



## Handynutzung und männliche Fruchtbarkeit

### Außerdem in diesem Heft:

Feinstaubprobleme in Städten weltweit / Feinstaub: Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland

Akkumulation von Perfluoralkylsäuren (PFAAs) in essbaren Geweben landwirtschaftlicher Nutztiere

Inanspruchnahme von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse aus DEGS1





# UMID

Ausgabe 4 • 2013

**UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst** ist ein Beitrag zum "Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit" (APUG) und Teil der Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst, Nr. 4/2013**

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

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

**Druck:** Umweltbundesamt

<b>Redaktion:</b>	Dr. Suzan Fiack Bundesinstitut für Risikobewertung Thielallee 88-92 14195 Berlin E-Mail: pressestelle[at]bfr.bund.de	Dr. med. Ute Wolf Robert Koch-Institut General-Pape-Straße 62-66 12101 Berlin E-Mail: u.wolf[at]rki.de
	Dipl.-Ing. Dipl.-Soz. Helmut Jahraus Bundesamt für Strahlenschutz Ingolstädter Landstraße 1 85764 Oberschleißheim (Neuherberg) E-Mail: hjahraus[at]bfs.de	Dr. phil. Dipl.-Ing. Hedi Schreiber Umweltbundesamt Corrensplatz 1 14195 Berlin E-Mail: hedi.schreiber[at]uba.de

**Gesamtkoordination:** Kerstin Gebuhr M.A.  
Umweltbundesamt  
Geschäftsstelle Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit  
Corrensplatz 1  
14195 Berlin  
E-Mail: kerstin.gebuhr[at]uba.de

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

E-Mail für UMID: [umid\[at\]uba.de](mailto:umid[at]uba.de)

UMID im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/newsletter-schriftenreihen/umid-umwelt-mensch/umid-archiv>

UMID im ÖGD-Intranet: <http://www.uminfo.de> (Bereich Literatur)

UMID auf apug.de: <http://www.apug.de/risiken/umweltmedizin/umid.htm>

Gedruckt auf Recyclingpapier mit dem Umweltzeichen "Blauer Engel".

Titelbild: Handy © Rödi / pixelio.de.

UMID erscheint jährlich in 3 bis 4 Ausgaben im Rahmen des Aktionsprogramms Umwelt und Gesundheit (APUG) und kann kostenfrei als Online-Ausgabe abonniert werden: <http://www.umweltbundesamt.de/service/newsletter>. Er 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.

## INHALTSVERZEICHNIS / CONTENTS

Beeinträchtigen elektromagnetische Felder von Handys die männliche Fruchtbarkeit? ..... 5 Is male fertility compromised by electromagnetic fields of mobile phones? <i>Blanka Pophof</i>	5
Feinstaub in Städten – Welche Probleme gibt es weltweit? ..... 11 Fine particulate matter in cities – global problems to face <i>Lena Wohlgemuth, Arno Graff</i>	11
Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Feinstaub (PM <sub>10</sub> ) ..... 18 Calculating environmental burden of disease of the German population caused by particulate matter (PM <sub>10</sub> ) <i>Dagmar Kallweit, Dirk Wintermeyer</i>	18
Antibiotikaresistenz bei kommensalen E. coli in der Tiermast – eine Übersicht ..... 25 Antimicrobial resistance in commensal bacteria in animal meat production <i>Annemarie Käsbohrer, Beatriz Guerra, Bernd-Alois Tenhagen, Armin Weiser, Reiner Helmuth, Bernd Appel, Andreas Schroeter</i>	25
Akkumulation von Perfluoralkylsäuren (PFAAs) in essbaren Geweben landwirtschaftlicher Nutztiere ..... 31 Accumulation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in edible tissues of livestock species <i>Janine Kowalczyk, Helmut Schafft, Heide-Marie Lochotzke</i>	31
Inanspruchnahme von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse aus DEGS1 ..... 38 Participation in cancer screening in Germany – Selected results of DEGS1 <i>Anne Starker, Anke-Christine Saß</i>	38
Bundesweite Erhebung von Aktivitäten zu Klimawandel und Gesundheit ..... 46 Inquiry about activities on climate change and health in Germany <i>Jana Kandarr, Heiko Reckert, Detlef Laußmann, Marjolein Haftenberger, Hildegard Niemann, Christa Scheidt-Nave, Klaus Stark, Mirko Faber, Wolfgang Straff, Hans-Guido Mücke</i>	46



# Beeinträchtigen elektromagnetische Felder von Handys die männliche Fruchtbarkeit?

Is male fertility compromised by electromagnetic fields of mobile phones?

*Blanka Pophof*

## Abstract

The question, if there is any effect of electromagnetic fields from mobile phones on male fertility, has been investigated in several national and international studies. All human studies show a reduced fertility in heavy mobile phone users, but most probably this is due to the life style of this part of the population and not caused by electromagnetic fields. Laboratory studies show predominantly thermal effects above the limits, which can be explained by the high thermal sensitivity of sperm. Such high exposures do not occur in reality. Even if a mobile phone is transmitting in the trouser pocket, the exposure remains far below the limits and thermal effects can be excluded. Animal studies show in dependency of their quality controversial results. Studies corresponding to the quality demands of good laboratory practice do not show any adverse health effects of electromagnetic fields on male fertility. Many of the described observations are still not clarified, therefore WHO recommends in the Research Agenda 2010 further investigations on this topic, but not with a high priority.

## Zusammenfassung

Schädigen Handys die männliche Fruchtbarkeit? Diese Sorge wird immer wieder geäußert und in den Medien aufgegriffen. Auch die Wissenschaft hat sich der Thematik angenommen und den Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die männliche Fruchtbarkeit in mehreren nationalen und internationalen Studien untersucht. Tatsächlich zeigen Studien eine verminderte Fruchtbarkeit bei Menschen, die häufig ein Handy nutzen. Dies ist aber höchstwahrscheinlich durch die Lebensweise dieser Personengruppe und nicht durch elektromagnetische Felder verursacht. Laborstudien zeigen vor allem thermische Effekte oberhalb der Grenzwerte, was durch die hohe Temperaturempfindlichkeit von Spermien erklärt werden kann. Derart hohe Belastungen kommen bei der Nutzung eines Mobiltelefons nicht vor. Auch wenn ein Handy in der Hosentasche sendet, liegt die Belastung der Hoden durch elektromagnetische Felder weit unterhalb der Grenzwerte. Ein thermischer Effekt kann ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse von Untersuchungen an Tieren sind widersprüchlich. Studien, die den qualitativen Ansprüchen einer guten wissenschaftlichen Praxis entsprechen, zeigen keinen gesundheitlich relevanten Einfluss elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit. Da viele der beschriebenen Beobachtungen nicht abschließend geklärt sind, empfiehlt die WHO in der Research Agenda 2010 weitere Forschung auf diesem Gebiet, allerdings nicht mit einer hohen Priorität.

## Einleitung

Die Frage, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von Handys ausgehen, einen Einfluss auf die männliche Fruchtbarkeit haben, wird bereits seit über zehn Jahren intensiv untersucht. Es wurden Studien an Menschen und Tieren sowie Laborstudien an Zellkulturen mit sehr unterschiedlichen und oft widersprüchlichen Ergebnissen durchgeführt. Internationale Gremien sehen deswegen weiteren Forschungsbedarf. Die Ergebnisse ausgewählter Studien und Übersichtsarbeiten werden im Folgenden zusammengefasst.

