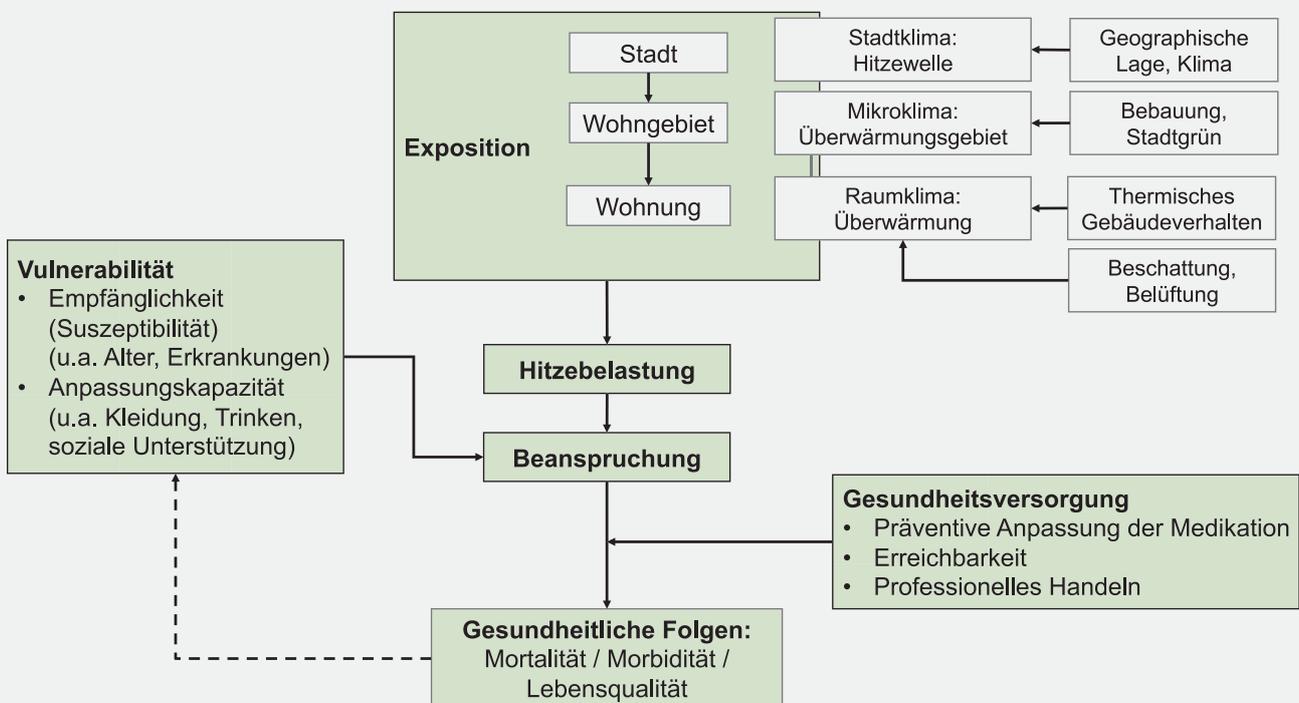
TABELLE I
 Grundlegende Dokumente zur Erstellung von Hitzeaktionsplänen.

teilungen mit ihrer je eigenen Logik und Methodik ist eine besondere Herausforderung. Empfohlen wird, dass möglichst jedes der involvierten kommunalen Ämter eine Person als Multiplikator/Multiplikatorin beauftragt, die sich zu Gesundheitsschutz bei Hitze weiterbildet und als Ansprechperson innerhalb des Amtes zur Verfügung steht. Ein intensiver Austausch sollte über regelmäßige Workshops zwischen den beteiligten Institutionen gewährleistet werden. Es wird empfohlen, die Verantwortung für eine zentrale Koordination des HAP direkt bei der Leitung der Verwaltung anzusiedeln. Eine typische Organisationsform wäre etwa ein Lenkungsausschuss, der von dem Bürgermeister oder der Bürgermeisterin einberufen wird. Ein Beschluss des Kollegialorgans der Stadt ohne Unterstützung der Verwaltung ist nicht hilfreich, ein interner Plan ohne Zustimmung des Kollegialorgans zu unverbindlich. In die Entwicklung und Implementierung des HAP sollten Beteiligungsverfahren für Bürger

und Bürgerinnen eingebunden werden, die einerseits sensibilisieren, andererseits gegebenenfalls ehrenamtliche Unterstützung gewinnen können. Erfahrungsgemäß stellt die Zusammenarbeit zwischen Ehrenamtlichen und Funktionstragenden insbesondere aus der vertragsbasierten Gesundheitsversorgung eine zu lösende Aufgabe dar. Letztere wird dadurch verstärkt, dass es hierfür keinerlei kommunale Zuständigkeit gibt. Es ist deshalb zum Beispiel für Funktionstragende auf Landesebene deutlich leichter, Vertreter und Vertreterinnen der Ärztekammer, der Kassenärztlichen Vereinigung und der Heimaufsicht an einen Tisch zu bekommen als für einen Bürgermeister oder eine Bürgermeisterin.

Kapitel 4 befasst sich damit, wie Maßnahmen aufeinander abgestimmt und Prioritäten gesetzt werden können. Im ersten Schritt ist es dafür notwendig zu verstehen, wie Hitze auf die menschliche Gesundheit wirkt (ABBILDUNG 1).

ABBILDUNG 1
 Wie wirkt Hitze auf die menschliche Gesundheit?
 Eigene Darstellung.



Voraussetzung für gesundheitliche Folgen ist zunächst die Exposition, die von den konkreten klimatischen Bedingungen und der geographischen Lage eines Wohngebietes (Stadtklima und Mikroklima) sowie vom Sanierungszustand von Gebäuden und den Möglichkeiten der Beschattung und Belüftung (Raumklima) abhängig ist. Auch Verhaltensweisen entscheiden mit: Hält sich ein Mensch aus beruflichen oder persönlichen Gründen während der Hitze im Freien auf, wann lüftet er und nutzt er die Möglichkeiten der Verdunklung? Der zweite Einflussfaktor ist das Ausmaß der Empfänglichkeit eines Menschen gegenüber Hitze, abhängig unter anderem vom Alter und von Vorerkrankungen. Empfänglichkeit steht in Verbindung mit der Anpassungskapazität eines Menschen an Hitze, die von eigenen Möglichkeiten und der Unterstützung des sozialen Umfeldes abhängig ist. Die Gesundheitsversorgung kann auf die Empfänglichkeit Einfluss nehmen, indem zum Beispiel die Medikation den klimatischen Bedingungen angepasst wird. Sie fängt Gefährdungen auf, indem sie im Notfall schnell und korrekt handelt. Erst die gemeinsame Betrachtung dieser Ansatzpunkte ermöglicht, einen umfassenden Plan zu erstellen.

Im Kern muss ein HAP drei Strategien miteinander verknüpfen: 1) die Risikokommunikation über die Gefahren von Hitzeextremen an die Allgemeinbevölkerung, 2) das Management von akuten Extremereignissen und 3) die langfristige Anpassung städtischer Strukturen (Swiss TPH 2021):

- Der letzte Punkt wird von Umweltämtern und der Stadtplanung in Deutschland oft gut gemeistert, eine Vielzahl von interessanten Projekten, teilweise vom Bund oder den Ländern gefördert, ist umgesetzt. Von zentraler Bedeutung ist eine feste Verankerung entsprechender Maßnahmen in den Verfahren zum Beispiel der Stadtplanung.
- Für den ersten Punkt stehen neben den konkreten Wetterwarnungen des DWD, die Grundlage des HAP sein sollten und zum

Teil zu Punkt 2 zählen, etliche Informationsbroschüren für unterschiedliche Zielgruppen zur Verfügung und müssen nicht neu erfunden werden. Vorhandene Kommunikationsmaterialien sollten kritisch gesichtet und dem aktuellen Erkenntnisstand angepasst oder übernommen werden.

- Die entscheidende Lücke sind verbindliche Maßnahmen zum Management von Akutereignissen, also konkrete Unterstützungsleistungen für vulnerable Bevölkerungsgruppen, die aus unterschiedlichen Gründen nicht alleine hinreichend für ihren Schutz sorgen können. Solche Bevölkerungsgruppen sind insbesondere ältere Menschen und Menschen mit chronischer Erkrankung oder physischer beziehungsweise psychischer Beeinträchtigung oder Behinderung, die in der Kommune alleine leben, Schwangere und Säuglinge, insbesondere aus benachteiligten oder überforderten Familien, Menschen, die im Freien arbeiten und Menschen, die in Gemeinschaftsunterkünften leben sowie Wohnungslose. Da entsprechende Maßnahmen mit hohem Aufwand verbunden sind, kann es sinnvoll sein, sie zunächst nur in Stadtgebieten durchzuführen, in denen es besonders heiß wird und besonders viele Menschen aus der jeweiligen Bevölkerungsgruppe wohnen. Gut funktionierende Maßnahmen sollten später aber auf das gesamte betroffene Stadtgebiet ausgeweitet werden können.

Kapitel 5 befasst sich schließlich mit dem Monitoring und der Evaluation. Für eine Evaluation ist es zunächst notwendig, dass alle ergriffenen Maßnahmen und deren Nutzung so umfassend wie möglich dokumentiert werden. Eine Bewertung der Akzeptanz der Maßnahmen durch Nutzer und Nutzerinnen ist ein zweiter wichtiger Schritt der Evaluation. Das besonders aussagefähige Monitoring der Mortalität an Hitzetagen lässt sich nur in größeren Metropolen auf kommunaler Ebene durchführen. Eine Überwachung der Krankheitslast (Morbidität)

während Hitzeperioden kann zum Beispiel mittels rettungsdienstlicher Daten aus dem Interdisziplinären Versorgungsnachweis oder der Notfalleinweisungen in örtliche Krankenhäuser erfolgen.

DISKUSSION

Kommunen wünschen sich mehr konkrete Unterstützung bei der Entwicklung kommunaler HAP. Die als Beratungsinstrument für strategische Entscheidungen bei der Entwicklung und Umsetzung eines kommunalen HAP entwickelte Arbeitshilfe kann eine solche Form der Unterstützung sein.

Daneben existieren weitere Materialien. Dies sind insbesondere die Handlungsempfehlungen der GAK (2017) auf der einen Seite und die Hitze-Maßnahmen-Toolbox (Swiss TPH 2021, erstmals 2017) sowie die Veröffentlichung „Hitzeaktionspläne in Kommunen – Unterstützung bei der Erstellung von Maßnahmen und Konzepten“ (LGL 2021) auf der anderen Seite. Die Handlungsempfehlungen der GAK schlagen, aufbauend auf den Erfahrungen europäischer Länder und ihrer Zusammenfassung durch die WHO Europa, den Rahmen für HAP in Deutschland vor. Die Toolboxes hingegen legen den Schwerpunkt auf Anregungen für konkrete, bedarfsgerechte Einzelmaßnahmen. In der bayerischen Box werden 13 Maßnahmen beschrieben, die den drei Gruppen „Kommunikation und Sensibilisierung“, „Management Extremereignis“ und „langfristige Anpassung“ zugeordnet sind. Die ersten vier Punkte gehören zur Gruppe 1, die letzten beiden Punkte zur Gruppe 3 und sieben Punkte zur Gruppe 2. In der Schweiz gehören neun Maßnahmen zu „Bildung und Information“, neun zu „Management Extremereignis“ und fünf zu „langfristige Maßnahmen“. Jede Maßnahme ist nach Aufwand, Kosten, Realisierung und Wirkung bewertet. Die entwickelte Arbeitshilfe zur Implementierung kommunaler HAP soll ein Bindeglied zwischen den Handlungsempfehlungen der GAK und den Maßnahmen-Toolboxen bilden.

Darüber hinaus stellen Fortbildungen und Vernetzungstreffen zum Thema Gesundheitsschutz bei Hitze wichtige Hilfestellungen für Kommunen dar. Eine derartige Veranstaltung wurde beispielsweise vom Landeszentrum Gesundheit Nordrhein-Westfalen im Sommer 2020 mit Mitarbeitenden aus Gesundheitsämtern durchgeführt. Hervorzuheben ist hinsichtlich der kommunalen Beratung das kürzlich eröffnete bundesweite Beratungszentrum für Klimaanpassung (BMU 2021).

Es fällt positiv auf, dass das Thema Gesundheitsschutz vor Hitze in den letzten Jahren an Aufmerksamkeit gewinnt und mehr und mehr Maßnahmen eingeführt werden. Langfristig sollten neu etablierte Aktivitäten und Instrumente evaluiert und weiterentwickelt werden. Das trifft auch auf die hier vorgestellte Arbeitshilfe für Kommunen zu. Die Fokussierung auf die kommunale Ebene ist eine Besonderheit in Deutschland, die unter anderem unter rechtlichen Aspekten, denen der Finanzierbarkeit und dem schonenden Umgang mit Ressourcen, aber auch der kommunalen Autonomie hinterfragt werden müsste. ●

LITERATUR

an der Heiden M, Muthers S, Niemann H et al. (2019): Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. Bundesgesundheitsbl 62: 571–57.

ASMK – Konferenz der Ministerinnen und Minister, Senatorinnen und Senatoren für Arbeit und Soziales der Länder (2020): Externes Ergebnisprotokoll der 97. Konferenz.TOP 5.2. Hitzeaktionspläne gemeinsam vereinbaren: 27–39.

Blättner B, Grewe HA (2021): Arbeitshilfe zur Entwicklung und Implementierung eines Hitzeaktionsplans für Städte und Kommunen. https://www.hs-fulda.de/fileadmin/user_upload/FB_Pflege_und_Gesundheit/Forschung___Entwicklung/Arbeitshilfe_Hitzeaktionsplaene_in_Kommunen_2021.pdf (Zugriff am: 08.09.2021).

BZgA – Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (2021): Informationsportal „Klima-Mensch-Gesundheit“. <https://www.klima-mensch-gesundheit.de/> (Zugriff am: 08.09.2021).

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021): Internetseite Zentrum Klimaanpassung. <https://zentrum-klimaanpassung.de/start> (Zugriff am: 09.09.2021).

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Anpassung an den Klimawandel. Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. <https://www.bmu.de/download/zweiter-fortschrittsbericht-zur-deutschen-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel> (Zugriff am: 08.09.2021).

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2016): Anpassung an den Klimawandel. Erster Fortschrittsbericht der Bundesregierung zur Deutschen Anpassungsstrategie. Berlin. <https://www.bmu.de/publikation/anpassung-an-den-klimawandel> (Zugriff am: 09.09.2021).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2021): Klimatologischer Rückblick auf 2020: Eines der wärmsten Jahre in Deutschland und Ende des bisher wärmsten Jahrzehnts. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20210106_rueckblick_jahr_2020.html (Zugriff am: 09.09.2021).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020): 2019 global zweitwärmstes Jahr: Temperaturentwicklung in Deutschland im globalen Kontext. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200128_vergleich_de_global.html (Zugriff am: 09.09.2021).

GAK – Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (2017): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/anpassung-an-den-klimawandel/handlungsempfehlungen-fuer-die-erstellung-von-hitzeaktionsplaenen/> (Zugriff am: 08.09.2021). Auch: Bundesgesundheitsblatt 60: 662–672.