## Studien an Menschen

Während des letzten Jahrzehnts wurden fünf Studien an Menschen (Davoudi et al. 2002; Fejes et al. 2005; Wdowiak et al. 2007; Agarwal et al. 2008; Gutschi et al. 2011) durchgeführt, die den Zusammenhang zwischen der Handynutzung und der männlichen Fruchtbarkeit erforschten. Das Ergebnis aller Studien ist, dass eine häufige Handynutzung mit verminderter Fruchtbarkeit einhergeht. Allen Studien gemeinsam ist, dass der Zusammenhang zwischen Telefonnutzung und männlicher Fruchtbarkeit, nicht aber der direkte Zusammen-

hang mit elektromagnetischen Feldern untersucht wurde. Wdowiak (2007) weist darauf hin, dass Vielnutzer häufiger beruflich sehr aktiv sind, eine sitzende Tätigkeit ausüben und mehr Stress ausgesetzt sind. Alle diese Faktoren beeinträchtigen die Spermienqualität. Mögliche weitere Einflussfaktoren, wie Alter, sozialer Status, Stress, Alkohol- und Tabakkonsum, die alle die Spermienproduktion beeinträchtigen, wurden nur teilweise oder gar nicht berücksichtigt. Es ist deswegen sehr wahrscheinlich, dass die genannten Begleitfaktoren, für die ein negativer Einfluss auf Fruchtbarkeit nachgewiesen ist, für die beobachtete verminderte Fruchtbarkeit verantwortlich waren und nicht die von Handys ausgehenden elektromagnetischen Felder. Unterhalb der Grenzwerte ist die Temperaturerhöhung sehr gering und auch kein weiterer Wirkmechanismus bekannt, der eine Schädigung von Zellen oder Geweben begründen könnte.

## Laborstudien

Der direkte Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf überwiegend Menschen entnommenen Spermien wurde seit 1999 in mehreren Laborstudien untersucht. Alle weisen in unterschiedlichem Ausmaß methodische Mängel auf. Einige Studien verwendeten kommerzielle Mobiltelefone anstelle von Expositionsanlagen als Quelle elektromagnetischer Felder. Aufgrund ungenügender Expositionsbestimmung entspricht dies nicht mehr dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik. Mehrfach wurde die Spezifische Absorptionsrate (SAR) nicht angegeben, welche die vom Gewebe aufgenommene Energie in Watt pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) beschreibt. Ohne diese Angabe ist eine Bewertung der beobachteten Veränderungen nicht möglich.

Die meisten Studien verwendeten unzureichende Kontrollen. Zum Beispiel befanden sich die Kontrollzellen außerhalb der Expositionsanlage oder in einem anderen Raum. Um Qualitätskriterien zu entsprechen, müsste aber eine Scheinexposition in der Expositionsanlage mit ausgeschalteten elektromagnetischen Feldern erfolgen. Sonst besteht die Möglichkeit, dass noch andere Umgebungseinflüsse zwischen befeldeten Proben und Kontrollen unterschiedlich waren und die beobachteten Effekte verursachten.

Nur einige wenige Studien wurden verblindet durchgeführt, das heißt, die Wissenschaftler, die die Proben auswerten, wussten nicht, welche befeldet waren und welche nicht. Dies ist eine wichtige Maßnahme, um zum Beispiel bei visuellen Auswertungen subjektive Einflüsse zu minimieren. Mehrere Studien arbeiteten bei SAR-Werten oberhalb der Grenzwerte. Hier ist davon auszugehen, dass die beobachteten Effekte durch eine Temperaturerhöhung bedingt waren. Spermien sind besonders temperaturempfindlich.

Im Folgenden wird auf neuere Studien, die eine Expositionsanlage verwendeten und den SAR-Wert angeben, näher eingegangen.

Die südafrikanische Arbeitsgruppe Falzone et al. (2008; 2010; 2011) fand oberhalb der Grenzwerte (ab 2 W/kg) eine Beeinträchtigung der Spermienbeweglichkeit. Ein vorzeitiger Zelltod der Spermien ist nicht aufgetreten. Die Spermien hatten bereits bei 2 W/kg eine veränderte Form, ihre Vitalität blieb aber unverändert. Dies ist nicht nachvollziehbar, da veränderte Spermien meistens weniger lebensfähig sind (Lerchl 2012). De Iuliis et al. (2009) beschrieben bei einer Befeldungsdauer von 16 Stunden ab einem SAR-Wert von etwa 1 W/kg ein Absinken der Beweglichkeit und Lebensfähigkeit von Spermien sowie oxidativen Stress. Liu et al. (2013) hingegen beobachteten an einer Zelllinie von Spermatozyten der Maus erst ab 4 W/kg oxidativen Stress gefolgt von einer DNA-Schädigung.

Die Autoren aller genannten Studien behaupten, dass es sich nicht um wärmebedingte Effekte handeln könne, da die Proben gekühlt worden seien. Es ist anzunehmen, dass bei einer Erwärmung durch elektromagnetische Felder und gleichzeitiger Kühlung die Wärmegradienten anders sind, als wenn keine Erwärmung und Kühlung stattfindet.

Da Spermien besonders wärmeempfindlich sind, ist vor allem oberhalb der Grenzwerte ein thermischer Effekt zu erwarten. Generell gilt, dass sich eine Erwärmung der Hoden und Spermien um mehr als 2 °C oder über 39 °C schädigend auswirkt, wobei die Schädigung vorübergehend ist. Untersuchungen aus dem Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) in realistischen Szenarien – zum Beispiel ein Handy in der Hosentasche – haben gezeigt, dass die SAR-Werte deutlich unter 1 W/kg liegen und die durch elektromagnetische Felder verursachte Erwärmung der Hoden im Bereich von etwa 0,01 °C liegt. Diese Erwärmung wird als gesundheitlich un-



bedenklich bewertet. Auch angesichts der genannten Ergebnisse aus Laborstudien ist davon auszugehen, dass eine realistische Belastung mit elektromagnetischen Feldern eines Handys nicht zu einer Schädigung von Spermien und einer Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit führt.

## Studien an Tieren

Seit 1999 wurde der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder im von Handys genutzten Frequenzbereich (800 MHz–2,5 GHz) auf Hoden und Spermia in über 30 Tierstudien an Nagetieren, wie Ratten, Mäusen und Kaninchen, untersucht. Die Mehrzahl der Tierstudien weist methodische Mängel auf: Mehr als die Hälfte der Studien verwendete ein kommerzielles Mobiltelefon anstelle einer definierten Expositionsanlage. In einigen Fällen wurde ein Mobiltelefon im Standby zur Befeldung der Tiere verwendet. In diesem Modus sendet ein Handy in Abständen von etwa einer halben bis zu mehreren Stunden ein kurzes Signal an die Basisstation, die abgestrahlten elektromagnetischen Felder sind vernachlässigbar (Mild et al. 2012). Häufig wurde die

spezifische Absorptionsrate (SAR) nicht angegeben, es wurden Käfigkontrollen anstelle einer Scheinexposition verwendet, und die meisten Studien wurden nicht verblindet ausgewertet. Ein Beispiel für eine gut definierte Anlage zur verblindeten Exposition von Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist in **Abbildung 1** dargestellt.

Viele Studien arbeiteten mit sehr kleinen Tierzahlen (unter zehn). Die Gruppengröße ist jedoch für die statistische Auswertung der Ergebnisse wichtig. In kleinen Gruppen können individuelle Unterschiede dazu führen, dass sich Gruppen signifikant unterscheiden, ohne dass dies ursächlich etwas mit dem untersuchten Einflussfaktor zu tun hat. Andererseits haben Studien mit kleinen Gruppen eine geringe statistische Power, was bedeutet, dass ein vorhandener Effekt leicht übersehen werden kann. In der Toxikologie gilt als goldener Standard die Gruppengröße von 32 Tieren. Diese Anforderung erfüllt nur eine Studie (Sommer et al. 2009).

Die Ergebnisse der einzelnen Studien sind nicht einheitlich – unterschiedliche Studien finden Einflüsse auf unterschiedliche Parameter und diese verändern

**Abbildung 1: Beispiel einer gut definierten Anlage zur Exposition von Mäusen mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks, die in der Studie von Sommer et al. (2009) verwendet wurde. Die Anlage besteht aus vier Einheiten. Jede Einheit enthält 16 Käfige. Quelle: Jacobs University Bremen.**



sich oft in entgegengesetzte Richtungen (siehe dazu die Ausführungen auf der Internetseite des BfS: [http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/stellungnahmen/Handynutzung\\_maennliche\\_Fruchtbarkeit/tiere.html](http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/stellungnahmen/Handynutzung_maennliche_Fruchtbarkeit/tiere.html); Abrufdatum: 15.10.2013). Der Gehalt des männlichen Hormons Testosteron im Blut konnte zum Beispiel unverändert, erhöht oder auch verringert sein. Die Spermienzahl war manchmal verringert, unverändert oder sogar erhöht. Wenn die Spermienzahl unverändert blieb, konnte ihre Beweglichkeit und/oder Lebensfähigkeit geringer, unbeeinflusst oder sogar erhöht sein. Insgesamt lässt sich aus den sehr variablen Daten kein Nachweis für eine gesundheitsrelevante schädliche Wirkung elektromagnetischer Felder auf Spermien herleiten.

In der letzten Zeit wurden mehrere Arbeiten publiziert, die als Folge einer Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks oxidativen Stress in den Zellen finden und daraus eine Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit ableiten. Führend ist hier die Gruppe um Kavindra Kesari aus Indien. Eine detaillierte Kritik der indischen Studien hat der schwedische Wissenschaftliche Rat zu elektromagnetischen Feldern (SSM 2013) veröffentlicht, mit dem Ergebnis, dass sich die Arbeiten durch äußerst mangelhaften methodischen Ansatz und unzureichende Expositionsbestimmung auszeichnen und die Ergebnisse in sich nicht konsistent und nicht nachvollziehbar sind. Weitere Arbeiten (z. B. aus Indien, Saudi-Arabien und der Türkei), ebenfalls von fragwürdiger Qualität, nehmen oxidativen Stress infolge von Exposition durch Handys als gegeben und versuchen zu zeigen, dass zum Beispiel Melatonin und die Vitamine A, C und E als „Gegenmittel“ wirken könnten.

Die beschriebene hohe Variabilität der Ergebnisse ist höchstwahrscheinlich eine Folge der bereits erwähnten schlechten Qualität vieler Studien. Hätten elektromagnetische Felder einen Einfluss auf die Fruchtbarkeit, wäre zu erwarten, dass sich ein bestimmter Parameter in einer Mehrzahl der Studien immer auf eine ähnliche Weise verändert. Auch eine Dosisabhängigkeit wäre zu erwarten. In vielen der vorliegenden Studien wurde anscheinend nur die normale physiologische Variabilität und nicht der tatsächliche Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit untersucht.

Für eine gründlichere Auseinandersetzung wurden daher anhand bestimmter Qualitätskriterien Studien

ausgewählt, deren Ergebnisse belastbar sind. Diese Qualitätskriterien waren:

- Verwendung einer Expositionsanlage,
- Angabe des SAR-Wertes,
- Scheinexposition,
- Verblindung,
- mindestens zehn Tiere in den Gruppen der exponierten und scheinexponierten Tiere.

Diesen Kriterien entsprechen insgesamt fünf Studien. Sie haben zudem den Vorteil, dass in zwei Fällen eine Ganzkörperexposition bis zu 4 W/kg angewandt wurde. Bei 4 W/kg treten bei Nagetieren bereits Verhaltensänderungen auf, ein möglicherweise vorhandener negativer Einfluss elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit müsste bei einer so hohen Belastung nachweisbar sein. Trotzdem fanden vier der genannten Studien keinen Einfluss und eine Studie sogar eine verbesserte Fruchtbarkeit.

Dasdag et al. (2008) fanden bei Ratten unter dem Einfluss von elektromagnetischen Feldern keinen verstärkten Zelltod in den Hoden. Andere Parameter wurden nicht untersucht. In einem Vorhaben des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (Sommer 2009) wurden Langzeiteffekte, unter anderem auf reproduktive Eigenschaften von männlichen und weiblichen Mäusen, über vier Generationen hinweg unter dem Einfluss eines UMTS-Signals untersucht. Es wurden keine Unterschiede im Gewicht der Hoden, Nebenhoden und der Anhangsdrüse sowie Spermienzahl und Anteil geschädigter Spermien gefunden. Der Paarungserfolg, gemessen an der Zahl der Nachkommen, war ebenfalls unverändert. Ozlem Nisbet et al. (2011) beobachteten bei exponierten Ratten einen erhöhten Testosteronspiegel. Die Spermienzahl war unverändert, deren Beweglichkeit war aber bei befeldeten Tieren erhöht. Zusätzlich war der Anteil normaler Spermien erhöht und der Anteil geschädigter Spermien niedriger, was für eine Verbesserung der Fruchtbarkeit spricht. Lee et al. (2012) fanden bei befeldeten Ratten keine Veränderung im Gewicht von Hoden und Nebenhoden, Spermienzahl, Stadien der Spermatogenese, oxidativem Stress und Zelltod in den Hoden. Bei jungen befeldeten Ratten wurde kein Einfluss auf das Gewicht von Hoden, Nebenhoden, Samenblase und Prostata gefunden (Poullietier de Gannes et al. 2012). Auch gab es weder makroskopische noch mikroskopische Unterschiede im Hodengewebe. Der Paarungser-

folg war bei exponierten und scheinexponierten Tieren gleich gut (Studienbewertung unter [http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/stellungnahmen/Handynutzung\\_maennliche\\_Fruchtbarkeit/tiere.html](http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/stellungnahmen/Handynutzung_maennliche_Fruchtbarkeit/tiere.html); Abrufdatum: 15.10.2013).

Alle Tierstudien, die den qualitativen Ansprüchen einer guten wissenschaftlichen Praxis entsprechen, zeigen keinen negativen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder mit SAR-Werten bis zu 4 W/kg auf unterschiedliche Parameter der Fruchtbarkeit.

## Übersichtsarbeiten und Bewertungen

Die bisher vorliegenden wissenschaftlich publizierten Arbeiten zum Zusammenhang zwischen männlicher Fruchtbarkeit und elektromagnetischen Feldern von Handys wurden von einigen Autoren zusammengefasst und von nationalen und internationalen Gremien bewertet.

Einzelne Wissenschaftler, die Übersichtsarbeiten publiziert haben, kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Agarwal et al. (2011) und Kesari et al. (2012) stützen sich überwiegend auf eigene Forschungsergebnisse, die erhebliche methodische Mängel aufweisen, und postulieren einen starken negativen Einfluss elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit. La Vignera et al. (2011) fassen publizierte Ergebnisse zusammen, ohne sie zu kommentieren und zu bewerten. Merhi (2012) kommt in einer kritischen und bewertenden Übersichtsarbeit zum Ergebnis, dass die vorliegenden Arbeiten widersprüchlich sind und weitere Forschung notwendig sei.

Organisationen wie die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP 2009), der Wissenschaftliche Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ der EU (SCENIHR 2009), die Weltgesundheitsorganisation (WHO 2010), die britische Health Protection Agency (HPA 2012), der schwedische Wissenschaftliche Rat zu elektromagnetischen Feldern (SSM 2013) sowie die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK 2011) kommen einheitlich zu dem Schluss, dass zwar viele Studien negative Einflüsse zeigen, dabei aber widersprüchlich und durch erhebliche methodische Mängel belastet sind. Diese Studien geben keine ausreichenden Informa-

tionen zu methodischen und technischen Aspekten und zu den tatsächlich angewandten elektromagnetischen Feldern. Deshalb können aus ihnen keine belastbaren Schlüsse gezogen werden. Auf gar keinen Fall sind sie als Nachweis negativer Effekte elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit zu werten.

Die wenigen Studien, die den qualitativen Ansprüchen einer guten wissenschaftlichen Praxis entsprechen, zeigen überwiegend keine Effekte. ICNIRP, WHO und HPA ziehen aus diesen Tatsachen den Schluss, dass weitere Forschung auf diesem Gebiet gerechtfertigt ist, sie wird aber nicht mit hoher Priorität empfohlen. Die SSK stützt sich demgegenüber auf die Ergebnisse aus dem Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm, die keine negativen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf die Reproduktion zeigen, und sieht keinen weiteren Forschungsbedarf.

## Weitere Informationen

- Beeinflusst die Handynutzung die männliche Fruchtbarkeit?: [http://www.bfs.de/de/elektrostrahlenschutz\\_mobilfunk/weitere\\_informationen/stellungnahmen/Fruchtbarkeit\\_Mann.html](http://www.bfs.de/de/elektrostrahlenschutz_mobilfunk/weitere_informationen/stellungnahmen/Fruchtbarkeit_Mann.html) (Abrufdatum: 15.10.2013).
- Einfluss elektromagnetischer Felder von Handys auf die männliche Fruchtbarkeit: [http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/stellungnahmen/Handynutzung\\_maennliche\\_Fruchtbarkeit](http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/stellungnahmen/Handynutzung_maennliche_Fruchtbarkeit) (Abrufdatum: 15.10.2013).