GMK – Gesundheitsministerkonferenz (2020): Beschlüsse der 93. GMK. TOP: 5.1 Der Klimawandel – eine Herausforderung für das deutsche Gesundheitswesen. <https://www.gmkonline.de/Beschluesse.htm?id=1018&jahr=2020> (Zugriff am: 09.09.2021).

LGL – Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2021): Hitzeaktionspläne in Kommunen – Unterstützung bei der Erstellung von Maßnahmen und Konzepten – Toolbox März 2021. https://www.lgl.bayern.de/gesundheits/arbeitplatz_umwelt/klimawandel_gesundheit/hitzeaktionsplaene/index.htm (Zugriff am: 08.09.21).

Matthies F, Bickler G, Cardeñosa Marin N et al. (2008): Heat health action plans – guidance. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf (Zugriff am: 09.09.2021).

Niebuhr D, Siebert H, Grewe HA (2021): Die Wirksamkeit von Hitzeaktionsplänen in Europa. UMID 1: 7–16. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umid-012021> (Zugriff am: 08.09.2021).

Robine JM, Cheung SL, Roy SL et al. (2007): Report on excess mortality in Europe during summer 2003. EU Community Action Programme for Public Health. Grant Agreement 2005114. https://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf (Zugriff am: 08.09.2021).

Singh R, Arrighi J, Jjemba E et al. (2019): Heat-wave Guide for Cities. Red Cross Red Crescent Climate Center. The Hague. <https://www.climatecentre.org/downloads/files/IFRCGeneva/RCCC%20Heatwave%20Guide%202019%20A4%20RR%20ONLINE%20copy.pdf> (Zugriff am: 09.09.2021).

Swiss TPH – Swiss Tropical and Public Health Institute (2021): Hitzewellen-Massnahmen-Toolbox: Ein Massnahmenkatalog für den Umgang mit Hitzewellen für Behörden im Bereich Gesundheit. Swiss TPH, Basel. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/das-nccs/themenschwerpunkte/klimawandel-und-gesundheit.html> (Zugriff am: 09.09.2021).

UBA – Umweltbundesamt (2015, 2021): Der Hitze-knigge. Tipps für das richtige Verhalten bei Hitze. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/hitzeknigge> (Zugriff am: 29.06.2021).

WHO Europe – Weltgesundheitsorganisation Regionalbüro für Europa (2021): Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. Kopenhagen. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/2021/heat-and-health-in-the-who-european-region-updated-evidence-for-effective-prevention-2021> (Zugriff am: 09.09.2021).

WHO Europa – Weltgesundheitsorganisation Regionalbüro für Europa (2019): Gesundheitshinweise zur Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden: Neue und aktualisierte Hinweise für unterschiedliche Zielgruppen. Kopenhagen. <https://www.euro.who.int/de/health-topics/Life-stages/healthy-ageing/publications/2019/public-health-advice-on-preventing-health-effects-of-heat.-new-and-updated-information-for-different-audiences> (Zugriff am: 06.05.2021).

Zacharias S, Koppe C (2015): Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland. Umweltbundesamt – Reihe Umwelt & Gesundheit 06. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/einfluss-des-klimawandels-auf-die-biotropie-des> (Zugriff am: 09.09.2021).

KONTAKT

Debora Janson
Hochschule Fulda
Fachbereich Pflege und Gesundheit
Leipziger Straße 123
36037 Fulda
E-Mail: [debora.janson\[at\]pg.hs-fulda.de](mailto:debora.janson[at]pg.hs-fulda.de)

[UBA]

Prävention von Adipositas bei Heranwachsenden: Welche kleinräumigen Daten zu Prävalenz und Determinanten sind in Deutschland verfügbar?

Childhood obesity prevention: Which data on a small scale are available on prevalence and determinants in Germany?

ZUSAMMENFASSUNG

Im Projekt „Bevölkerungsweites Monitoring adipositasrelevanter Einflussfaktoren im Kindes- und Jugendalter“ (AdiMon-Projekt) wurden Datenquellen recherchiert, die kleinräumige Daten für die Prävention und Gesundheitsförderung von Adipositas liefern. Im AdiMon-Projekt hat sich gezeigt, dass sich die Zugänglichkeit und der Aufwand für die Nutzung der Datenquellen deutlich unterscheiden, zum Beispiel sind einzelne Datenquellen nicht umfangreich oder nur kostenpflichtig nutzbar. Der Aufwand scheint aber die Mühe wert. Die so erhaltenen lokalen Daten haben für die Planung und Evaluation von Public Health-Aufgaben das Potenzial, Prävention und Gesundheitsförderung spezifisch auf lokale Gegebenheiten anzupassen. Hierfür sollte die Zugänglichkeit der Datenquellen verbessert und die Erhebung kleinräumiger Daten gefördert werden.

GIANNI VARNACCIA,
SUSANNE JORDAN

ABSTRACT

In the project “Population-wide monitoring of obesity-relevant influencing factors in childhood and adolescence” (AdiMon project), data sources were explored that provide data on a small scale for the prevention and health promotion of obesity. The AdiMon project has shown that accessibility and effort to use the data sources differ significantly. For example, some data sources cannot be used extensively or can only be used for a fee. But the effort seems worth it. These local data have the potential to adapt prevention and health promotion specifically to local conditions for planning and evaluation of public health tasks. For this purpose, the accessibility of data sources should be improved and the collection of data on a small scale should be promoted.

EINLEITUNG

Adipositas kann bereits in der Kindheit und Jugend die Gesundheit beeinträchtigen und bis ins Erwachsenenalter negative gesundheitliche Folgen haben (Friedemann et al. 2012; Park et al. 2012). In Deutschland sind etwa 15 von 100 Heranwachsenden von Übergewicht oder Adipositas betroffen (Schienkiewitz et al. 2018). Die Verbreitung von Adipositas und deren Determinanten kann sich regional stark unterscheiden (Kroll, Lampert 2012). Daher ist es für die Adipositaspräven-

tion – wie auch für andere Public Health-Themen – wichtig, kleinräumig aussagekräftige Daten zur Verfügung zu haben (Rosenkötter et al. 2020; Reisig et al. 2020). Diese ermöglichen, präventive Aktivitäten an regionale Bedarfe und Verhältnisse anzupassen und die Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen auf regionaler Ebene zu überprüfen. Als kleinräumig wird üblicherweise eine Differenzierung auf Kreis- oder Gemeindeebene beziehungsweise bei größeren Kommunen eine bis zum (Bau-)Block und zur Blockseite differenzierte räumliche Gliederung des



Quelle: RKI.

Gemeindegebietes bezeichnet (VDSt, KOSIS-Verbund 2021).

Eine Übersicht über die in Deutschland vorhandenen Datenquellen, die kleinräumig aussagekräftige Informationen über die Verbreitung von Adipositas und deren Determinanten liefern, ist bisher nicht verfügbar. Ziel dieses Beitrags ist es deshalb, eine Übersicht über die in Deutschland vorhandenen und für die Adipositasprävention nutzbaren Datenquellen zu liefern. Darüber hinaus sollen Empfehlungen für die Erschließung entsprechender Datenquellen gegeben werden (lessons learned).

Der Beitrag baut auf den Ergebnissen des vom Bundesministerium für Gesundheit (BMG) geförderten Projektes „Bevölkerungswieites Monitoring adipositasrelevanter Einflussfaktoren im Kindes- und Jugendalter“ (AdiMon-Projekt) auf (Förderkennzeichen ZMVI1-2518KIG700). Im Rahmen des AdiMon-Projektes wurde ein webbasiertes Indi-

katorensystem (www.rki.de/adimon) aufgebaut, das für das Kindes- und Jugendalter bevölkerungswie aussagekräftige Daten zu adipositasrelevanten Einflussfaktoren, adipositasbezogenen Maßnahmen der Prävention und Gesundheitsförderung sowie zur Verbreitung von Adipositas liefert (Varnaccia et al. 2017). Um die Indikatoren zu quantifizieren, wurden Datenquellen recherchiert und erschlossen, die teilweise eine Nutzung auf kleinräumiger Ebene erlauben. Die Ergebnisse des AdiMon-Projektes stehen Politik und Praxis zur Verfügung, um Handlungsbedarfe frühzeitig zu erkennen, präventive Strategien und Maßnahmen zu planen und zeitliche Entwicklungen zu verfolgen.

Im Folgenden wird das Vorgehen im AdiMon-Projekt vorgestellt, um zu zeigen, welche Methoden sich dort als hilfreich herausgestellt haben beziehungsweise notwendig waren, um kleinräumig aussagekräftige Daten zu erhalten. Zunächst wird die Recherche der

Datenquellen erläutert. Daraufhin werden die recherchierten Datenquellen vorgestellt und deren Zugänglichkeit beschrieben, das heißt, es wird dargestellt, ob ein Zugriff auf diese vorhandenen Datenquellen für Externe möglich ist. Letztlich werden die Verfügbarkeit von kleinräumig aussagekräftigen Daten für die Adipositasprävention eingeordnet und Hinweise für deren Nutzung gegeben.

RECHERCHE VON DATENQUELLEN

Zur Identifikation von Datenquellen, die relevante Informationen für die Adipositasprävention enthalten, wurden etablierte Datenquellen der Gesundheitsberichterstattung geprüft und über die Suchmaschine Google recherchiert. Google wurde genutzt, um Datenquellen zu identifizieren, die bisher nicht im Fokus der Gesundheitsberichterstattung

standen. Dabei wurden Suchwörter kombiniert, die sich auf Einflussfaktoren der Adipositas (z. B. körperliche Aktivität) und mögliche Datenquellen (Studie, Indikator etc.) bezogen. Falls für einen Indikator mehrere Datenquellen verfügbar waren, wurde nach den Kriterien der Repräsentativität, Periodizität und regionalen Differenzierbarkeit priorisiert.

Insgesamt wurden über 30 Datenquellen identifiziert, die bevölkerungsweit aussagekräftige und regelmäßig aktualisierte Daten für die Bereiche Adipositas, Verhalten, Verhältnisse, Biologie, Vor & nach der Geburt, Psychosoziales, Kontext und Maßnahmen liefern. Diese acht Bereiche stammen aus einem vereinfachten Ursache-Wirkungs-Modell von Adipositas, das auf der aktuellen Evidenz zu Adipositas beruht und den konzeptionellen Rahmen für das AdiMon-Projekt bildete (Varnaccia et al. 2017) (ABBILDUNG 1).

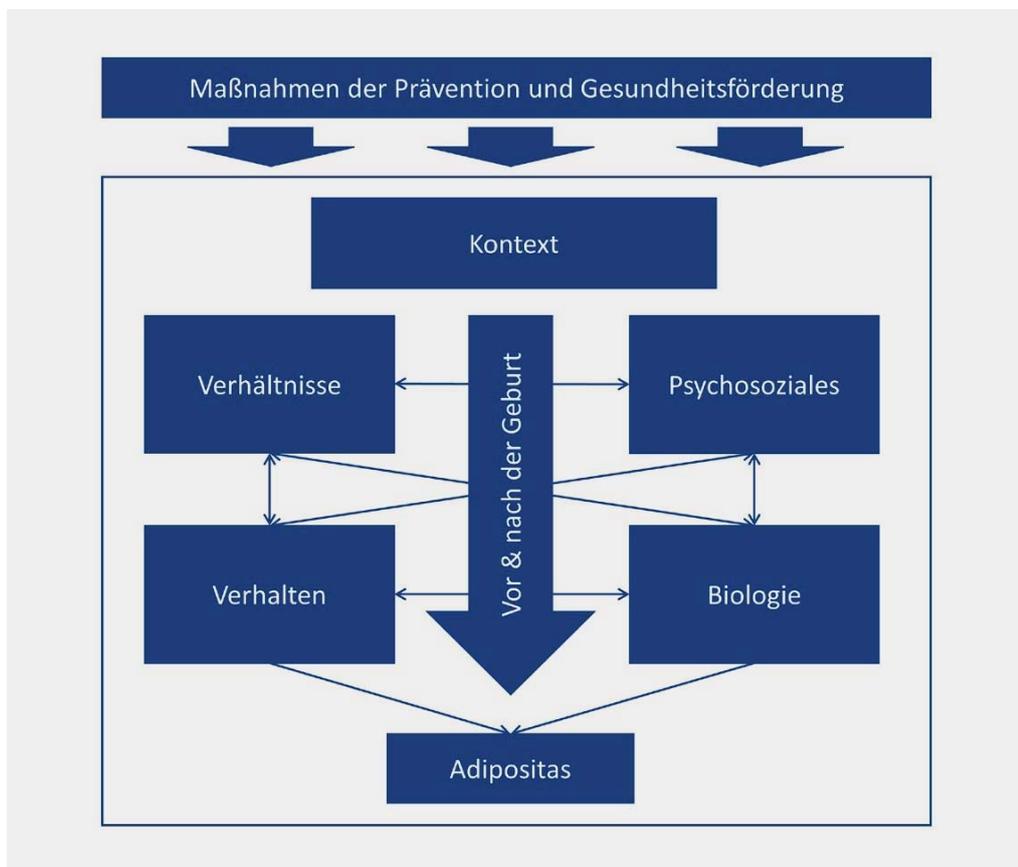


ABBILDUNG 1
Vereinfachtes Ursache-
Wirkungs-Modell von
Adipositas (modifiziert
nach Varnaccia et al.
2017).

BESCHREIBUNG KLEINRÄUMIGER DATENQUELLEN

TABELLE 1

Datenquellen mit adipositasrelevanten Informationen für Kreise und kreisfreie Städte oder kleinere räumliche Einheiten.

Von den identifizierten Datenquellen liefern zehn Datenquellen kleinräumig aussagekräftige Daten für Kreise und kreisfreie Städte oder kleinere räumliche Einheiten (TABELLE 1). Davon sind sechs Datenquellen

kostenlos, zwei Datenquellen kostenpflichtig und zwei Datenquellen bisher auf kleinräumiger Ebene nicht flächendeckend nutzbar. Im Folgenden werden diese Datenquellen kurz vorgestellt und deren Zugänglichkeit beschrieben.

BEREICH	DATENQUELLE	BEISPIELINDIKATOR	RÄUMLICHE DIFFERENZIERUNG	ZUGÄNGLICHKEIT KLEINRÄUMIGER DATEN	KOSTEN
Adipositas	Schuleingangsuntersuchungen	Übergewichts- und Adipositasprävalenzen	Kreise, Gemeinden, kleinere räumliche Einheiten	Nein*	–
Verhalten	Mitgliederstatistiken der Stadt- und Kreissportbünde	Anzahl der Mitgliedschaften von Kindern und Jugendlichen in Sportvereinen	Kreise, Gemeinden	Ja	kostenlos
Verhältnisse	Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung	Verfügbarkeit von Grünanlagen	Kreise, Gemeinden	Ja	kostenlos
	Digitales Basis-Landschaftsmodell	Verfügbarkeit von Sportstätten und Schwimmbädern	Kreise, Gemeinden, kleinere räumliche Einheiten	Ja	kostenpflichtig
	OpenStreetMap	Verfügbarkeit von Spielplätzen und Fast-Food-Imbissen	Kreise, Gemeinden, kleinere räumliche Einheiten	Ja	kostenlos
	Kinder- und Jugendhilfestatistik	Angebot einer Mittagsverpflegung in Tageseinrichtungen	Kreise	Ja	kostenlos
Vor & nach der Geburt	Bundesauswertung Geburtshilfe	Adipositasprävalenz bei schwangeren Frauen	Kreise, Gemeinden	Ja	kostenpflichtig
Kontext	Grundsicherungsstatistik	SGB-II-Quoten	Kreise, Gemeinden, kleinere räumliche Einheiten	Ja	kostenlos
	Mikrozensus	Bildungsniveau	Kreise, Gemeinden	Ja	kostenlos
Maßnahmen	Statistiken des EU-Schulprogramms	Anzahl der Kitas und Schulen, die am Schulprogramm der Europäischen Union teilnehmen.	Kreise, Gemeinden	Nein*	–

* Für einzelne Bundesländer sind kleinräumige Daten zugänglich und kostenlos nutzbar.