## Literatur

Agarwal A, Deepinder F, Sharma RK et al. (2008): Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. In: *Fertil. Steril.* 89(1): 124–128.

Agarwal A, Singh A, Hamada A et al. K (2011): Cell phones and male infertility: a review of recent innovations in technology and consequences. In: *Int. Braz. J. Urol.* 37(4): 432–454.

Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E et al. (2008): Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. In: *Arch Med Res.* 39(1): 40–44.

Davoudi M, Brössner C, Kuber W (2002): Der Einfluß elektromagnetischer Wellen auf die Spermienmotilität. In: *J. Urol. Urogynäkol.* 9(3): 18–22.

De Iuliis GN, Newey RJ, King BV et al. (2009): Mobile phone radiation induces reactive oxygen species produc-

- tion and DNA damage in human spermatozoa in vitro. In: PLoS One. 4(7): e6446.
- Falzone N, Huyser C, Becker P et al. (2011): The effect of pulsed 900-MHz GSM mobile phone radiation on the acrosome reaction, head morphometry and zona binding of human spermatozoa. In: *Int. J. Androl.* 34(1): 20–26.
- Falzone N, Huyser C, Franken DR et al. (2010): Mobile phone radiation does not induce proapoptosis effects in human spermatozoa. In: *Rad. Res.* 174(2): 169–176.
- Falzone N, Huyser C, Fourie F et al. (2008): In vitro effect of pulsed 900 MHz GSM radiation on mitochondrial membrane potential and motility of human spermatozoa. In: *Bioelectromagnetics* 29(4): 268–276.
- Fejes I, Zavaczki Z, Szollosi J et al. (2005): Is there a relationship between cell phone use and semen quality? In: *Arch. Androl.* 51(5): 385–393.
- Gutschi T, Mohamad Al-Ali B, Shamloul R et al. (2011): Impact of cell phone use on men's semen parameters. In: *Andrologia* 43(5): 312–316.
- HPA (2012): Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. Report of the Advisory Group on Non-ionising Radiation. Documents of the Health Protection Agency.
- ICNIRP (2009): Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz–300 GHz) – Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
- Kesari KK, Kumar S, Nirala J et al. (2013): Biophysical evaluation of radiofrequency electromagnetic field effects on male reproductive pattern. In: *Cell Biochem Biophys.* 65(2): 85–96.
- La Vignera S, Condorelli RA, Vicari E et al. (2011): Effects of the exposure to mobile phones on male reproduction: A review of the literature. In: *J. Androl.* 33(3): 350–356.
- Lee HJ, Jin YB, Kim TH et al. (2012): The effects of simultaneous combined exposure to CDMA and WCDMA electromagnetic fields on rat testicular function. In: *Bioelectromagnetics* 33(4): 356–364.
- Lerchl A (2012): Letter on ‚The effect of pulsed 900-MHz GSM mobile phone radiation on the acrosome reaction, head morphometry and zona binding of human spermatozoa‘ by Falzone et al. (*Int J Androl* 34: 20-26, 2011). In: *Int J Androl.* 35(1): 103.
- Liu C, Duan W, Xu S et al. (2013): Exposure to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse spermatocyte-derived cell line. In: *Toxicol Lett.* 218(1): 2–9.
- Merhi ZO (2012): Challenging cell phone impact on reproduction: A Review. In: *J. Assist. Reprod. Genet.* 29(4): 293–297.
- Mild KH, Bach Andersen J, Frølund Pedersen G (2012): Is there any exposure from a mobile phone in stand-by mode? In: *Electromagn. Biol. Med.* 31(1): 52–56.
- Ozlem Nisbet H, Nisbet C, Akar A, et al. (2011): Effects of exposure to electromagnetic field (1.8/0.9GHz) on testicular function and structure in growing rats. In: *Res. Vet. Sci.* 93(2): 1001–1005.
- Poullietier de Gannes F, Billaudel B, Haro E et al. (2012): Rat fertility and embryo fetal development: Influence of exposure to the Wi-Fi signal. In: *Reprod Toxicol.* DOI: 10.1016/j.reprotox.2012.11.003.
- SCENHIR (2009): Health Effects of Exposure to EMF. European Commission.
- Sommer AM, Grote K, Reinhardt T et al. (2009): Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multigeneration study. In: *Radiat Res* 171 (1): 89–95.
- SSK (2011): Biologische Auswirkungen des Mobilfunks - Gesamtschau - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission.
- SSM (2013): Eighth report from SSM. Scientific Council on Electromagnetic Fields.
- Wdowiak A, Wdowiak L, Wiktor H (2007): Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility. In: *Ann. Agric. Environ. Med.* 14(1): 169–172.
- WHO (2010): WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields.

## Kontakt

Dr. Blanka Pophof  
 Bundesamt für Strahlenschutz  
 Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit  
 AG-SG 1.4. Exposition, Wirkungen und Risiken durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, Anwendungen beim Menschen einschließlich Ultraschall  
 85762 Oberschleißheim  
 E-Mail: bpophof[at]bfs.de

[BfS]

# Feinstaub in Städten – Welche Probleme gibt es weltweit?

## Fine particulate matter in cities – global problems to face

*Lena Wohlgemuth, Arno Graff*

### Abstract

While air quality in Germany has improved constantly since the 1970ies and is currently on a relatively good level, people in other parts of the world are still subjected to severe particulate matter exposure, that by far exceed any healthy level. Press reports on serious smog events in Beijing at the beginning of this year drew attention to air quality issues there, but worldwide a very high number of people are affected. Rapid urbanisation – the growth of cities on one hand and the changed way of living of people in rural regions on the other – means an increase in the number of vehicles on roads, more burning of coal and greater economic need which is putting a strain on the world's population because of particulate matter pollution.

### Zusammenfassung

Während sich die Luftqualität in Deutschland seit den 1970er Jahren stetig verbessert hat und sich derzeit auf relativ gutem Niveau befindet, sind Menschen in vielen Regionen der Welt immer noch massiven Feinstaubbelastungen ausgesetzt, die weit über das gesundheitlich verträgliche Maß hinausgehen. Presseberichte über die gravierenden Smogereignisse Anfang 2013 in Peking haben die dortige Luftqualitätsproblematik ins öffentliche Bewusstsein gerückt. Von ähnlichen Problemen sind weltweit allerdings sehr viel mehr Menschen betroffen. Schnelle Urbanisierung – einerseits Wachstum der Städte, andererseits die sich ändernde Lebensweise von Bewohnerinnen und Bewohnern ländlicher Gebiete –, die damit einhergehende Zunahme von Fahrzeugen im Straßenverkehr, vermehrte Kohleverbrennung und wirtschaftliche Not tragen weltweit zur Belastung der Bevölkerung durch Feinstaub bei.

## Einleitung

In diesem Jahrhundert ist ein in der Menschheitsgeschichte einzigartiger Fall aufgetreten: Es gibt heute mehr Menschen, die in Städten leben als auf dem Land. Bis zum Jahr 2030 werden geschätzte 60 Prozent der Weltbevölkerung in Städten leben, bis zum Jahr 2050 schon 70 Prozent. Die Zahl der Städte mit mehr als einer Million Einwohnern ist explosionsartig auf mehr als 450 gestiegen, mehr als 20 davon sind sogenannte „Megacities“, also Metropolen mit mehr als 10 Millionen Einwohnern (World Urban Campaign Secretariat, UN Habitat). Probleme bei der Qualität der Atemluft in diesen urbanen Zentren betreffen daher sehr viele Menschen.

Wie ist es nun um die Luftqualität in den Städten dieser Welt bestellt? Um diese Frage zu beantworten, trug die WHO im Jahr 2011 eine Liste mit den durchschnittlichen Feinstaub-Konzentrationen (PM<sub>10</sub>) ausgewählter Jahre zusammen (WHO Urban outdoor air pollution database 2011). PM<sub>10</sub>, vom Englischen „particulate matter“ abgeleitet, bezeichnet Feinstaubpartikel mit einem aerodynamischen

Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer (µm). Die von der WHO empfohlenen Richtwerte für PM<sub>10</sub> liegen bei einem Jahresmittelwert von 20 µg/m<sup>3</sup> und 50 µg/m<sup>3</sup> als Tagesmittelwert.

Laut der von der WHO zusammengestellten Liste werden diese PM<sub>10</sub>-Richtwerte weltweit in vielen Städten zum Teil um ein Vielfaches überschritten. Vor allem auf dem asiatischen Kontinent sind zahlreiche Städte äußerst hoch belastet. Indien, Pakistan, Iran, die Mongolei und China zählen zu den Ländern mit den größten Problemen in Bezug auf Feinstaub. Aber auch außerhalb des asiatischen Kontinents gibt es Städte, die aus unterschiedlichen Gründen unter Luftverschmutzung durch Feinstaub leiden.

Im Folgenden werden exemplarisch Städte aus verschiedenen Regionen der Welt in Bezug auf ihre Feinstaubbelastung betrachtet. Es darf dabei aber nicht vergessen werden, dass Feinstaubpartikel nur einen Teil der gesamten Luftbelastung ausmachen.

An Orten, an denen hohe Feinstaubkonzentrationen auftreten, sind oft auch die Konzentrationen von Schadgasen, wie Schwefeldioxid oder Stickstoffdioxid, erhöht.

## Peking

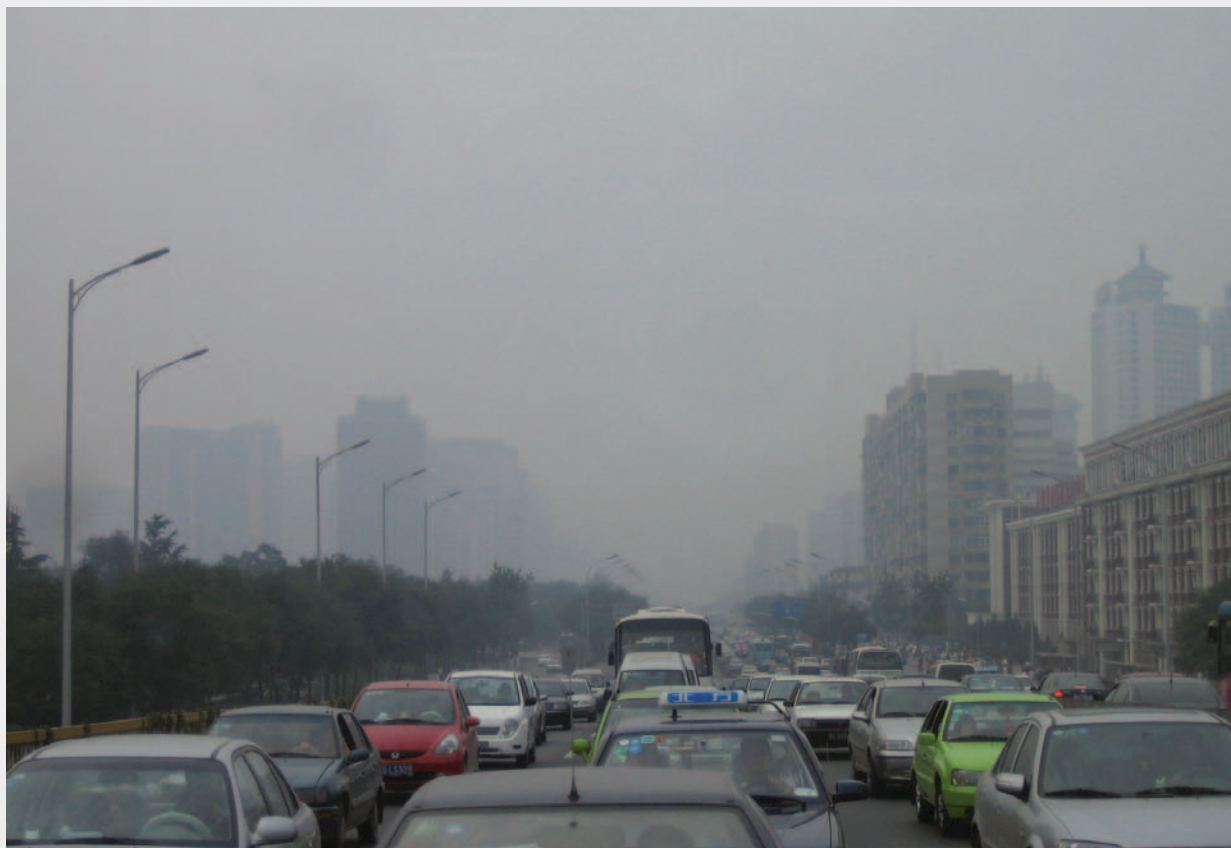
Die Megacity, deren Luftproblematik ins Zentrum der öffentlichen Aufmerksamkeit rückte, ist sicherlich die chinesische Hauptstadt. Spätestens seit den Olympischen Spielen 2008 wird immer wieder von der sehr hohen Luftverschmutzung in Peking berichtet. Tatsächlich geht das Problem aber noch weiter in die Vergangenheit zurück. Bereits in den frühen 1990er Jahren, das heißt ungefähr ein Jahrzehnt nachdem die wirtschaftliche Entwicklung in China an Fahrt gewonnen hatte, wurden in Pekinger Wohngebieten im Winter bereits sehr hohe Partikelkonzentrationen gemessen (Ando et al. 1996).

Es ist davon auszugehen, dass die Feinstaubbelastung in Peking durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren entsteht. Im Norden und Nordwesten ist Peking vom Yan-Gebirge umgeben, gegen Osten

und Süden öffnet sich die Nordchinesische Tiefebene. Hier befinden sich die Provinzen Hebei, Shanxi, Henan, Shandong und im Südosten die Millionenstadt Tianjin. Bei diesen Provinzen handelt es sich um hochindustrialisierte Gegenden. Kommt der Wind aus Richtung dieser Industriezentren, werden Schadstoffe bis nach Peking getragen. Modellrechnungen, die anlässlich der Olympischen Spiele durchgeführt wurden, zeigen, dass die Emissionen von außerhalb die Feinstaubwerte in Chinas Hauptstadt konstant hoch halten (Streets et al. 2007).

Laut der US Energy Information Administration (EIA) ist China der größte Kohleproduzent und -verbraucher der Welt (<http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=CH>; Abrufdatum: 14.08.2013). 70 Prozent des gesamten chinesischen Energieverbrauchs werden durch die Verfeuerung von Kohle gedeckt. Das heißt, selbst wenn im Pekinger Stadtgebiet keine Emissionen durch menschliche Aktivitäten entstehen würden, bliebe eine aus den anliegenden Provinzen stammende Luftverschmutzung erhalten. Deshalb müssen diese Provinzen bei Maßnahmen zur Luftreinhaltung mit einbezogen werden.

Abbildung 1: Rush Hour in Beijing. Quelle: Martina Böhner / pixelio.de.



In Peking selber ist außerdem das hohe Verkehrsaufkommen ein Problem (**Abbildung 1**). Durch die rapide Urbanisierung der letzten zwei Jahrzehnte hat sich das Verkehrsaufkommen schlagartig vervielfacht. Während es von 1949 bis 1997 48 Jahre brauchte, bis eine Million Fahrzeuge auf Pekings Straßen fuhren, wuchs die Zahl der Autos zwischen 2007 und 2009 innerhalb von nur zwei Jahren von drei auf vier Millionen. Inzwischen gibt es in Peking nach Auskunft des Beijing Traffic Management Bureau 5.232.000 Autos (Stand: Januar 2013). Je nach Wachstumsrate werden im Jahr 2030 geschätzte 8,9 bis 10,4 Millionen Autos erwartet: ein massives Problem angesichts der jetzt schon verstopften Straßen (Wu et al. 2011).