SCHULEINGANGSUNTERSUCHUNGEN

In den gesetzlich vorgeschriebenen Schuleingangsuntersuchungen werden flächendeckend Daten zur geistigen, körperlichen und sozialen Entwicklung von Einschulungskindern erhoben (BZgA 2017). Die Daten zum Gewichtsstatus werden bundesweit einheitlich erhoben und alle zwei Jahre durch das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL Bayern) bei den Bundesländern abgefragt und auf Länderebene aggregiert veröffentlicht (LGL Bayern 2019). Mit diesen Daten liegen potenziell sehr kleinräumige Daten zur Adipositas im Kindesalter vor, die Hinweise für Handlungsbedarf zur Adipositasprävention bieten. Bisher veröffentlichten nur einzelne Bundesländer Daten für kleinere räumliche Einheiten, zum Beispiel Nordrhein-Westfalen (LZG NRW 2019). Es wäre somit erstrebenswert, die kleinräumigen Daten aus den Schuleingangsuntersuchungen bundesweit zusammenzuführen und den Akteuren der Prävention und Gesundheitsförderung zugänglich zu machen. Aktuell ist zu erwähnen, dass für die Jahre 2020 und 2021 die Daten aus den Schuleingangsuntersuchungen aufgrund der Corona-Pandemie nicht flächendeckend vorhanden sind.

MITGLIEDERSTATISTIKEN DER STADT- UND KREISSPORTBÜNDE

Die Stadt- und Kreissportbünde bilden die Gemeinschaft des gemeinnützigen und organisierten Sports innerhalb eines Kreises beziehungsweise einer Stadt (LSB NRW 2021). Die Mitgliederstatistiken der Stadt- und Kreissportbünde liefern Informationen über die Anzahl der Mitgliedschaften von Kindern und Jugendlichen in Sportvereinen und damit Daten zur sportlichen Aktivität von Kindern und Jugendlichen, die wichtige Ansatzpunkte zur Adipositasprävention bieten. Die Daten der Stadt- und Kreissportbünde für einzelne Kreise und kreisfreie Städte werden bisher nicht auf Bundesebene zusammen-

geführt, können in der Regel aber bei den Landessportbünden abgerufen oder angefragt werden. Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung der Mitgliederstatistiken eignen sich diese, um Veränderungen in kleineren Zeiträumen (z. B. zwischen Monaten) zu erkennen.

FLÄCHENERHEBUNG NACH ART DER TATSÄCHLICHEN NUTZUNG

Die amtliche Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung liefert Informationen über die Flächennutzung in Deutschland und erlaubt unter anderem Aussagen über die Verfügbarkeit von Grünanlagen (Destatis 2020). Grünanlagen können die körperliche Aktivität von Heranwachsenden fördern und somit einen Beitrag für die Adipositasprävention leisten (WHO Europe 2016). Die Daten der amtlichen Flächenstatistik für Kreise, kreisfreie Städte und Gemeinden können auf www.regionalstatistik.de abgerufen werden.

DIGITALES BASIS-LANDSCHAFTS-MODELL (BASIS-DLM)

Das Basis-DLM des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) beschreibt die räumliche Lage topographischer Objekte in Deutschland und kann somit genutzt werden, um Informationen über die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit von Objekten zu gewinnen, die für die körperliche Aktivität von Heranwachsenden und damit für die Adipositasprävention relevant sind. Hierzu gehören zum Beispiel Sportstätten und Schwimmbäder. Die Daten des Basis-DLM können kostenpflichtig beim BKG bestellt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich um Geodaten handelt, die mit speziellen Software-Programmen (z. B. QGIS) verarbeitet und ausgewertet werden müssen.

OPENSTREETMAP (OSM)

Im Rahmen des OSM-Projektes werden frei nutzbare Geodaten gesammelt, strukturiert und in einer frei zugänglichen Datenbank

öffentlich verfügbar gemacht (OSM 2021). Die Daten des OSM-Projektes können ebenfalls genutzt werden, um Informationen über die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit von Objekten zu gewinnen, die für die körperliche Aktivität von Heranwachsenden relevant sind. Darüber hinaus lässt sich mit den Daten aus OSM die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit bestimmter Einkaufs- und Verpflegungsmöglichkeiten (z. B. Fast-Food-Imbisse) beschreiben, die das Ernährungsverhalten der Heranwachsenden beeinflussen und somit für die Adipositasprävention relevant sein können (Cobb et al. 2015). Dabei ist zu berücksichtigen, dass für einige topographische Objekte (z. B. Spielplätze) in OSM differenziertere Informationen vorliegen als im Basis-DLM. Die Validität der Daten ist allerdings von der Aktivität der Freiwilligen abhängig, die die Daten sammeln, und kann somit regional unterschiedlich ausfallen.

KINDER- UND JUGENDHILFE-STATISTIK (KJH-STATISTIK)

In der KJH-Statistik werden wesentliche Leistungen und Aufgaben der Kinder- und Jugendhilfe erfasst (Destatis 2021a). Die KJH-Statistik liefert unter anderem Informationen über den Anteil der Heranwachsenden, die in der Tagesbetreuung eine Mittagsverpflegung erhalten. Anhand dieser Informationen können die Reichweite von Maßnahmen zur Förderung einer ausgewogenen Mittagsverpflegung, wie zum Beispiel die Umsetzung der Qualitätsstandards der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE), abgeschätzt und entsprechende Maßnahmen geplant werden, die auch für die Adipositasprävention relevant sind. Die Daten der KJH-Statistik für Kreise und kreisfreie Städte können auf www.regionalstatistik.de abgerufen werden.

BUNDESAUSWERTUNG GEBURTSHILFE

Die Bundesauswertung Geburtshilfe des Instituts für Qualitätssicherung und Trans-

parenz im Gesundheitswesen (IQTIG) liefert Daten zu allen Geburten, die in Deutschland in einem Krankenhaus stattgefunden haben (IQTIG 2021). Darüber hinaus werden Daten über die gesundheitliche Lage und das Gesundheitsverhalten von Frauen während der Schwangerschaft erhoben. Diese Daten sind wichtig für die Adipositasprävention, weil bestimmte Risikofaktoren ausschließlich vor und in der Schwangerschaft adressiert werden können. Hierzu gehören zum Beispiel starkes Übergewicht der Mutter zu Beginn und das Rauchen der Mutter während der Schwangerschaft (Weng et al. 2012). Die Daten der Bundesauswertung Geburtshilfe für bestimmte räumliche Einheiten (z. B. Kreise) können kostenpflichtig beim IQTIG angefordert werden.

GRUNDSICHERUNGSSTATISTIK

Die Statistik der Grundsicherung für Arbeitsuchende der Bundesagentur für Arbeit (BA) liefert Informationen über den Anteil der Kinder und Jugendlichen, die in Bedarfsgemeinschaften nach Sozialgesetzbuch II (SGB II) leben (BA 2021). Als Bedarfsgemeinschaften nach SGB II gelten gemeinsam wirtschaftende Haushalte, in denen mindestens eine erwerbsfähige Person lebt, die einen Anspruch auf Leistungen zur Sicherung des Lebensunterhalts nach SGB II hat. Hierzu gehört unter anderem der Bezug von Arbeitslosengeld II („Hartz IV“). Der Anteil der Kinder und Jugendlichen, die in Bedarfsgemeinschaften nach SGB II leben, wird häufig als Indikator für besonders von Armut betroffene Heranwachsende herangezogen. Armut ist ein Risikofaktor für die Entwicklung von Adipositas und sollte daher bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen der Prävention und Gesundheitsförderung berücksichtigt werden (Wu et al. 2015). Die Daten der Statistik der Grundsicherung für Arbeitsuchende für Kreise und kreisfreie Städte können auf www.statistik.arbeitsagentur.de abgerufen werden.

MIKROZENSUS

Der Mikrozensus ist eine repräsentative Haushaltsbefragung, bei der jährlich etwa ein Prozent der in Deutschland lebenden Personen befragt werden (Destatis 2021b). Die Teilnahme am Mikrozensus ist für die ausgewählten Personen verpflichtend. Der Mikrozensus liefert unter anderem aussagekräftige Daten über die Bevölkerungsstruktur sowie die wirtschaftliche und soziale Lage der Bevölkerung. Hierzu gehören zum Beispiel Informationen über den Bildungsstand der Bevölkerung. Ein niedriger Bildungsstand der Eltern kann die Entwicklung von Adipositas bei deren Kindern begünstigen und sollte daher bei der Planung und Umsetzung entsprechender Präventionsmaßnahmen berücksichtigt werden (Wu et al. 2015). Die Daten des Mikrozensus für Kreise und kreisfreie Städte können bei den Statistischen Landesämtern abgerufen oder angefordert werden. Für weiterführende Auswertungen, wie zum Beispiel zur Ermittlung des Bildungsstandes von Eltern, können jedoch Kosten anfallen. Aufgrund der Corona-Pandemie werden aktuell keine persönlichen Interviews bei den Befragten zu Hause durchgeführt. Stattdessen finden die Interviews per Telefon, online oder mittels Papierfragebogen statt.

STATISTIKEN ZUM SCHULPROGRAMM DER EUROPÄISCHEN UNION (EU)

Das EU-Schulprogramm soll Heranwachsenden unter anderem Obst und Gemüse schmackhaft machen und somit eine gesündere Ernährung fördern (BMEL 2021). Hierzu gehören das kostenlose Angebot von Obst und Gemüse in den teilnehmenden Einrichtungen sowie die Durchführung pädagogischer Begleitmaßnahmen wie ernährungsbildende Maßnahmen im Unterricht. Daten zur Umsetzung des EU-Schulprogramms sind flächendeckend bisher nur auf Bundeslandebene aggregiert verfügbar (Europäische Kommission 2021). Informationen zur Um-

setzung des EU-Schulprogramms in kleineren räumlichen Einheiten (z. B. Kreise) können bisher nur in einzelnen Bundesländern, wie zum Beispiel in Niedersachsen, mit den vom Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz auf www.schulprogramm.niedersachsen.de veröffentlichten Daten ermittelt werden.

FAZIT

Die im Rahmen des AdiMon-Projektes recherchierten Datenquellen zeigen, dass es in Deutschland mehrere Datenquellen gibt, die kleinräumig aussagekräftige Daten über die Verbreitung von Adipositas und deren Determinanten liefern. Dabei wurde deutlich, dass die Datenquellen größtenteils Informationen enthalten, die auch für andere Gesundheitsthemen relevant sind und bei der Planung und Evaluation entsprechender Präventionsmaßnahmen genutzt werden können, zum Beispiel zur Vorbeugung nicht-übertragbarer Erkrankungen. Allerdings wurde auch deutlich, dass für die meisten adipositasrelevanten Themen bisher keine kleinräumig aussagekräftigen Daten verfügbar sind. Hierzu gehören zum Beispiel Informationen über die Verbreitung von Adipositas im gesamten Kindes- und Jugendalter sowie über das Angebot und die Inanspruchnahme von Präventionsmaßnahmen. Entsprechende Datenlücken könnten durch die Erweiterung bestehender Erhebungen (z. B. Schuleingangsuntersuchungen) oder durch neue Erhebungen (z. B. zu Präventionsmaßnahmen) geschlossen werden.

Bei den recherchierten Datenquellen zeigt sich, dass sich deren Zugänglichkeit unterscheidet. Einige Datenquellen sind frei zugänglich, andere Datenquellen nur kostenpflichtig nutzbar oder nicht (flächendeckend) zugänglich. Hierzu gehören zum Beispiel die Daten der Schuleingangsuntersuchungen, die wertvolle Informationen über den Gesundheitszustand von Einschulungskindern liefern, bisher aber nicht flächendeckend zur

Verfügung stehen. Für die Prävention und Gesundheitsförderung wäre es somit erstrebenswert, wenn die Zugänglichkeit entsprechender Datenquellen verbessert wird.

Des Weiteren wurde deutlich, dass die Nutzung der Datenquellen unterschiedlich aufwändig ist. Aus einigen Datenquellen können die Daten für kleinräumige Einheiten direkt übernommen werden, in anderen Datenquellen müssen die Indikatoren für kleinräumige Einheiten erst berechnet werden. Dafür sind teilweise spezielle Software-Programme und Kenntnisse in deren Anwendung nötig. Dieser Aspekt sollte bei der Planung der Nutzung entsprechender Datenquellen berücksichtigt werden.

Mit diesem Beitrag wollten wir unsere Erfahrungen im AdiMon-Projekt mit anderen Public Health-Akteuren teilen und hoffen, dass der Beitrag für andere hilfreich ist und motiviert, kleinräumige Daten und Datenquellen für die Entwicklung und Evaluation von Public Health-Maßnahmen zu nutzen.

LITERATUR

BA – Bundesagentur für Arbeit (2021): Statistik der Grundsicherung für Arbeitssuchende. www.statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Statistik-nach-Themen/Grundsicherung-fuer-Arbeitssuchende-SGBII/Grundsicherung-fuer-Arbeitssuchende-SGBII-Nav.html (Zugriff am: 23.07.2021).

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021): Das EU-Schulprogramm. www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/gesunde-ernaehrung/kita-und-schule/schulobst.html (Zugriff am: 23.07.2021).

BZgA – Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (2017): Untersuchung zur Einschulung. www.kinder-gesundheit-info.de/themen/entwicklung/entwicklungsschritte/einschulung (Zugriff am: 18.06.2020).

Cobb LK, Appel LJ, Franco M et al. (2015): The relationship of the local food environment with obesity: A systematic review of methods, study quality, and results. *Obesity* 23(7): 1331–1344.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2021a): Ausgaben, Einrichtungen und Personal in der Jugendhilfe. www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Soziales/Kinderhilfe-Jugendhilfe/_inhalt.html (Zugriff am: 23.07.2021).

Destatis – Statistisches Bundesamt (2021b): Was ist der Mikrozensus? www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Mikrozensus.html (Zugriff am: 23.07.2021).

Destatis – Statistisches Bundesamt (2020): Qualitätsbericht – Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung. www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Land-Forstwirtschaft-Fischerei/flaechenerhebung.html (Zugriff am: 23.07.2021).

Europäische Kommission (2021): Schulprogramm nach Ländern. www.ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/market-measures/school-fruit-vegetables-and-milk-scheme/country_de (Zugriff am: 23.07.2021).

Friedemann C, Heneghan C, Mahtani K et al. (2012): Cardiovascular disease risk in healthy children and its association with body mass index: systematic review and meta-analysis. *The BMJ* 345: e4759.

Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen (IQTIG) (2021): Geburtshilfe. www.iqtig.org/qs-verfahren/gebh (Zugriff am: 27.07.2021).

Kroll L, Lampert T (2012): Regionale Unterschiede in der Gesundheit am Beispiel von Adipositas und Diabetes mellitus. In: Robert Koch-Institut (RKI) (Hrsg.): Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2010“. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Berlin: 51–59. <https://edoc.rki.de/handle/176904/3237> (Zugriff am: 25.08.2021).

LGL Bayern – Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit im Auftrag der Arbeitsgruppe Gesundheitsberichterstattung, Prävention, Rehabilitation und Sozialmedizin (GPRS) der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) (2019): Unter- und Übergewicht bei Einschulungskindern, Abfrage 2019.

LSB NRW – Landessportbund Nordrhein-Westfalen (2021): Stadt- und Kreissportbünde. www.lsb.nrw/lsb-nrw/verbundsystem-des-sports/stadt-und-kreissportbuende (Zugriff am: 23.07.2021).

LZG NRW – Landeszentrum Gesundheit Nordrhein-Westfalen (2019): Übergewicht und Adipositas bei Kindern zum Zeitpunkt der Einschulung. www.lzg.nrw.de/ges_bericht/factsheets/kinder/uebergewicht/index.html (Zugriff am: 23.07.2021).

OSM – OpenStreetMap (2021): OpenStreetMap – Deutschland. www.openstreetmap.de (Zugriff am: 23.07.2021).

Park MH, Falconer C, Viner RM et al. (2012): The impact of childhood obesity on morbidity and mortality in adulthood: a systematic review. *Obesity Reviews* 13(11): 985–1000. DOI: 10.1111/j.1467-789X.2012.01015.x.

Reisig V, Jordan S, Starker A et al. (2020): Präventionsberichterstattung – neue Impulse für die Gesundheitsberichterstattung? Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 63: 1118–1125. DOI: 10.1007/s00103-020-03202-y.

Rosenkötter N, Borrmann B, Arnold L et al. (2020): Gesundheitsberichterstattung in Ländern und Kommunen: Public Health an der Basis. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz: 1–9. DOI: 10.1007/s00103-020-03190-z.

Schienkiewitz A, Brettschneider AK, Damerow S et al. (2018): Übergewicht und Adipositas im Kindes- und Jugendalter in Deutschland – Querschnittergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends. Journal of Health Monitoring 3(1): 16–23. DOI: 10.17886/RKI-GBE-2018-005.2.

Varnaccia G, Zeiher J, Lange C et al. (2017): Adipositas-relevante Einflussfaktoren im Kindesalter – Aufbau eines bevölkerungsweiten Monitorings in Deutschland. Journal of Health Monitoring 2(2): 90–102. DOI: 10.17886/RKI-GBE-2017-034.

VdSt – Verband Deutscher Städtestatistiker, KOSIS-Verbund (2021): AGK – Kommunales statistisches Raumbezugssystem. www.staedtestatistik.de/arbeitsgemeinschaften/kosis/agk (Zugriff am: 23.07.2021).

Weng SF, Redsell SA, Swift JA et al. (2012): Systematic review and meta-analyses of risk factors for childhood overweight identifiable during infancy. Archives of Disease in Childhood 97(12): 1019–1026. DOI: 10.1136/archdischild-2012-302263.

WHO Europe – World Health Organisation Europe (2016): Urban Green Spaces and Health – A review of evidence. WHO Europe, Copenhagen. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf (Zugriff am: 23.07.2021).

Wu S, Ding Y, Wu F et al. (2015): Socio-economic position as an intervention against overweight and obesity in children: a systematic review and meta-analysis. Scientific Reports 5: 11354. DOI: 10.1038/srep11354.

KONTAKT

Gianni Varnaccia
Robert Koch-Institut
Nordufer 20
13302 Berlin
E-Mail: [VarnacciaG\[at\]rki.de](mailto:VarnacciaG[at]rki.de)

[RKI]

Strahlenschaden und Alter – Warum Kinder besonders empfindlich auf Strahlung reagieren

Radiation damage and age – why are children specifically sensitive for radiation exposure

ZUSAMMENFASSUNG

MARIA GOMOLKA

Kinder sind im Allgemeinen strahlensensitiver als Erwachsene. Betrachtet man aber die einzelnen Tumorarten, birgt eine Strahlenexposition in der Kindheit nicht immer ein erhöhtes Strahlenrisiko im Vergleich zu einer Strahlenexposition als Erwachsener. Für 25 Prozent der Tumoren, darunter Leukämien, Schilddrüsenkrebs, Brustkrebs und Gehirntumoren wurde ein signifikant erhöhtes strahleninduziertes Risiko gezeigt. Für bestimmte Altersfenster besteht ein erhöhtes Strahlenrisiko, insbesondere junge Kinder und Jugendliche haben für bestimmte Tumoren ein erhöhtes Strahlenrisiko. Faktoren, die Kinder besonders empfindlich machen, sind die längere Lebenszeiterwartung und damit eine höhere Wahrscheinlichkeit einen Tumor zu entwickeln, der höhere Anteil an teilungsaktiven Zellen, hormonelle Veränderungen und ein unreifes Immunsystem. In neuen Studien wurde beobachtet, dass DNA-Doppelstrangbrüche und deren Reparatur ebenfalls ein wichtiger biologischer Faktor sein könnten, die zum erhöhten strahlenbedingten Tumorrisiko beitragen.

ABSTRACT

Children are in general more radiation sensitive than adults. Regarding different tumor entities, the radiation induced tumor risk is not always increased but depends on age at radiation exposure. For 25 percent of the tumor entities a higher radiation induced tumor risk has been observed in children, e.g. leukemia, thyroid cancer, breast cancer and brain tumors. There are special age windows with an increased radiation risk especially for young children and during adolescence. Factors contributing to radiation risk are the long live expectancy and therefore higher probability of tumor development, a high percentage of proliferating cells, hormonal changes and an immature immune system. Recently it has been reported that DNA double strand breaks and the chosen repair pathway may have an important impact on the increased radiation induced tumor risk.

EINLEITUNG

Eine gleichgroße Strahlendosis hat unterschiedliche Wirkungen auf Kinder und Erwachsene. Intuitiv geht man davon aus, dass das Strahlenrisiko bei Kindern höher ist als bei Erwachsenen. Hier muss aber differenziert werden. Kinder haben ein höheres strahlenbedingtes Tumorrisiko (stochastische Effekte), sind aber zum Teil für

Gewebeeffekte (deterministische Effekte) unempfindlicher als Erwachsene. Aber auch das strahlenbedingte Tumorrisiko ist nicht für alle Tumorarten bei Kindern höher als bei Erwachsenen. Dies ist für circa 25 Prozent der Tumorarten der Fall, darunter fallen Leukämien, Schilddrüsenkrebs, Brustkrebs und Gehirntumoren. Hier wurde für Kinder im Vergleich zu Erwachsenen ein signifikant höheres Risiko nachgewiesen, nach einer



Quelle: BfS.

Strahlenexposition an diesen Tumoren zu erkranken. Für Leukämien geben einige Studien an, dass nach höheren Strahlendosen in der Kindheit oder *in utero* für Kinder ein zwei- bis zehnfach erhöhtes Risiko besteht, in späteren Jahren an einer Leukämie zu erkranken (Preston 2004; Kleinerman 2006; UNSCEAR 2013). Strahlenexpositionen während der Pubertät erhöhen das Brust-, Gebärmutter- und Eierstocktumorrisiko stärker als in anderen Altersfenstern. Für andere Tumorarten, wie Darm-, Leber-, Blasen- und Prostata-Tumoren, ist das strahlenbedingte Risiko für Erwachsene und Kinder gleich und für einige wenige Tumorarten scheinen Kinder sogar unempfindlicher als Erwachsene auf die gleiche Strahlendosis zu reagieren, wie zum Beispiel beim strahlen-

induzierten Lungenkrebs. Darauf weist ein 2013 von hochrangigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern veröffentlichter Bericht des Komitees der Vereinten Nationen zur Bewertung der Effekte von radioaktiver Strahlung hin (UNSCEAR 2013). In **ABBILDUNG 1** ist vereinfacht dargestellt, in welchen Altersphasen der Strahlenexposition das spätere Risiko, an einem strahleninduzierten Tumor zu erkranken, besonders groß ist. Eine wichtige Schlussfolgerung daraus ist, dass für eine Risikoermittlung aufgrund einer erhaltenen Strahlendosis ein Tumor zu entwickeln das Alter während der Exposition berücksichtigt werden muss.

Kinder unter fünf Jahren haben ein erhöhtes Risiko, an Leukämien zu erkranken (IARC:

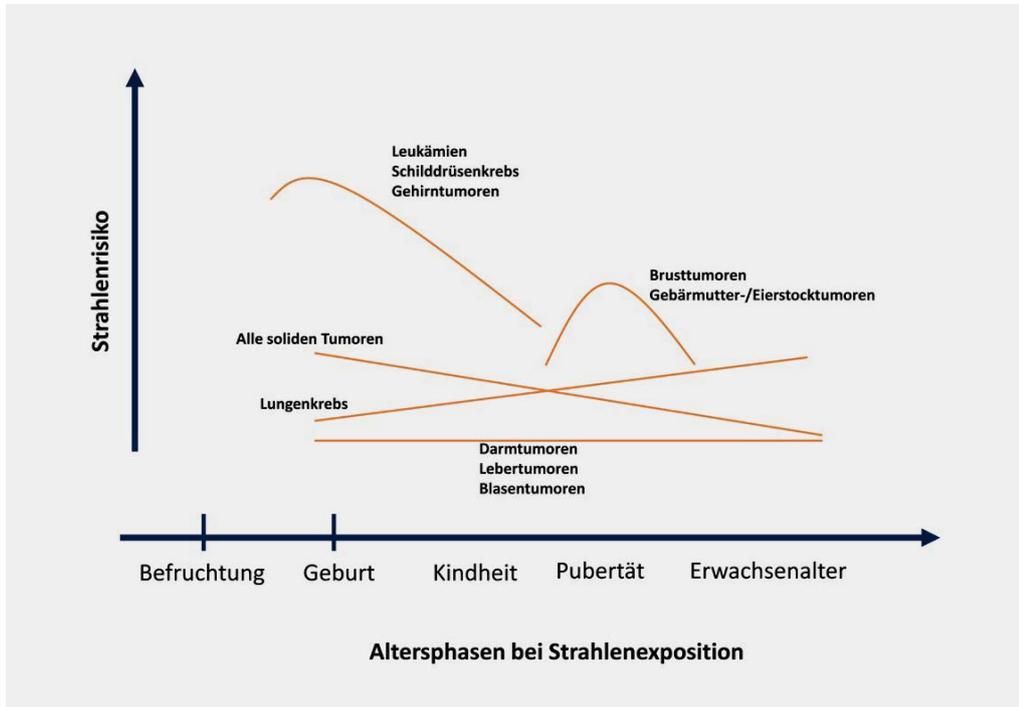


ABBILDUNG 1
 Strahlenbedingtes
 Tumorrisiko in Abhän-
 gigkeit vom Alter bei
 Strahlenexposition
 (abgeändert nach Wojcik
 2020).

Cancer Today). Neben noch zum großen Teil unbekanntem intrinsischen Faktoren erhöht die Exposition mit mutagenen Agentien (Agentien, die die Erbsubstanz schädigen), wie ionisierende Strahlung, das Tumorrisiko. Für Expositionen mit Strahlendosen über 100 Milligray (mGy) ist dieser Zusammenhang durch epidemiologische Daten sehr gut belegt. Diese Daten stammen vor allem aus den Untersuchungen von Tumorfrequenzen in Abhängigkeit von der Strahlenexposition in der Kohorte der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki. Findet die Strahlenexposition während der Schwangerschaft statt, erhöhen bereits 10 mGy das Leukämierisiko bei Kindern (Delongchamp et al. 1997; Doll, Wakeford 1997). Allerdings ist die Fallzahl (geschätzte weltweite altersstandardisierte Inzidenzrate im Jahr 2020 bei Kindern von null bis neun Jahren: 3,8/100.000 (IARC: Cancer Today) gering. Zusätzliche strahlenbedingte Leukämien sind schwierig nachzuweisen.

Wie erklären sich diese altersabhängigen Unterschiede im Strahlenrisiko? Grob vereinfacht kann man sagen, dass sich für

stochastische Effekte wie Tumorerkrankungen und Mutationen das zusätzliche strahleninduzierte Risiko mit dem Alter bei erster Exposition verringert. Stochastische Effekte treten bereits bei niedrigen Strahlendosen (< 100 mGy) auf, hierbei allerdings sehr selten. Für Gewebeeffekte (deterministische Effekte) wie Zelltod und inflammatorische Zellreaktionen, die in der Regel durch hohe Strahlendosen (> 1 Gy) ausgelöst werden, ist der Alterszusammenhang dagegen gegenläufig (Stricklin et al. 2020). Hier gilt, je älter bei Exposition, desto sensibler reagiert eine Person. Dies ist hauptsächlich auf eine im Alter verringerte Regenerationsfähigkeit von Zellen und ein alterndes Immunsystem zurückzuführen. Für Expositionen *in utero* und sehr junge Kinder gilt dieser stark vereinfachte Zusammenhang nicht, da hier schon geringe Strahlendosen die Organentwicklung stark schädigen und damit zu starken Beeinträchtigungen, wie zum Beispiel verminderten kognitiven Fähigkeiten (Pasqual et al. 2021), führen.

FAKTOREN, DIE DAS STRAHLENBEDINGTE TUMORRISIKO ENTWICKLUNGSABHÄNGIG VERÄNDERN

In verschiedenen Entwicklungsstadien beeinflussen bestimmte Faktoren das strahlenbedingte Tumorrisiko:

1 Kinder haben im Gegensatz zu Erwachsenen eine hohe Lebenserwartung und damit eine größere Wahrscheinlichkeit, dass geschädigte Zellen im Laufe ihres Lebens genetische Veränderungen anhäufen, die nicht mehr von der zellulären Umgebung und dem Immunsystem kontrolliert werden können und zu Tumoren führen. Insbesondere Gewebe, welche in jungen Jahren sehr teilungsaktiv sind, wie das rote Knochenmark, die Schilddrüse und das Gehirn, reagieren besonders empfindlich auf Strahlenschäden (Gesetz von Bergonie and Tribondeau 1906 [2003]). Ausdifferenziertes Gewebe ist hingegen weniger strahlenempfindlich. Abhängig von der Strahlendosis sind Strahlenexpositionen während der Präimplantationszeit meist letal. Während der frühkindlichen und fötalen Entwicklung führen sie zu Organfehlentwicklungen, Missbildungen und Fehlfunktionen. Über die gesamte neonatale und frühkindliche Entwicklung besteht ein erhöhtes strahlenbedingtes Tumorrisiko.