Es sind also sowohl die Emissionen aus den industrialisierten Gegenden in Pekings Süden und Südwesten als auch die Emissionen des Verkehrs, die die Luftqualität erheblich beeinträchtigen. Besonders kritisch wird es, wenn sich der Feinstaub unter ungünstigen meteorologischen Bedingungen sammeln kann, so wahrscheinlich geschehen an mehreren Tagen im Januar 2013. Ungünstig können zum Beispiel Windstille und/oder Temperaturinversionen sein, bei denen eine kältere Luftschicht unter einer wärmeren Schicht liegt. Dadurch wird die vertikale Durchmischung der Luft unterdrückt und die Luftschadstoffe akkumulieren zu sehr hohen Konzentrationen. Die US-Botschaft stufte die Luftqualität in Peking in diesem Zeitraum als „hazardous“, also gefährlich, für die Gesundheit ein (Hsu, Miao 2013).

## Indien und Delhi

Zwar schaut die Öffentlichkeit hauptsächlich nach China und Peking, Smogepisoden mit einer mindestens ebenso hohen Belastungssituation treten aber auch in Indien auf. Laut dem Environmental Performance Index, einer jährlichen Studie, initiiert von der Yale und Columbia Universität sowie verschiedenen Wissenschaftlern, hat Indien aus einer Auswahl aus 132 Ländern in Bezug auf Gesundheitsauswirkungen die schlechteste Luft. In dieser Kategorie bekommt Indien 3,7 von 100 möglichen Punkten und belegt damit den letzten Platz. China erreicht knapp 20 Punkte (Emerson et al. 2012).

Die Ursachen für schlechte Luft auf dem indischen Subkontinent sind wie überall vielfältig und multi-kausal. In einigen Gegenden Indiens, wie in Chandrapur in Maharashtra, ist es vorrangig der dortige

Kohlebergbau, der zu Belastungen für die Menschen führt (Spohr 2013). Die Hauptquelle in vielen Städten ist neben Industrie, Müllverbrennung und Hausbrand allerdings das hohe Verkehrsaufkommen (**Abbildung 2**). Dabei ist es nicht allein die schiere Masse an Fahrzeugen, sondern auch deren Alter und die Qualität des Treibstoffs, welche die Situation beeinflussen.

Ein Beispiel hierfür ist die indische Hauptstadt Delhi. In Delhi leben über 16 Millionen Einwohner auf einer Fläche von 1.483 km<sup>2</sup>. Das sind ungefähr doppelt so viele Menschen wie in London. Der halb so zahlreichen Bevölkerung Londons stehen allerdings 94 Prozent der Fläche von Delhi zur Verfügung.

Die Ursache für die Feinstaubbelastung in Delhi ist etwa zu zwei Dritteln dem Verkehrsaufkommen geschuldet (Rizwan et al. 2013). Von Indiens Städten ist Delhi die Stadt, in der die meisten Fahrzeuge registriert sind. Dabei handelt es sich in der Mehrheit um motorisierte Zweiradfahrzeuge mit Zweitaktmotoren, die erhöhte Emissionswerte besitzen.

Das Klima in Delhi ist gekennzeichnet durch heiße Sommer und kalte Winter (semiarid). Im Winter kommt es vermehrt zu Temperaturinversionen, die sich ungünstig auf die Feinstaubverteilung auswirken. Im Sommer wird zusätzlich zu den anthropogenen Emissionen Staub mit Westwinden aus der Wüste Thar in die Stadt transportiert. In der Monsunzeit wiederum werden Luftverschmutzungen mit dem Regen oft ausgewaschen. Die durchschnittliche PM<sub>10</sub>-Konzentration im Jahr 2008 lag laut WHO-Datenbank „outdoor air pollution in cities“ bei 198 µg/m<sup>3</sup> (WHO Urban outdoor air pollution database 2011) und ist damit fast zehnmal so hoch wie der von der WHO empfohlene Richtwert von 20 µg/m<sup>3</sup>.

## Ulaanbaatar

Die mongolische Hauptstadt Ulaanbaatar ist mit nur knapp über einer Million Einwohnern keine Megacity. Trotzdem ist sie eine Stadt, die unter massiven Smogproblemen leidet. PM<sub>10</sub>-Durchschnittskonzentrationen von bis zu 300 µg/m<sup>3</sup> sind im Januar keine Seltenheit. Laut WHO-Datenbank lag 2008 der Jahresdurchschnittswert von PM<sub>10</sub> bei 279 µg/m<sup>3</sup> (WHO Urban outdoor air pollution database 2011) und ist damit siebenmal höher als der in der EU

Abbildung 2: Verkehr in Indien. Quelle: Stihl024 / pixelio.de.



zulässige Jahresmittelwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hauptemissionsquellen sind das Verbrennen von Kohle zu Heizzwecken, der Verkehr, industrielle Aktivitäten und der Straßenstaub vom trockenen Untergrund. In langen und kalten Wintern summieren sich die Luftschadstoffe aus diesen Emissionsquellen zu besorgniserregenden Konzentrationen.

Vor allem das Verbrennen von Braunkohle ist ein großes Problem. Im Jahr 2007 verbrauchten die über eine Million Einwohner von Ulaanbaatar 4,9 Millionen Tonnen Kohle, davon 70 Prozent durch Kohlekraftwerke für industrielle Aktivitäten und 30 Prozent durch Privathaushalte (Nishikawa et al. 2011). Viele Bewohner von Ulaanbaatar leben in traditionellen mongolischen Zeltwohnungen, den sogenannten „Gers“. Sie sind meist abgeschnitten von einer Zentralheizung und auf das Verbrennen von Kohle angewiesen. Bedingt durch eine siebenmonatige Heizperiode ist daher besonders der Wintersmog problematisch. Die Winter im kontinentalen Klima von Ost-Zentralasien sind vor allem lang, kalt und trocken. Eine Jahresdurchschnittstemperatur um  $0^\circ\text{C}$  macht Ulaanbaatar zur kältesten Hauptstadt der Welt.

Da Ulaanbaatar in einer Kessellage liegt, weht im Winter allgemein eher wenig Wind, was in Kombination mit häufig auftretenden Temperaturinversionen zu einer Aufstauung von Schadstoffen führt. Durch die geringe Niederschlagsmenge in der kalten Zeit sind die Straßen trocken und der Verkehr wirbelt eine große Menge an Staub auf, vor allem auf den unbefestigten Straßen in den „Gers“-Gegenden. Zwar besitzen im Vergleich zu Europa und den USA viel weniger Bewohner ein eigenes Auto, allerdings bewegt sich der Verkehr auf einem eingeschränkten Straßennetz, auf dem es immer wieder zu Staus und damit zu erhöhten Emissionen kommt. Alles zusammen führt zu extrem hohen Feinstaubbelastungen während der Wintermonate.

## Pakistan

Ein Land, dessen Luftprobleme in den Medien ebenfalls weniger präsent sind, ist Pakistan. Laut WHO beträgt der  $\text{PM}_{10}$ -Mittelwert für die Jahre 2003–2004 in Rawalpindi 185, in Islamabad 189, in Karachi 193, in Lahore 200, in Peshawar 219 und in Quetta  $251 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Urbane Luftverschmutzung ist



eines der bedeutsamsten Umweltprobleme, mit denen Städte in Pakistan heute konfrontiert sind. Die Hauptemissionsquellen für Feinstaub sind Fahrzeugemissionen, industrielle Emissionen, Müllverbrennung, Ziegelöfen und natürlicher Staub (Pakistan Economic Survey 2011–12).