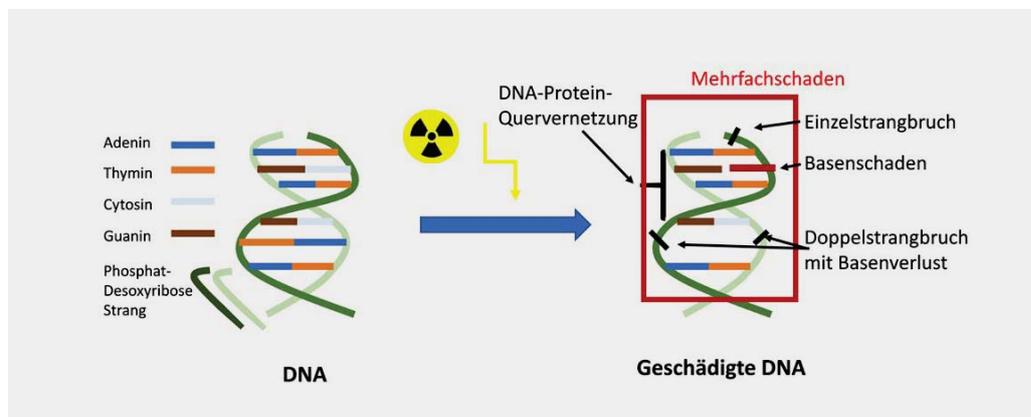
2 In Entwicklungsphasen, die aufgrund hormoneller Veränderungen zu einem hohen Gewebeumbau führen, wie es in Brust und Uterus während der Pubertät stattfindet, ist das Risiko, bei Strahlenexpositionen während dieser sensiblen Phase Tumoren zu entwickeln, ebenfalls erhöht.

3 Bei Kindern entwickelt sich das Immunsystem nach der Geburt noch weiter. Immunzellen müssen auf Antigene vorbereitet werden und entwickeln sich in verschiedene Effektorzellen, um effektiv eine spezifische Immunantwort auslösen zu können. Spezifische Antikörper (AK) werden von aktivierten B-Zellen gebildet, die zu ihrer Funktionsausbildung von T-Zellsubtypen unterstützt werden. Im Laufe der kindlichen Entwicklung verschiebt sich das Verhältnis von T-Zellsubtypen, die entweder die AK-medierte Immunabwehr oder die zelluläre Immunabwehr unterstützen. Ab dem fünften Lebensjahr ähnelt die Zusammensetzung an B- und T-Zellen und deren Subtypen denen von Erwachsenen. Für eine effektive Tumorabwehr ist das Immunsystem von großer Bedeutung, um entartete Zellen zu erkennen und abzutöten.

DNA-SCHADEN UND SEINE REPARATUR

Unsere Erbsubstanz (ABBILDUNG 2) beinhaltet den Code für all unsere Gene. Der gene-

ABBILDUNG 2
Erbsubstanz und ihre Schädigungen nach ionisierender Strahlung.
Quelle: M. Gomolka.



DNA-SCHADENSART	ANZAHL AN GEMESSENEN SCHÄDIGUNGEN pro 1 Gy pro Zelle
Einzelstrangbruch	1.000
Basenschaden	500
Doppelstrangbruch	40
Protein-DNA-Quervernetzung	150

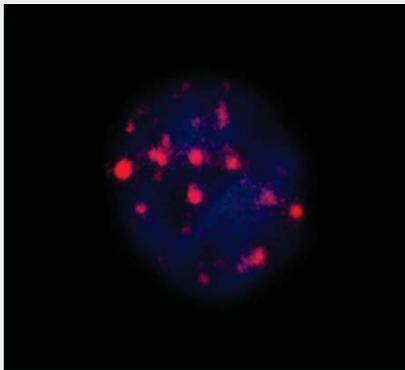
TABELLE I
 DNA-Schädigungen in
 der Zelle nach 1 Gy
 Bestrahlung.
 Quelle: UNSCEAR 2000.

tische Code ist in einer Aneinanderreihung von vier Basenbausteinen (Adenin, Guanin, Thymin und Cytosin) gespeichert. Diese sind an einem Rückgrat von Zuckermolekülen (Desoxyribose) in zwei Strängen in einer Doppelhelixstruktur ineinander verwunden. Hierbei wird die Struktur der Doppelhelix von bestimmten Basenpaarungen zusammengehalten, Adenin paart immer mit Thymin und Guanin mit Cytosin. Das gesamte Molekül wird als Desoxyribonukleinsäure oder DNA bezeichnet. Es befindet sich im Zellkern und ist dort mit zahlreichen Proteinen assoziiert (zum Beispiel Histone). Veränderungen der Erbsubstanz bleiben oft folgenlos, können aber in wenigen Fällen auch dramatische Konsequenzen haben, weil wichtige Gene ausgeschaltet oder verändert werden oder nicht mehr geordnet abgelesen werden können.

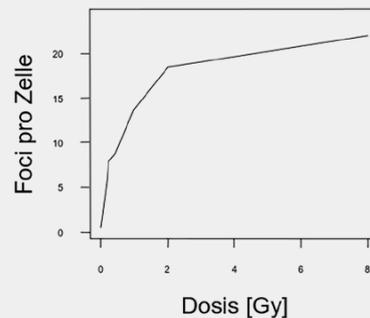
Ionisierende Strahlung verursacht DNA-Schäden durch die direkte Energieübertragung auf Atome und Moleküle der Erbsubstanz oder indirekt über aktivierte Sauerstoffradikale, die hauptsächlich in Zellen durch die Reaktionen mit Wassermolekülen entstehen. Diese wiederum können die DNA schädigen. Eine Dosis von 1 Gy auf eine Zelle hat zur Folge, dass in der Erbsubstanz Moleküle verändert und geschädigt werden. In TABELLE I sind die Hauptschadenstypen aufgeführt, die in Experimenten nachgewiesen wurden, nachdem Zellen mit 1 Gy locker

ionisierender Strahlung, wie zum Beispiel Röntgenstrahlen, bestrahlt wurden. Neben Veränderungen des genetischen Codes kann ionisierende Strahlung auch epigenetische Effekte (Effekte zusätzlich zur Genetik) verursachen, die die Aktivität von Genen beeinflussen und damit physiologische Eigenschaften von Zellen gravierend verändern. Diese epigenetischen Veränderungen sind zum Beispiel das Anhängen von Methylresten an DNA oder an Histonproteine der Chromatinstruktur, die damit die Zugänglichkeit der DNA für Reparaturprozesse und das Ablesen von Genen beeinflussen. Sowohl genetische als auch epigenetische Veränderungen können zum Zelltod führen oder aber zu unkontrolliertem Wachstum, wie es bei Tumoren der Fall ist.

In der Regel sind Zellen in der Lage, den DNA-Schaden zu reparieren. Der Schaden wird durch bestimmte Signalmoleküle erkannt und anschließend repariert. In AB-BILDUNG 3A ist ein Zellkern einer Blutzelle dargestellt, die bestrahlt wurde, die roten Punkte markieren Doppelstrangbrüche. Diese können mikroskopisch dargestellt werden, da nach gesetztem Schaden Histonproteine, mit denen die DNA verbunden ist, verändert werden. Am Histonprotein H2AX wird an der Position 139 die Aminosäure Serin phosphoryliert, diese epigenetische Veränderung kann mit fluoreszenz-markierten Antikörpern nachgewiesen werden und ist



Dosis-Effekt-Kurve



Reparaturkinetik

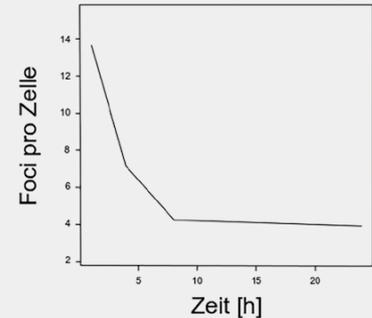


ABBILDUNG 3A

Blutzelle mit gammaH2AX Foci nach 1 Gy Bestrahlung nach einer Stunde. Der Zellkern erscheint durch die DNA-Färbung mit einem Fluoreszenzfarbstoff blau. Die Orte, an denen Doppelstrangbrüche auftreten, sind durch den Antikörpernachweis von phosphoryliertem H2AX-Protein als rote Punkte zu sehen. Der Antikörper wurde mit einem roten Fluoreszenzfarbstoff markiert. Quelle: M. Gomolka.

ABBILDUNG 3B

Strahlendosisabhängige gammaH2AX Foci-Entwicklung. Die Abbildung zeigt den Dosis-abhängigen Anstieg an gemessenen Foci (Doppelstrangbrüche) pro Zelle. Quelle: M. Gomolka.

ABBILDUNG 3C

Zeitabhängige Reparatur der Foci. Es wird deutlich, wie die Foci mit der Zeit weniger werden. Hier hat Reparatur stattgefunden. Quelle: M. Gomolka.

abhängig von der erhaltenen Strahlendosis (ABBILDUNG 3B). Gibt man der Zelle Zeit für die DNA-Schadensreparatur, so sieht man in der ABBILDUNG 3C, dass die Anzahl der Punkte weniger wird und nach 24 Stunden in Abhängigkeit von der erhaltenen Dosis von nicht bestrahlten Zellen nicht zu unterscheiden sind. Die Doppelstrangbrüche wurden repariert.

Je höher die Strahlendosis und je energiereicher die Strahlung, desto komplexer werden die DNA-Schädigungen (Mehrfachschäden). Die Zelle ist dann nicht mehr in der Lage, den Schaden vollständig zu beseitigen. Die DNA besteht aus zwei komplementären Strängen, das heißt die Information liegt doppelt vor. Beim Einzelstrangbruch und bei der Basenveränderung ist in der Regel also ein korrekter Strang vorhanden, von dem der entsprechende DNA-Baustein abgelesen werden kann. Daher können diese

Schädigungen korrekt repariert werden, das heißt es werden keine oder nur eine geringe Anzahl an Mutationen erzeugt. Dies gilt allerdings nicht für Doppelstrangbrüche. Obwohl diese erheblich seltener sind, haben sie gravierende Konsequenzen. In Abhängigkeit vom Reparaturweg und der Komplexität können Doppelstrangbrüche oft nur ungenau wiederhergestellt werden. Daraus können strukturelle Veränderungen entstehen. Was sind diese strukturellen Veränderungen? Die Erbsubstanz ist zusammen mit Proteinen im Zellkern in komprimierten Struktureinheiten, den Chromosomen, organisiert. Beim Menschen sind dies insgesamt 46 Chromosomenpaare, bestehend aus 22 Autosomen jeweils doppelt von Vater und Mutter und den geschlechtsspezifischen Chromosomen XX beziehungsweise XY. In ABBILDUNG 4A sind Chromosomen dargestellt, wie sie in der Zelle in einer bestimmten Zellphase

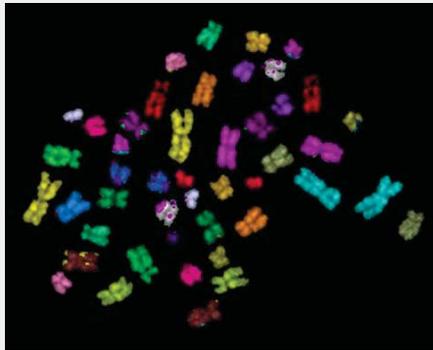


ABBILDUNG 4A
Nicht geschädigte, mit Fluoreszenzfarbstoffen gefärbte Chromosomen einer Blutzelle. Jedes Chromosomenpaar hat eine bestimmte Farbe. Die Einschnürungen der Chromosomen sind Zentromere. Jeder Chromosomenarm besteht aus einem DNA-Molekül und Chromatinproteinen.
Quelle: M. Gomolka.

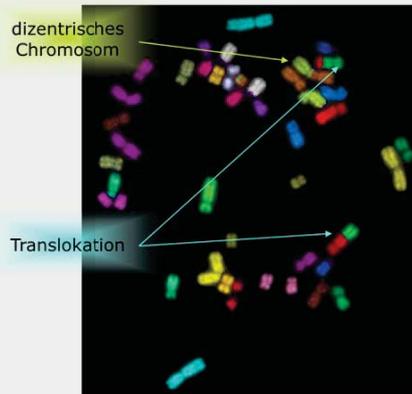


ABBILDUNG 4B
Geschädigte Chromosomen in einer Blutzelle nach Bestrahlung. Es sind drei Chromosomen zu sehen, die aus verschiedenen Farben zusammengesetzt sind. Hier wurden die Doppelstrangbrüche fehlerhaft repariert. Dabei sind strukturelle Veränderungen entstanden, die als Translokation bzw. dizentrisches Chromosom (mit zwei Zentromeren) bezeichnet werden.
Quelle: S. Schmeißer.

vorliegen. Hierbei kann mit Fluoreszenzfarbstoffen jedes einzelne Chromosom sichtbar gemacht werden. Deutlich zu sehen sind Einschnürungen an den Chromosomen, sogenannte Zentromere. Im Gegensatz zum Nachweis des Doppelstrangbruchs mittels des gammaH2AX-Tests lässt sich mit der Chromosomenanalyse erfassen, wie gut beziehungsweise fehlerhaft der durch ionisierende Strahlung gesetzte Schaden repariert wurde (ABBILDUNG 4B).

DNA-DOPPELSTRANGBRUCH-REPARATURWEGE

Die Zelle hat für jeden Schadenstyp unterschiedliche Reparatursysteme entwickelt, die sehr effizient in einer streng koordinierten Reaktionskaskade die verschiedenen DNA-Schäden beseitigen. Zuerst wird der

Schadensort mit Signalproteinen markiert, dann können weitere Proteine zum Schadensort rekrutiert werden. Das Protein-/DNA-Gerüst um den Schadensort muss zugänglich gemacht werden, veränderte Basen oder freie DNA-Strangenden entfernt beziehungsweise an die richtige Position geführt, die ursprüngliche Basensequenz wiederhergestellt und die losen Stränge wieder miteinander verbunden werden. Für die Doppelstrangbruchreparatur ist dies komplexer, da in der Regel eine korrekte Templatesequenz fehlt, von der die ursprüngliche Sequenz abgelesen werden kann. Die Zelle hat zur Beseitigung dieses Schadens zwei Hauptwege entwickelt:

1 homologe Rekombination. Hier wird ein homologes Chromosom genutzt, welches an das geschädigte anpaaren kann. Dies ist nur in ganz bestimmten Zellzyklusphasen möglich und die geschädigte DNA wird sehr

genau anhand der ursprünglichen Sequenz repariert.

- 2 Nicht homologe Verknüpfung (NHEJ=Non homologous End Joining) von freien Enden. Hierbei stehen unterschiedliche Wege zur Verfügung, wie das klassische NHEJ oder über Mikrohomologien mediierte NHEJ (reviewed in Scully et al. 2019). Diese Reparaturwege werden in allen Zellzyklusphasen genutzt, sind aber sehr fehlerhaft und führen oft zur Verbindung von falschen Chromosomen, Chromosomenbruchstücken, zu Deletionen (Entfernen von Sequenzstücken) oder zur Integration von falschen Basen und letztendlich oft auch zur genomischen Instabilität in einer Zelle.

Die Entscheidung der Zelle über die Auswahl eines bestimmten Reparaturweges ist noch nicht vollständig verstanden. Möglicherweise gibt es auch eine altersabhängige Gewichtung von Reparaturwegen.

ALTERSABHÄNGIGE DNA-SCHADENSREPARATUR IN BLUTZELLEN

Mehrere Studien konnten zeigen, dass strukturelle Veränderungen wie die Übertragung von Chromosomenarmen von verschiedenen Chromosomen (Translokationen) oder die Verbindung von zwei Chromosomen mit Zentromeren (dizentrische Chromosomen) häufiger in bestrahlten Blutzellen aus der Nabelschnur als in Blutzellen von Erwachsenen auftreten (Bakmutsky et al. 2014; Gomolka et al. 2018; Oestreicher et al. 2018). Aber nicht nur Blutzellen von Neugeborenen reparieren Strahlenschäden fehlerhafter, sondern auch Blutzellen von jüngeren Kindern (< fünf Jahre) (Stephan et al. 2007; Gomolka et al. 2018; Oestreicher et al. 2018). Dies wurde auch schon bei relativ niedrigen Strahlendosen (< 50 mGy) beobachtet (Stephan et al. 2007; Oestreicher et al. 2018). Der genaue Mechanismus, warum in Blutzellen von Kin-

dern bevorzugt ein fehlerhafter Reparaturweg gewählt wird, ist noch nicht verstanden. Ein Zusammenhang zwischen einer fehlerhaften Doppelstrangbruchreparatur und einer erhöhten Leukämierate bei jüngeren Kindern ist möglich (Bonassi et al. 2008; AOP Wiki).

ALTERSABHÄNGIGE AUSWAHL VON DNA- REPARATURWEGEN

Kürzlich wurde eine sehr umfangreiche Studie veröffentlicht, welche mittels einer hochmodernen Sequenzieretechnik Schilddrüsentumoren von 440 Kindern untersuchte, die durch die Explosion des Reaktors Tschernobyl im Jahre 1986 erhöhter inkorporierter (im Durchschnitt 250 mGy) aber auch externer Strahlung ausgesetzt waren (Morton et al. 2021). Ziel war es, eine strahlenspezifische Signatur der Tumoren zu identifizieren, wie sie zum Beispiel für Expositionen durch Tabakrauch in Lungentumorzellen nachgewiesen wurde (Alexandrov et al. 2013). Nach der hohen Strahlenexposition insbesondere durch Jod 131-Inkorporation in der Schilddrüse nach dem Tschernobyl-Unfall zeigte sich ein signifikant erhöhtes Risiko für Kinder, an Schilddrüsenkrebs zu erkranken (Kazakov et al. 1992; UNSCEAR 2021). Aufgrund der DNA-Veränderungen in den Tumoren vermuten die Autoren, dass strahleninduzierte Doppelstrangbrüche ein frühes Schlüsselereignis für die Tumorentwicklung waren und durch Fehlreparatur von diesen Schäden kleinere Deletionen (Fehlen von DNA-Sequenzen) und strukturelle Aberrationen (Abweichungen) auftreten (Morton et al. 2021). Diese Aberrationen können vor allem durch den fehlerhaften Reparaturmechanismus der nicht-homologen Endverknüpfung von DNA-Strängen entstehen. Zwischen Strahlendosis und DNA-Schadensereignis besteht ein linearer Zusammenhang, das heißt mit ansteigender Strahlendosis traten vermehrt spezifische DNA-Fehlreparaturprodukte auf. Diese Art von DNA-Fehlreparaturprodukten

führen auch in späteren Generationen von Zellen zur genomischen Instabilität und begünstigen weitere Mutationen und damit die Tumorentwicklung. Der Zusammenhang zwischen Strahlendosis und strahleninduzierten DNA-Schadensereignissen war bei jüngerem Alter bei Exposition deutlich stärker ausgeprägt.

FAZIT

Ein höheres strahleninduziertes Risiko ist für bestimmte Tumorarten bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen nachgewiesen. Junge Kinder (< fünf Jahre) sind im Hinblick auf Leukämien, Schilddrüsenkrebs und Gehirntumoren besonders strahlenempfindlich.

Ursachen dieser Empfindlichkeit sind erhöhte Zellteilungsraten in jungen Jahren, eine längere Lebenserwartung, sensible hormonelle Entwicklungsphasen und ein noch unreifes Immunsystem. Neue Studien konnten zeigen, dass weitere biologische Faktoren, wie die Regulation von DNA-Doppelstrangbruch-Reparaturwegen, das erhöhte strahleninduzierte Tumorrisiko in Kindern beeinflusst. Hier besteht dringender Forschungsbedarf, um die bislang noch unverstandenen Mechanismen aufzuklären und strahlenempfindliche Altersfenster auch in Abhängigkeit vom Geschlecht für verschiedene Organe zu identifizieren. ●

LITERATUR

Alexandrov LB, Nik-Zainal S, Wedge DC et al. (2013): Signatures of mutational processes in human cancer. *Nature* 500 (7463): 415–421. DOI: 10.1038/nature12477.

AOP Wiki – Collaborative Adverse Outcome Pathway Wiki: Inhibitor binding to topoisomerase II leading to infant leukaemia. <https://aopwiki.org/aops/202> (Zugriff am: 16.08.2021).

Bakhmutsky MV, Joiner MC, Jones TB et al. (2014): Differences in cytogenetic sensitivity to ionizing radiation in newborns and adults. *Radiat Res* 181(6): 605–616. DOI: 10.1667/rr13598.1.

Bergonié J, Tribondeau L (2003): Interpretation of some results from radiotherapy and an attempt to determine a rational treatment technique [1906]. *Yale J Biol Med*. 76 (4–6): 181–182. PMID:15482657.

Bonassi S, Norppa H, Ceppi M et al. (2008): Chromosomal aberration frequency in lymphocytes predicts the risk of cancer: results from a pooled cohort study of 22 358 subjects in 11 countries. *Carcinogenesis* 29(6): 1178–1183. DOI: 10.1093/carcin/bgn075.

Delongchamp RR, Mabuchi K, Yoshimoto Y et al. (1997): Cancer mortality among atomic bomb survivors exposed in utero or as young children, October 1950–May 1992. *Radiat Res* 147(3): 385–395.

Doll R, Wakeford R (1997): Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol* 70: 130–139. DOI: 10.1259/bjr.70.830.9135438.

Gomolka M, Oestreicher U, Rößler U et al. (2018): Age-dependent differences in DNA damage after in vitro CT exposure. *Int J Radiat Biol* 94 (3): 272–281. DOI: 10.1080/09553002.2018.1419302.

IARC – International Agency for Research on Cancer: Cancer Today. https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-table?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=1&group_cancer=1&include_nmsc=1&include_nmsc_other=1 (Zugriff am: 16.08.2021).

Kazakov VS, Demidchik EP, Astakhova LN (1992): Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature* 359(6390): 21. DOI: 10.1038/359021a0.

Kleinerman RA (2006): Cancer risks following diagnostic and therapeutic radiation exposure in children. *Pediatr Radiol* 36 (Suppl 2): 121–125. DOI: 10.1007/s00247-006-0191-5.

Morton LM, Karyadi DM, Stewart C et al. (2021): Radiation-related genomic profile of papillary thyroid carcinoma after the Chernobyl accident. *Science* 372 (6543). DOI: 10.1126/science.abg2538.

Oestreicher U, Endesfelder D, Gomolka M et al. (2018): Automated scoring of dicentric chromosomes differentiates increased radiation sensitivity of young children after low dose CT exposure in vitro. *Int J Radiat Biol* 94 (11): 1017–1026. DOI: 10.1080/09553002.2018.1503429.

Pasqual E, Boussin F, Bazyka D et al. (2021): Cognitive effects of low dose of ionizing radiation – Lessons learned and research gaps from epidemiological and biological studies. *Environ Int* 147 106295. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106295.

Preston RJ (2004): Children as a sensitive subpopulation for the risk assessment process. *Toxicol Appl Pharmacol* 199 (2): 132–141. DOI: 10.1016/j.taap.2003.12.030.

Scully R, Panday A, Elango R et al. (2019): DNA double-strand break repair-pathway choice in somatic mammalian cells. *Nat Rev Mol Cell Biol* 20 (11): 698–714. DOI: 10.1038/s41580-019-0152-0.

Stephan G, Schneider K, Panzer W et al. (2007): Enhanced yield of chromosome aberrations after CT examinations in paediatric patients. *Int J Radiat Biol* 83 (5): 281–287. DOI: 10.1080/09553000701283816.

Stricklin D, Prins R, Bellman J (2020): Development of age-dependent dose modification factors for acute radiation lethality. *Int J Radiat Biol* 96 (1): 67–80. DOI: 10.1080/09553002.2018.1547438.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2021): The Chernobyl accident. UNSCEAR's assessments of the radiation effects. <https://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html#Health> (Zugriff am: 16.08.2021).

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2013): Sources, effects and risks of ionizing radiation. Volume II. Scientific Annex B: Effects of radiation exposure of children. https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2013_2.html (Zugriff am: 18.08.2021).

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000): Sources and Effects of Ionizing Radiation with Scientific Annexes. Vol II: Effects. https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_2.html. (Zugriff am: 18.08.2021).

Wojcik A (2020): Individual Response to Ionising Radiation Radiosensitivity of Children. Vortrag. Article 31 scientific seminar: Radiosensitivity of children health issues after radiation exposure at young age. https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/andrzej_wojcik_-_individual_response_to_ionising_radiation_-_radiosensitivity_of_children.pdf (Zugriff am: 18.08.2021).

KONTAKT

Dr. Maria Gomolka
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet WR I Strahlenbiologie
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg
E-Mail: [mgomolka\[at\]bfs.de](mailto:mgomolka[at]bfs.de)

[BfS]

Zum Schutz der psychischen Gesundheit – Unterstützung von Einsatzkräften in einem radiologischen Notfall

Protecting mental health – supporting emergency responders in radiological emergencies

ZUSAMMENFASSUNG

Einsatzkräfte tragen nicht nur die größten körperlichen, sondern auch die größten mentalen Bürden im Umgang mit den Erfahrungen während ihrer Einsätze. Dies trifft auch für Einsatzkräfte zu, die sich im Falle radiologischer Ereignisse der Quelle radioaktiven Materials nähern müssen, Personen ausmessen oder dekontaminieren, Proben potenziell radioaktiven Materials rund um den Ort des Notfalls nehmen, oder Personen in Gebieten, die von dem Ereignis betroffen sind, transportieren. Radioaktivem Material ausgesetzt zu sein, stellt einen besonderen Aspekt der Belastung für Einsatzkräfte dar. Um Einsatzkräfte generell vor Folgen auf die psychische Gesundheit zu schützen, gibt es schon seit längerem entsprechende Unterstützungsangebote, wie Kriseninterventionsteams oder die Psychosoziale Notfallversorgung. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat in einem Projekt untersuchen lassen, welche besonderen Informations- und Schutzbedürfnisse Einsatzkräfte in radiologischen Notfällen haben und wie man diese erfüllen kann, um die wahrgenommene Sicherheit im Umgang mit derartigen Notfällen zu erhöhen und Auswirkungen auf die psychische Gesundheit zu vermeiden.

CHRISTIANE
PÖLZL-VIOL

ABSTRACT

Responders bear not only the greatest physical burdens, but also the greatest mental burdens in dealing with the experiences during their missions. This is also true for responders who have to get close to the source of radioactive material in the event of a radiological incident, measure or decontaminate people who may be contaminated, take samples of potentially radioactive material around the site of the emergency, or transport people in areas affected by the incident. Exposure to radioactive material is a particular stressor for responders. In order to protect emergency workers from consequences on their mental health, appropriate support services have been available for some time, such as crisis intervention teams or psychosocial emergency care. In a project, the Federal Office for Radiation Protection has investigated the special information and protection needs of emergency workers in radiological emergencies and how these can be met in order to increase safety in dealing with such emergencies and to avoid effects on mental health.

EINLEITUNG

Schon lange ist bekannt, dass sich Einsatzkräfte in ihren Einsätzen nicht nur möglichen körperlichen Beeinträchtigungen durch Naturgefahren wie Feuer, Lawinen, Hangrut-

schen oder schädlichen Substanzen aussetzen. Die psychischen Belastungen durch die Bedrohung der eigenen Gesundheit, das Leid der Anderen, Unsicherheiten im Einsatz, Erschöpfung, werden durch psychosoziale Unterstützung mit Kriseninterventionsteams



Quelle: BfS.

und der Psychosozialen Notfallversorgung adressiert. Im Bereich der radiologischen Notfälle wirkt die Angst vor Strahlung als zusätzliches besonderes Belastungsmoment. Der Begriff „radiologischer Notfall“ umfasst dabei eine recht breite Spanne an Ereignissen, bei denen radioaktive Stoffe in stark erhöhtem Maße freigesetzt werden, und sich dadurch erhebliche nachteilige Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt ergeben können. Wie groß diese Auswirkungen sein können, hängt von der Art des Unfalls ab und damit davon, welche radioaktiven Stoffe in welchem Ausmaß freigesetzt werden. Die unterschiedlichen Arten von Unfällen werden in Notfallszenarien beschrieben (Quelle: Internetseite BfS, <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/notfall/notfallszenarien/notfallszenarien.html>).

Vergangene radiologische Notfälle wie Three Mile Island (1979), Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) haben gezeigt, dass die Belastung der Menschen durch die Angst vor der Strahlung, die Sorge um Angehörige und durch die Unsicherheit im Umgang mit Strahlung eine bedeutende Rolle neben den tatsächlichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch austretendes radioaktives Material spielt (WHO 2020). Psychische Belastungen treten aber nicht nur als direkte Folgen der Unfälle auf, sondern auch als Konsequenzen von Schutzmaßnahmen wie zum Beispiel Evakuierung (Bromet 2014). Um den nicht-radiologischen Folgen radiologischer Ereignisse vorzubeugen und sie besser in allen Phasen des Notfallmanagements berücksichtigen zu können, hat die Weltgesundheitsorganisation (World He-

alth Organisation, WHO) im Jahr 2020 das „Framework for mental health and psychosocial support in radiological and nuclear emergencies“ herausgebracht. Dort werden entlang der „5C“ Communication, Coordination, Community Engagement, Capacity Building und Core Ethical Values (Kommunikation, Koordination, gesellschaftliches Engagement, Aufbau von Kapazitäten, zentrale ethische Werte), detaillierte Empfehlungen gegeben, um psychosoziale Belastungen zu verringern.

Bei den genannten Unfällen ist aber auch deutlich geworden, dass die Belastung neben der Bevölkerung insbesondere die Einsatzkräfte trifft, die im radiologischen Notfall eine zentrale Rolle bei dessen Bewältigung haben. Folgen können posttraumatische Belastungsstörungen, Depressionen, negative eigene Gesundheitseinschätzung und teilweise auch Alkoholismus sein (Bromet et al. 2011).

Um Einsatzkräfte sicher durch Notfälle zu führen, müssen sie demzufolge nicht nur vor einer zu hohen Strahlenexposition geschützt werden – wie es im Strahlenschutzgesetz in den §§ 113 ff. geregelt ist. Auch die Bedürfnisse nach Informationen und Schutz im Umgang mit der besonderen Notfallsituation müssen erfüllt sein.

ANGST VOR STRAHLUNG BEEINTRÄCHTIGT EINSATZKRÄFTE

Die physische und psychische Einsatzfähigkeit von Einsatzkräften hängt von ihrer Vorbereitung auf einen Einsatz ab.