Die Luftbelastung durch den Straßenverkehr ist ein großes Problem. Laut einer Veröffentlichung der Pakistan Environmental Protection Agency (Pak-EPA) aus dem Jahr 2005 hatte das Land einen rasanten Anstieg an Fahrzeugen zu verzeichnen. Von 1980 bis 2005 stieg die Anzahl an PKW von 0,8 Millionen auf 4 Millionen. Im gleichen Zeitraum hat außerdem der Anteil an Fahrzeugen, die mit Zweitakt-Dieselmotoren betrieben werden, um 1.751 Prozent, der von Motorrädern um 541 Prozent und der von motorisierten Rikschas um 159 Prozent zugenommen (Pak-EPA 2005). Die absoluten Zahlen sind dennoch im Verhältnis zur Einwohnerzahl Pakistans im Vergleich mit westlichen Ländern noch eher gering. Allerdings kommt es auch auf die Menge und Art der Emissionen an, die von einem einzelnen Fahrzeug ausgehen. Im Jahr 2011 führte die Pak-EPA eine Studie zu Fahrzeugen in Islamabad durch. Dabei wurde festgestellt, dass von 576 untersuchten Fahrzeugen 43,5 Prozent nicht konform mit den nationalen Umweltstandards (NEQS) sind, die Grenzwerte für Schadstoffe in Abgasen vorschreiben. Besonders der hohe Anteil an Fahrzeugen mit Zweitakt-Motoren, wie Motorräder und motorisierte Rikschas, die Brennstoff auf besonders ineffiziente Weise verbrauchen, ist problematisch.

In den Städten tragen außerdem die ungenügend ausgestatteten Müllverbrennungsanlagen und natürlicher Staub zur allgemeinen Luftverschmutzung bei. Abhilfe kann hier nur durch technische Aufrüstung geschaffen werden. Gegen die Hintergrundbelastung durch Feinstaubpartikel, die in trockenen Sommern durch den Wind von den Wüsten Thal und Cholistan in die Städte transportiert werden, kann außer der Bekämpfung der Desertifikation allerdings wenig unternommen werden.

## Teheran

Laut der WHO-Datenbank ist die iranische Stadt Ahwaz mit einem  $PM_{10}$ -Durchschnittswert von  $372 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 2009 die am höchsten belastete Stadt der Welt. Aber auch andere Städte im Iran, wie Sanandaj, Kermanshah oder Yasouj, verzeich-

nen Werte über  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für  $PM_{10}$ . Zehn weitere iranische Städte weisen Werte zwischen 100 und  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf.

Auch in der Hauptstadt Teheran war 2009 die Luft mit  $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $PM_{10}$  im Jahresmittel stark verschmutzt. Teheran ist mit über zehn Millionen Einwohnern die größte Stadt im Iran und im besonderen Maße von der schnellen Urbanisierung der letzten drei Jahrzehnte betroffen. Die Hauptemissionen von Feinstaub gehen von den vielen Fahrzeugen in der Stadt aus (Halek et al. 2004). 2,5 Millionen der 7,5 Millionen Fahrzeuge, die es im Iran gibt, werden in Teheran gefahren, dabei wohnen nur 10 Prozent der Bevölkerung des Iran in der Stadt (Atash 2007). Das Durchschnittsalter der Fahrzeuge beträgt 17 Jahre. Geschätzte 1,5 Millionen ältere Fahrzeuge (20 Jahre und älter) sind auf Irans Straßen unterwegs, davon ungefähr 600.000 in Teheran.

Ungünstig auf den Abtransport von Feinstaubpartikeln wirken sich auch die geographische Lage der Stadt sowie die meteorologischen Gegebenheiten aus. Im Norden und Osten wird Teheran von Bergen abgeschirmt, im Süden und Westen liegt flaches Terrain. Die Hauptwindrichtung kommt aus dem Südwesten, wo viel Industrie angesiedelt ist. Dies trägt ebenfalls zur hohen Luftbelastung bei. Lokale Winde sind meist nicht stark genug, um einen ausreichenden Luftmassenaustausch zu ermöglichen. Die Topographie bedingt ein häufiges Auftreten von Temperaturinversionen an ungefähr 250 Tagen im Jahr (Atash 2007).

Luftprobleme sind den Teheranern nichts Neues. Bereits 1995 wurde in einem Projekt der Global Environmental Facility (GEF) der Verkehr als Hauptursache für schon damals massive Verschmutzungen identifiziert (Walsh 1999). Trotz dieses Wissens hat sich seitdem nicht viel geändert. Die aktuelle Luftbelastung ist so hoch, dass sowohl im Dezember 2012 als auch im Januar 2013 in Teheran ein zusätzlicher Feiertag ausgerufen werden musste, an dem alle öffentlichen Einrichtungen aufgrund zu schlechter Luft geschlossen wurden (<http://www.spiegel.de/panorama/gesellschaft/extra-feiertag-in-teheran-wegen-starker-luftverschmutzung-angeordnet-a-875679.html>; Abrufdatum: 14.08.2013). Es sind demnach tiefgreifende Maßnahmen erforderlich, um die Luftbelastung zu verringern.

## Gaborone

Eine Stadt außerhalb des asiatischen Kontinents, die von massiver Feinstaubbelastung betroffen ist, ist Gaborone, die Hauptstadt Botswanas im Süden Afrikas. Im Gegensatz zu vielen anderen Städten, die durch hohe Konzentrationen an Luftschadstoffen auffallen, ist Gaborone keine sehr große Stadt. Auch wenn die Stadtbevölkerung schnell und anhaltend wächst, liegt sie bisher nicht über 250.000 Einwohnern. Ebenso verfügt Gaborone nicht über eine große Industrielandschaft. Die Emissionen sind zu einem geringen Teil auf Autos zurückzuführen, zu einem großen Teil werden sie durch das Verbrennen von Biomasse in den Haushalten der Stadt verursacht. Vor allem in den trockenen Wintermonaten ist das ein großes Problem, da in den Häusern zum großen Teil noch mit Holzöfen geheizt wird (Jayaratne, Verma 2001). Dadurch ergibt sich ein weiteres Dilemma: Durch Heizen und Kochen ist auch die Innenraumluft stark verschmutzt. Außer Holz wird zum Kochen zudem oft noch Kuhdung verwendet, was eine noch höhere Partikelbelastung zur Folge hat (Verma et al. 2010). Es existiert hier also ein direkter Zusammenhang zwischen der Luftverschmutzung und der Armut in der Bevölkerung. Wer es sich leisten kann, mit Gas oder Elektrizität zu heizen, der spürt laut der Studie von 2010 viel weniger gesundheitliche Folgen aufgrund von Feinstaubbelastung. In die Betrachtung der Luftbelastung in Gaborone müssen daher auch Fragen der Umweltgerechtigkeit einbezogen werden.

## London

Im Zusammenhang mit der Feinstaubbelastung in Städten ist es interessant, eine Metropole aus der EU als Vergleich heranzuziehen. London ist in Bezug auf seine Luftqualität eine Stadt mit einer bewegten Geschichte. Aus dem Englischen kommt auch der Begriff „Smog“, der sich aus „smoke“ und „fog“ zusammensetzt. Schon im Mittelalter litten die Bewohner Londons unter der allgemeinen Verschmutzung von Luft und Trinkwasser. Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert verschärften sich die Probleme zunehmend. Immer wieder wurden die Londoner von einem gelben Nebel heimgesucht, umgangssprachlich „pea-souper“ genannt, da er an Erbsensuppe erinnert. Dieser Smog wurde durch die Verbrennung von minderwertiger Kohle ausgelöst. Das Problem setzte sich bis weit in die 1950er Jahre fort. Im Dezember 1952 verpestete ein solcher Nebel die Luft für vier

Tage. Schätzungen aus dem Jahr 2004 gehen davon aus, dass dieser Smog direkt oder indirekt 12.000 Menschen das Leben gekostet hat, davon viele mit Herz-Lungenkrankheiten (BéruBé et al. 2005).

Auch in den folgenden Jahrzehnten waren die Londoner einer konstant hohen Feinstaubbelastung ausgesetzt (Petkewich 2004). Als Konsequenz daraus wurde im Februar 2003 eine gebietsabhängige Staugebühr in der Innenstadt eingeführt, die sogenannte „congestion charge“. Wer in diese Innenstadt-Zone mit seinem PKW einfährt, muss einen Tagessatz von £10 bezahlen. Das System zeigt Wirkung: Schon 2003, im Jahr der Einführung, gingen die  $PM_{10}$ -Emissionen um fast 12 Prozent zurück. Zugleich stieg der Anteil von Fahrten mit den öffentlichen Bussen, welche wiederum mit besseren Motoren ausgestattet sind, die den Partikelaustritt verringern (Beevers, Carslaw 2005). Das Geld, das durch die Gebühr eingenommen wird, kommt dem Ausbau von Bussen und U-Bahnen zugute. Auch zehn Jahre nach der Einführung zeigt sich, dass diese gebührenpflichtige Umweltzone in Kombination mit einer Modernisierung des öffentlichen Nahverkehrs eine positive Wirkung erzielt. Der  $PM_{10}$ -Jahresdurchschnitt lag 2008 in London laut WHO-Datenbank bei  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO Urban outdoor air pollution database 2011).