Je intensiver vergleichbare Einsatzsituationen geübt wurden und natürlich auch, je häufiger ähnliche Einsätze vorkommen, umso routinierter kann der vorbereitete Umgang mit einer Gefahrensituation ablaufen. Die am Einsatz beteiligten Personen wissen dann um ihre Rolle, das Zusammenspiel mit den anderen Einsatzkräften und das notwendige Verhalten beim Ablauf von Einsätzen.

Generell werden Standardeinsätze intensiv vorbereitet. Auch mögliche psychische Belastungen werden berücksichtigt (Sched-

lich 2013). Dennoch stellen Einsätze in radiologischen Gefahrenlagen für viele Einsatzkräfte einen Sonderfall und damit eine ungewohnte Situation dar: Strahlung ist ein klassischer Angstauslöser. Einen schädlichen Stoff nicht sehen, nicht riechen und nicht schmecken zu können, sowie die möglichen verzögerten und langanhaltenden Wirkungen auf die Gesundheit erhöhen die Angst vor Kontamination oder Erkrankung. Genährt wird diese Angst durch historische Bilder der Opfer der Atombombenabwürfe in Hiroshima und Nagasaki, ebenso wie durch die mediale Berichterstattung über die Atomreaktorkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima. Die Reaktorkatastrophen von Three Mile Island, Tschernobyl und Fukushima zeigten, dass radiologische Ereignisse in der Bevölkerung und bei Einsatzkräften häufiger chronische psychologische Erkrankungen hervorrufen als andere Katastrophen (Bromet 2014).

Unter anderem können sich folgende Stressoren in Einsätzen bei Ereignissen negativ auf die Arbeit und auf die Einsatzfähigkeit von Einsatzkräften auswirken (BBK 2012):

- Fehlendes Wissen über Radioaktivität: Radiologische Sachverhalte sind im Einsatzalltag wenig präsent. Die Eigenschaften von Strahlung und die Wirkung auf den Körper sind für den Laien schwer zu verstehen. Die Grundsätze des Strahlenschutzes sind daher nur schwer zu vermitteln.
- Aufgrund der wenig intensiven Vorbereitung auf radiologische Lagen fehlen die Vertrautheit und die Routine für das Handeln in diesen Situationen. Routine schafft jedoch Sicherheit für Stresssituationen.
- Dadurch entstehende Verunsicherung und Ängste: Die eigene Gefährdung kann nur schwer eingeschätzt werden. Die Angst vor einer Schädigung durch den Kontakt zu anderen Menschen – oder auch davor, selbst andere zu schädigen – kann sich negativ auf den Einsatz auswirken.
- Erschwerte Einsatzbedingungen – zum Beispiel das Tragen von Vollschutzanzügen – bei radiologischen Lagen können

dazu führen, dass Einsatzkräfte in ihrer gewohnten Handlungssicherheit beeinträchtigt sind und Entscheidungen unter Unsicherheit treffen müssen.

- Die Konfrontation mit ängstlicher und verunsicherter Bevölkerung erschwert den Einsatz.
- Auch die Sorge um die Angehörigen ist ein zentrales Thema bei Einsatzkräften und besonders bedeutsam im Fall radiologischer Lagen.

Eine besondere Herausforderung ist die Heterogenität der Einsatzkräfte in einem radiologischen Notfall und damit ihre unterschiedliche Vorbereitung auf diesen Ernstfall. Zum Einsatz kommen zum einen Kräfte aus unterschiedlichen Organisationen wie Polizei, Rettungsdiensten, Feuerwehr, Bundeswehr, dem Technischen Hilfswerk oder verschiedenen Hilfsorganisationen – Organisationen, deren Aufgabe es ist, mit Krisen und Notfällen umzugehen. Dazu kommen Fachleute, die im Notfall zur Bewertung der fachlichen Lage hinzugezogen werden, aber nicht in Einsatzorganisationen arbeiten – wie zum Beispiel Fachleute des BfS aus dem radiologischen Notfallschutz. Und schließlich Personen, die von Berufs wegen nicht auf Einsätze in Notfällen vorbereitet werden, wie Busfahrerinnen und Busfahrer, für die Probennahmen verantwortliche Personen oder Bauarbeiterinnen und Bauarbeiter etc. (SSK 2015). Einsatzkräfte von Organisationen wie Polizei und Feuerwehr erhalten im Zuge der beruflichen Ausbildung Informationen über den Umgang mit radioaktivem Material. Da aber viele andere Notfälle häufiger sind als Ereignisse, in denen radioaktives Material freigesetzt wird, ist der Umgang mit radioaktiven Quellen folglich auch nur ein kleiner Teil der Ausbildung. Zum Beispiel Busfahrerinnen und Busfahrer oder für die Probennahmen verantwortliche Personen, die im Notfall Aufgaben übernehmen werden, erhalten derartige Schulungen in weit weniger intensiver Form oder teilweise gar nicht.

FORSCHUNGSPROJEKT DES BFS UNTERSUCHT SPEZIFISCHE BEDÜRFNISSE VON EINSATZKRÄFTEN

Im Forschungs- und Handlungsfeld der Psychosozialen Notfallversorgung (PSNV) werden bereits seit einigen Jahren allgemeine Belastungsfaktoren bedrohlicher Situationen identifiziert und mögliche Gegenmaßnahmen dafür entwickelt, um die Einsatzfähigkeit und die psychische Gesundheit von Einsatzkräften zu erhalten. Die PSNV ist fester Bestandteil der Einsatzbegleitung. Seit einigen Jahren gibt es auch nationale wie internationale Bemühungen, die psychische Gesundheit stärker im radiologischen Notfallmanagement zu verankern (BBK 2012; Zähringer 2020).

Um die bekannten Stressoren für den radiologischen Ereignisfall näher zu betrachten, und um mögliche Unterstützungsangebote konkreter beschreiben zu können, hat das BfS in den Jahren 2018 bis 2020 das Projekt „Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz – Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung der Ausbildung, Information und Kommunikation“ durchführen lassen. Das Projekt wurde von der Stiftung Risiko-Dialog zusammen mit der Universität Leipzig durchgeführt (Rüthi et al. 2020). Es baut auf den bisherigen Erkenntnissen über psychosoziale Belastungen in Einsätzen, psychosoziale Notfallversorgung und insbesondere auf den Erkenntnissen über verunsichernde Wirkung von Strahlung auf. Anhand von halbstandardisierten Interviews mit Einsatzkräften wurden Maßnahmen zur psychosozialen Unterstützung für die Phasen der Einsatzvorbereitung, Einsatzbegleitung und Einsatznachsorge erfasst, um Veränderungen der spezifischen Informations- und Schutzbedürfnisse in den Einsatzphasen erfassen zu können. Ein fiktives Szenario, das einen Unfall in einem nahegelegenen AKW beschreibt, diente als Einstieg in das Interview. Detaillierte Informationen über das

Forschungsprojekt sind in Rüthi 2020 zu finden. In dem Forschungsprojekt wurde konkret den Fragen nachgegangen:

- Wie gut fühlen sich Einsatzkräfte auf den radiologischen Notfall vorbereitet?
- Für wie relevant wird das Thema für Einsätze erachtet?
- Wie gut fühlen sich Einsatzkräfte informiert und was wären die wichtigsten Informations- und Kommunikationsbedürfnisse vor, während und nach dem Einsatz?
- Welche Vorbereitung auf den Einsatz würden sie sich wünschen?

Durch die Nähe zur Bevölkerung kommen Einsatzkräfte in die Situation, Ansprechpersonen für die Bevölkerung zu sein. Ein wichtiger Aspekt bezog sich daher auf die Frage, wie Einsatzkräfte mit der Herausforderung umgehen, selbst Akteure der Krisenkommunikation in einem radiologischen Notfall zu sein.

Um die Spanne verschiedener Arten von Einsatzkräften abzudecken, wurde eine Einteilung vorgenommen in

- 1 Einsatzkräfte, die von Berufs wegen auf radiologische Lagen vorbereitet sind,
- 2 Einsatzkräfte, die allgemein auf Notfälle und Katastrophen vorbereitet sind und
- 3 Einsatzkräfte, die nicht auf Notfälle und Katastrophen vorbereitet sind.

Die Einteilung von Einsatzkräften in aufgabenspezifische Gruppen ist in **TABELLE I** dargestellt.

Das Forschungsprojekt identifizierte verschiedene Faktoren, die Art, Umfang und Zeitpunkt der benötigten Informationen sowie die Schutzbedürfnisse beeinflussen.

THEMENPRÄSENZ BEEINFLUSST INFORMATIONSBEDÜRFNIS

Es zeigte sich, dass sich die befragten Personen unterschiedlich intensiv mit Fragen

TABELLE I
 Einteilung von Einsatzkräften in aufgabenspezifische Gruppen. Nach Rüthi et al. 2020.

	EINSATZKRÄFTE, VORBEREITET AUF RADIOLOGISCHE LAGEN		EINSATZKRÄFTE, ALLGEMEIN VORBEREITET AUF NOTFÄLLE UND KATASTROPHEN		EINSATZKRÄFTE, NICHT AUF NOTFÄLLE UND KATASTROPHEN VORBEREITET	
KURZBESCHREIBUNG	Nach einem Störfall die Anlage zu stabilisieren, die Ursache zu analysieren und die Folgen des Störfalles zu beseitigen	Aufgaben und Kompetenzen im Bereich des Strahlenschutzes	Sicherheits- und Rettungspersonal	Betreuung und Unterstützung der Betroffenen	Aufgrund allgemeiner beruflicher Qualifikationen für bestimmte Aufgaben eingesetzt	Helfer
AUFGABEN IM EREIGNIS (BEISPIELE)	Technische Aufgaben	Messungen, Kommunikation	Messungen, Kommunikation, Rettung und Behandlung	Medizinische und psychische Betreuung von Einsatzkräften und Bevölkerung	Transporte, Reparaturen, Bauarbeiten etc.	Unterstützende Aufgaben
ORGANISATIONEN (BEISPIELE)	Anlagepersonal, Kerntechnischer Hilfsdienst	BMU, BfS, Ministerien und Behörden der Länder	Feuerwehr, ATF, Polizei, Rettungssanitäter, THW	PSNV Fachkräfte, Medizinisches Personal	Busfahrer, Pflegepersonal, Bauarbeiter, Transportarbeiter	Hilfsorganisationen, Private Helfer, Spontanhelfer

des Strahlenschutzes befassen. Dies wird sowohl im Vergleich zwischen Organisationen als auch innerhalb der betrachteten Organisationen deutlich. Informationsbedürfnisse sind dabei eng mit dem Schutzbedürfnis gegen Strahlung verbunden. Das heißt, dass sich zahlreiche Informationsbedürfnisse auf Möglichkeiten des Selbstschutzes beziehen. Gewünscht werden konkrete, nutzbare, verständliche Informationen, die Handlungsanweisungen oder -empfehlungen enthalten. Genannt wurden beispielsweise Informationen darüber, wo der Gefahrenbereich verläuft und wie lange und unter der Voraussetzung welcher Schutzmaßnahmen der Gefahrenbereich betreten werden kann. Messwerte an sich wurden häufig als schwierig verständlich und interpretierbar beschrieben. Hilfreicher ist es, wenn bereits Interpretationen und Implikationen der Messwerte dargelegt werden. Informations- und Schutzbedürfnisse stehen aber auch in engem Zusammenhang mit der Einsatzphase.

Vertreterinnen und Vertreter mancher Organisationen äußerten sehr deutlich, dass Strahlung und Strahlenschutz in ihren Tätigkeitsbereichen keine sehr relevanten oder präsenten Themen sind. Einsatzkräfte mit einer geringen Themenpräsenz interessieren sich in der Vorbereitungsphase eher wenig für fachliche Informationen. Sie sehen deren Relevanz kaum und betrachten sie häufig als abstrakt und wenig anwendungsnah. Durch seltene Schulungen und Übungen wird die Relevanz der Thematik kaum vermittelt. Wenn es zu einem Einsatz kommt, steigen die Bedürfnisse nach Informationen und Schutz rapide an. Damit findet man auch bei Einsatzkräften eine der zentralen Herausforderungen der allgemeinen Risiko- und Krisenkommunikation vor: Wie schafft man es, dass sich Menschen mit Themen befassen, die im Vergleich zu anderen Themen zu dem Zeitpunkt (in diesem Fall der Schulung bzw. Übung) nicht relevant sind?

Einsatzkräfte mit einer hohen Themenpräsenz hingegen erwarten eine umfassende Ausbildung (Schulung und Übungen) in der Einsatzvorbereitung, um die für das Aufga-

benfeld erforderliche Expertise zu erwerben. Mit Einsatzbeginn steigt aber auch bei diesen Kräften (z. B. bei Spezialeinheiten) das Informationsbedürfnis an, etwa mit Blick auf einsetzspezifische Informationen (z. B. konkrete Informationen über die Lage), die eine Ausrichtung der etablierten Handlungsabläufe auf diesen speziellen Einsatzfall ermöglichen. Hierunter fallen beispielsweise Informationen, die wichtig sind für die Planung des Einsatzes und die Zusammenarbeit mit anderen Organisationen.

Nach der Einsatzphase gehen die akuten Bedürfnisse nach schnellen Informationen zurück, bestehen bleibt aber der Wunsch nach Informationen über mögliche langfristige Gesundheitsfolgen der Strahlenexposition. Zur Differenzierung von Sorgen sowie Interesse/Aufmerksamkeit siehe [ABBILDUNG 1](#).

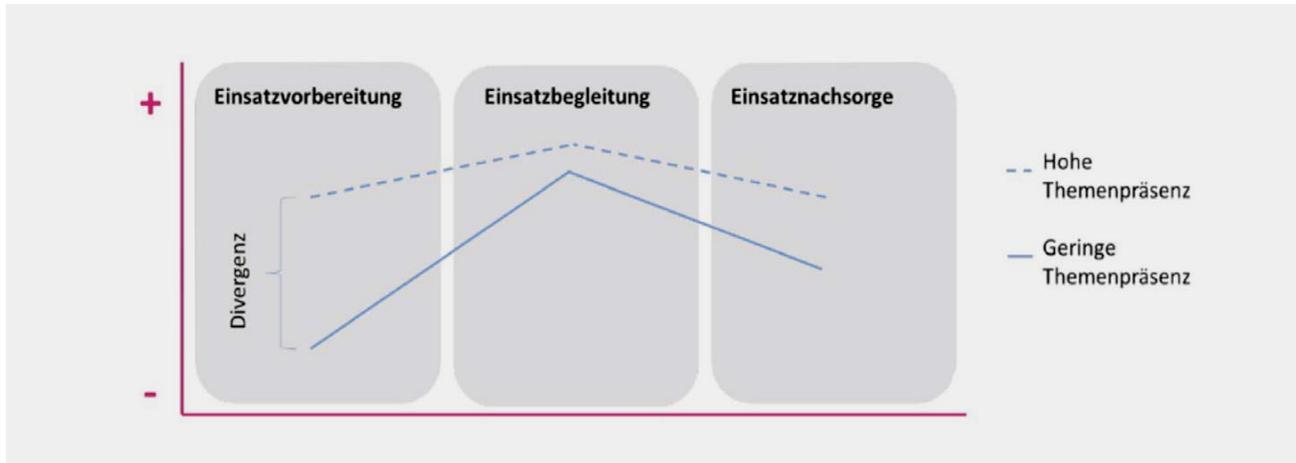
WO MUSS ANGESETZT WERDEN?

Die Erkenntnisse aus den Interviews machen deutlich, dass in verschiedenen Handlungsfeldern Potenzial besteht, um den Informations- und Schutzbedürfnissen von Einsatzkräften in den verschiedenen Einsatzphasen besser zu begegnen.

EMPFEHLUNGEN FÜR AUSBILDUNG UND INFORMATION

Strahlenschutz ist bereits Teil der Ausbildung von Einsatzkräften für CBRN-Lagen. Unter CBRN-Gefahren versteht man den Schutz vor den Auswirkungen von chemischen (C), biologischen (B) sowie radiologischen (R) und nuklearen (N) Gefahren. Dennoch sollte die Vorbereitung auf radiologische Lagen noch besser an die Bedürfnisse von Einsatzkräften angepasst werden und, wo es möglich ist, intensiviert werden.

Informationen über Strahlenschutz und über die radiologische Lage müssen noch spezifischer und verständlicher gestaltet und dem gewohnten Sprachgebrauch der Einsatzkräfte angepasst werden.



Informations- und Schutzbedürfnisse stehen darüber hinaus in engem Zusammenhang mit der jeweiligen Führungs- und Verantwortungsebene. Dabei sind **aufgabenspezifische** Informationen (Informationen, die für die Ausführung der operativen Aufgabe unmittelbar notwendig sind, wie zum Beispiel die Dekontamination von Gegenständen) vor allem für operative Kräfte beziehungsweise Kräfte mit operativer Verantwortung wichtig. Die Informationen müssen anwendungsnah sein und konkrete Anweisungen und Empfehlungen beinhalten, wie zum Beispiel die Handhabung von Geräten beziehungsweise Dekontaminationsanlagen. Unnötige, komplexe und darüber hinaus gehende Informationen werden als Überlastung angesehen (beispielsweise Fachwissen über den Strahlenschutz). Mit zunehmender Führungs- und Verantwortungsebene – insbesondere Personalverantwortung – steigt zusätzlich die Bedeutung der einsatzspezifischen Informationen (wie zum Beispiel Ursachen des Notfalls, mögliche Personalfährdungen, Zusammenarbeit der Organisationen im Einsatz).

Im Blick sollten auch diejenigen behalten werden, die in Organisationen arbeiten, die kaum auf Einsätze in CBRN-Lagen vorbereitet werden. Hier besteht häufig eine geringe Themenpräsenz und ein umso größeres Informationsbedürfnis im Fall eines Notfalls.

Informationen zum Strahlenschutz sollten noch stärker zielgruppengerecht für verschiedene Typen der Einsatzkräfte vermittelt werden, um adäquate Gefährdungswahrnehmung der Strahlung zu stärken. Bestehendes Schulungsmaterial sollte evaluiert und Rückmeldungen kontinuierlich eingepflegt werden, um Schulungen besser auf die – heterogenen – Zielgruppen ausrichten zu können. Wichtig ist, die Fülle an fachlichen Inhalten zu reduzieren und die unterschiedliche Themenpräsenz im Blick zu haben.

ÜBUNGEN MIT RADIOLOGISCHEM BEZUG INTENSIVIEREN

Neben der theoretischen Ausbildung sind Übungen ein zentrales Mittel, um das erworbene abstrakte Wissen anzuwenden und zu verfestigen und um Sicherheit für den konkreten Einsatz zu gewinnen. Schulungen und Übungen sollten verstärkt auf einsatzrelevante Handlungen spezifisch für radiologische Notfallsituationen fokussieren, um die empfundene Sicherheit zu erhöhen. Damit Gelerntes angewendet und gefestigt wird, ist die Routine im Umgang mit radioaktivem Material zu erhöhen. Dazu sollte die Frequenz von Übungen erhöht, und Übungen mit strahlendem Material intensiviert werden. Dies führt mögliche Konsequenzen vor Augen und erhöht die Wirkung der Übung. Das gilt besonders für Einsatzkräfte mit

ABBILDUNG 1
Differenzierung von Sorgen sowie Interesse / Aufmerksamkeit; Quelle: Rütchi et al. 2020.

geringer Themenpräsenz. In gemeinsamen Übungen unterschiedlicher Einsatzorganisationen können Schnittstellen und Abläufe ersichtlich werden – dies vermittelt den Einsatzkräften mehr Sicherheit darüber, wie das Gesamtsystem funktioniert.

Übungen sollten stets ausgewertet und weiterentwickelt werden.

ZU BEGINN DES EINSATZES SCHNELL ORIENTIERUNG GEBEN

Zu Beginn der Einsatzphase ist das Informationsbedürfnis besonders dringlich. Daher ist die Bereitstellung leicht aufzufindender, verständlicher, subjektiv relevanter Basisinformationen für die Einsatzkräfte von hoher Relevanz, um Unsicherheiten und Falschinformationen – etwa durch die Nutzung sozialer Medien – entgegenzuwirken.

Insbesondere Einsatzkräfte mit niedriger Themenpräsenz weisen mit Einsatzbeginn ein hohes Orientierungsbedürfnis auf. In dieser sensiblen Phase besteht daher die Gefahr, dass durch öffentliche Fehlinformationen oder gar gezielte Desinformation die Einsatzbereitschaft sinkt und Einsatzabläufe gestört werden. Hier hat sich in dem Forschungsprojekt gezeigt, dass das Maß der Kohäsion (Maß der inneren Organisation und Zusammenhalt) und Disziplin in einer Einsatzorganisation einen Einfluss darauf hat, wie einsatzbereit die Einsatzkräfte mit geringer Themenpräsenz sind – auch ohne das umfassende Informationen bereitgestellt werden. Einsatzkräfte derartiger Organisationen (wie beispielsweise Bundeswehr, Polizei) sind auch mit weniger grundlegender Aufklärungsarbeit einsatzbereit. Im Zusammenhang damit lässt sich erkennen, dass Vertrauen eine wichtige Einflussgröße ist und für die Einsatzbereitschaft und -fähigkeit auch in Situationen der Unsicherheit und persönlichen Gefährdung eine Unterstützung darstellt. Dabei ist zum einen das Vertrauen in Kolleginnen und Kollegen wie auch in Vorgesetzte beziehungsweise zur Einsatzleitung zentral. Zum anderen ist auch das Vertrauen in Infrastruktur und Ausstattung von entscheidender

der Bedeutung. Vertrauen muss als wichtiger Faktor weiter gestärkt werden – er hilft, mit Unsicherheiten und fehlendem Wissen umgehen zu können.

BEIM EINSATZ: KLARE INFORMATIONEN, ZUGANG ZU MESSERGEBNISSEN

Während der Einsatzsituation ist die Aufnahmefähigkeit reduziert. Für die Einsatzkräfte sollten radiologische Informationen daher einfach und mit klaren radiologischen Bewertungen dargestellt werden. Um Unsicherheiten im Einsatz zu reduzieren, sollten Einsatzkräfte während des Einsatzes jederzeit Zugang zu radiologischen Fachinformationen aus verlässlichen Quellen haben. Während des Einsatzes ist auch die gemeinsame Sprache von Fach- und Einsatzkräften weiter zu fördern, damit Kommunikation gerade im Einsatz funktioniert.

Alle Einsatzkräfte sollten die Möglichkeit erhalten, eigenständig die Dosis und die Dosisleistung im Einsatz zu messen, um gesundheitliche Folgen besser abschätzen und Sorgen reduzieren zu können. Informationen zum Hintergrund von Messwerten (beispielsweise wie und durch wen gemessen wurde) sollten bereitgestellt werden, um die Glaubwürdigkeit zu erhöhen, gerade wenn nicht selber gemessen wurde.

UNSIKERHEITEN IM UMGANG MIT BEVÖLKERUNG

Der Umgang mit der Zivilbevölkerung in einem radiologischen Notfall ist bei den Einsatzkräften weitgehend eine Unbekannte und bereitet ihnen durchaus Sorgen. Der Umgang mit der betroffenen Bevölkerung sollte in Schulungen thematisiert und in Übungen integriert werden, um Einsatzkräfte auf ihre Rolle als Multiplikatoren und Ansprechpartner für die Bevölkerung vorzubereiten und Unsicherheit im Einsatz zu nehmen. Empfehlungen zur Informationsweitergabe an die Zivilbevölkerung im persönlichen Austausch und Hilfestellungen zum Umgang mit besorgter und

panischer Bevölkerung sollten in der Ausbildung stärker berücksichtigt werden.

Für den Einsatz sollten Regeln für die Kommunikation von Einsatzkräften mit der Bevölkerung definiert werden, um die Unsicherheit der Einsatzkräfte zu reduzieren und von deren Rolle als Multiplikatoren zu profitieren.

Um Unsicherheit und Sorgen bei Angehörigen von Einsatzkräften zu reduzieren und Falschinformationen entgegenzuwirken, sollten sich die Angehörigen direkt (bei den beteiligten Institutionen zur Bewältigung des Notfalls) und unkompliziert über das radiologische Ereignis und den Einsatz informieren können.

UMGANG MIT PSYCHOSOZIALEN BELASTUNGEN ADRESSIEREN

Die psychosoziale Notfallversorgung ist mittlerweile bei vielen Einsatz- und Hilfsorganisationen etabliert, es fehlt jedoch oft die spezifische Berücksichtigung radiologischer Stressoren. Insbesondere aufgrund des hohen Affektpotenzials von Radioaktivität sollte das Thema „psychosoziale Belastungen im Einsatz in radiologischen Notfallsituationen“ verstärkt in Schulungen aufgenommen werden, um das Wissen über Einsatzstressoren sowie über typische Reaktionen zu erhöhen. So können Einsatzkräfte die eigenen Reaktionen im Einsatz besser verstehen und damit umgehen. Ebenso wird empfohlen, das Thema „psychosoziale Belastungen im Einsatz“ verstärkt in das Einsatzbriefing und Debriefing bei einem radiologischen Notfall aufzunehmen, um das Bewusstsein und die Bereitschaft, sich damit auseinanderzusetzen, zu erhöhen. Eine derartige Unterstützung kann dazu beitragen, langfristiger Belastung vorzubeugen.

Die Angst vor den Folgen von Strahlenexposition wirkt lange nach. In der Einsatznachsorge darf daher die Angst vor den gesundheitlichen Folgen einer Strahlenbelastung nicht vernachlässigt werden. Zur langfristigen Unterstützung für Einsatzkräfte und Angehörige im Rahmen der Einsatznachsorge könnten permanent lokale/regional veran-

kerte Ansprechstellen etabliert werden, um eine niederschwellige psychosoziale Betreuung und Nachsorge sicherzustellen.

AUSBLICK

National wie international finden sich zahlreiche Aktivitäten, die psychosozialen Auswirkungen von Notfällen und den Erhalt der psychischen Gesundheit stärker in die Planung des Notfallschutzes mit einzubeziehen. Wichtig ist nun, diese Bemühungen auch in die Praxis des radiologischen Notfallschutzes umzusetzen und dabei diejenigen zu berücksichtigen, die im Einsatz vor Ort sind. Das Projekt des BfS ergab zahlreiche konkrete Ansatzpunkte, die Vorbereitung von Einsatzkräften auf radiologische Notfälle und den Umgang damit zu unterstützen. Sie können den verschiedenen Akteuren im Notfallschutz als Anregungen dienen, um die Vorbereitung ihrer Einsatzkräfte auf einen radiologischen Notfall und die Begleitung der Einsatzkräfte während des Notfalls zu verbessern sowie Stress und psychischen Belastungen vorbeugen oder zumindest schnell darauf reagieren zu können. ●

LITERATUR

- Bromet EJ (2014): Emotional Consequences of Nuclear Power Plant Disasters. *Health Physics* 106, 2: 206–210. DOI: 10.1097/HP.0000000000000012.
- Bromet EJ, Havenaar JM, Guey LT (2011): A 25 Year Retrospective Review of the Psychological Consequences of the Chernobyl Accident. *Clinical Oncology* 23: 297–305. DOI: 10.1016/j.clon.2011.01.501.
- BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2012): Psychosoziales Krisenmanagement in CBRN-Lagen. *Praxis im Bevölkerungsschutz*, Band 6.
- Schedlich C (2013): Trainingsmanual Psychosoziales Krisenmanagement in CBRN-Lagen für Multiplikatoren. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. ISBN 978-3-939347-50-7.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2006): The Chernobyl Forum: 2003–2005: Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts. Wien. <https://www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf> (Zugriff am: 09.08.2021)

Rüthi T, Hostenstein M, Hoffmann Ch P, Merkel U (2020): Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz: Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung der Ausbildung, Information und Kommunikation. Zürich: Stiftung Risiko-Dialog. urn:nbn:de:0221-2020101923624, einzusehen unter: <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2020101923624> (Zugriff am: 17.08.2021)

SSK – Strahlenschutzkommission (2015): Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2015/Weiterentwicklung_Notfallschutz_nachFukushima.html (Zugriff am: 17.08.2021).

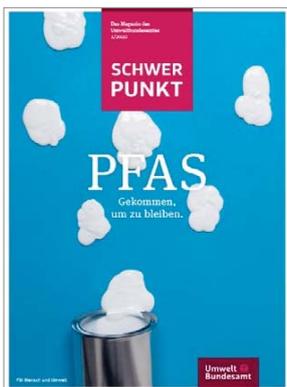
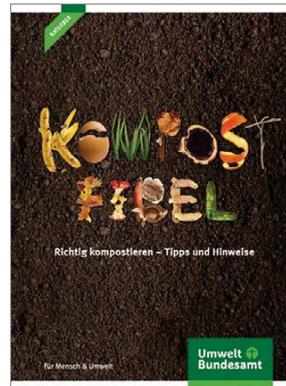
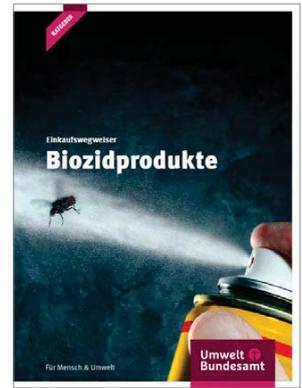
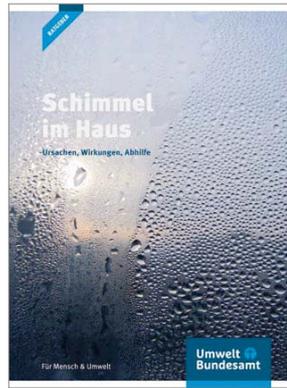
WHO – World Health Organization (2020): A framework for mental health and psychosocial support in radiological and nuclear emergencies. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015456> (Zugriff am: 17.08.2021).

Zähringer M (2020): Psychosoziale Folgen nuklearer Katastrophen – eine interdisziplinäre Herausforderung. Zeitschrift Notfallvorsorge 3: 29–35.

KONTAKT

Christiane Pözl-Viol
Bundesamt für Strahlenschutz
Referat DO4, Risikokommunikation und
Wissensmanagement
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: [cpoelzl\[at\]bfs.de](mailto:cpoelzl[at]bfs.de)

[BfS]



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