## Fazit

Wie die Betrachtung einiger ausgewählter Megacities und anderer Städte mit hoher Luftbelastung zeigt, ist das Thema Luftverschmutzung kein vergangenes Umweltproblem aus den 1980er Jahren, sondern betrifft auch heute eine sehr große Zahl von Menschen. Die Gründe, warum viele Weltstädte mit hoher Feinstaubbelastung zu kämpfen haben, sind zwar unterschiedlicher Natur. In vielen Fällen wird allerdings die wirtschaftliche Entwicklung vor den Umwelt- und damit letztlich auch vor den Gesundheitsschutz gestellt. Oft geht verschmutzte Luft einher mit der wirtschaftlichen Not der Bevölkerung, die es sich beispielsweise nicht leisten kann, mit einem Elektroherd zu kochen oder Fahrzeuge mit Partikelfilter zu benutzen. Die Frage nach der Luftqualität wird damit auch zu einer Frage von Umweltgerechtigkeit.

Es bleibt daher noch viel zu tun auf dem Weg zu lebenswerten Städten, in denen alle durchatmen können. Um Luftreinhaltemaßnahmen zu erarbeiten und umzusetzen, muss grundsätzlich zunächst

ein Verständnis für Ursachen und Quellen vorhanden sein. In den 1970er Jahren war die Belastung in europäischen Ballungsräumen teilweise ähnlich hoch wie jetzt in Asien und das Wissen über Luftreinhaltepläne wurde über viele Jahre erarbeitet. Einige Länder auf der Welt stehen bei Luftreinhaltemaßnahmen noch am Anfang. Bilaterale Zusammenarbeit, Wissens- und Technologietransfer sind unter anderem Möglichkeiten, um auch aufstrebende Schwellenländer bei der Erarbeitung von Umweltschutzstrategien zu unterstützen.

## Literatur

- Ando M, Katagiri K, Tamura S et al. (1996): Indoor and outdoor air pollution in Tokyo and Beijing supercities. In: *Atmospheric Environment* 30 (5): 695–702.
- Atash F (2007): The deterioration of urban environments in developing countries: Mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran. In: *Cities* 24 (6): 399–409.
- BéruBé K, Whittaker A, Jones T et al. (2005): London smogs: why did they kill? In: *Proceedings of the Royal Microscopical Society* 40 (3): 171–183.
- Beevers SD, Carslaw DC (2005): The impact of congestion charging on vehicle emissions in London. In: *Atmospheric Environment* 39 (1): 1–5.
- Emerson JW, Hsu A, Levy MA et al. (2012): 2012 Environmental Performance Index and Pilot Trend Environmental Performance Index. New Haven. Yale Center for Environmental Law and Policy. <http://epi.yale.edu/dataexplorer/indicatorprofiles?ind=eh.air> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Halek F, Kavouci A, Montehaie H (2004): Role of motor-vehicles and trend of air borne particulate in the Great Teheran area, Iran. In: *International Journal of Environmental Health Research* 14 (4): 307–313.
- Hsu A, Miao W (2013): Beyond ‚crazy bad‘: Explaining Beijing’s extreme air pollution. Yale Center for Environmental Law and Policy. <http://environment.yale.edu/envirocenter/post/beyond-crazy-bad-explaining-beijings-extreme-air-pollution/> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Jayarathne ER, Verma TS (2001): The impact of biomass burning on the environmental aerosol concentration in Gaborone, Botswana. In: *Atmospheric Environment* 35 (10): 1821–1828.
- Nishikawa M, Matsui I, Batdorj D et al. (2011): Chemical composition of urban airborne particulate matter in Ulaanbaatar. In: *Atmospheric Environment* 45 (32): 5710–5715.
- Pak-EPA (2005): State of Environment Report 2005. Part 3: Key issues of concern. Chapter 2: Air quality – as we inhale: 63–73. <http://www.environment.gov.pk/publicpdf/StateER2005/Part3-Chp%202.pdf> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Pakistan Economic Survey 2011–12: Government of Pakistan. Ministry of Finance (Ed.). Chapter 16: Environment: 235–246. [http://www.finance.gov.pk/survey/chapter\\_12/16-Environment.pdf](http://www.finance.gov.pk/survey/chapter_12/16-Environment.pdf) (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Petkewich R (2004): Easing traffic and air pollution in London. In: *Environmental Science and Technology* 38 (21): 408A.
- Rizwan SA, Nongkynrih B, Gupta SK (2013): Air pollution in Delhi: Its Magnitude and Effects on Health. In: *Indian Journal of Community Medicine* 38 (1): 4–8.
- Spohr F (2013): Indiens schwarze Luft. In: *Zeit ONLINE* vom 06.02.2013. <http://www.zeit.de/wirtschaft/2013-02/luftverschmutzung-indien-chandrapur> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- Streets DG, Fu JS, Jang CJ et al. (2007): Air Quality during the 2008 Beijing Olympic Games. In: *Atmospheric Environment* 41 (3): 480–492.
- Verma TS, Chimidza S, Molefhi T (2010): Study of indoor air pollution from household fuels in Gaborone, Botswana. In: *Journal of African Earth Sciences* 58 (4): 648–651.
- Walsh M (1999): The Tehran Transport Emissions Reduction Project. In: *Journal of Urban Technology* 6 (1): 47–61.
- World Urban Campaign Secretariat, UN Habitat, Morena AB, Auclair Ch: World Urban Campaign – Better city, better life. <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3305> (Abrufdatum: 14.08.2013).
- WHO Urban outdoor air pollution database (2011): [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/) (Abrufdatum: 14.08.2013)
- WHO/UNEP (1992): Urban air pollution in megacities of the world. Blackwell. Oxford.
- Wu Y, Wang R, Zhou Y et al. (2011): On-Road Vehicle Emission Control in Beijing: Past, Present, and Future. In: *Environmental Science and Technology* 45 (1): 147–153.

## Kontakt

Arno Graff  
Fachgebiet II 4.2 „Beurteilung der Luftqualität“  
Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
E-Mail: arno.graff[at]juba.de

[UBA]

# Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Feinstaub (PM<sub>10</sub>)

## Calculating environmental burdens of disease of the German population caused by particulate matter (PM<sub>10</sub>)

*Dagmar Kallweit, Dirk Wintermeyer*

### Abstract

This paper introduces a new method for calculating the population-weighted exposure to particulate matter (PM<sub>10</sub>) between 2007 and 2011, taking into consideration the entire German population. The results determined by this method will be used as a basis for calculating environmental burdens of disease (EBD) associated to PM<sub>10</sub> caused by premature mortality. Morbidity data could not be considered due to the lack of representative data for the German population. The derived EBD results in about 47,000 premature deaths per year, which corresponds to a 10-year loss of longevity per 1,000 inhabitants.

### Zusammenfassung

Der Artikel stellt eine Methode zur Bestimmung der bevölkerungsgewichteten Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Exposition für die Jahre 2007 bis 2011 vor, welche die gesamte deutsche Bevölkerung berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Expositionsschätzung sind Grundlage für die Berechnung der feinstaubbedingten Krankheitslast in Deutschland, wobei im Moment nur die Mortalität berücksichtigt wird. Repräsentative Morbiditätsdaten sind für die deutsche Bevölkerung bisher nicht frei verfügbar und können daher nicht berücksichtigt werden. Die ermittelte Krankheitslast liegt bei jährlich etwa 47.000 vorzeitigen Todesfällen in Deutschland, was einem durchschnittlichen Lebenszeitverlust von circa zehn Jahren pro 1.000 Einwohnern entspricht.

## Einleitung

Um die Luftbelastung durch Feinstaub zu senken, wurden in den letzten Jahren verschiedenste Anstrengungen unternommen, so beispielsweise in vielen Städten eine Umweltzone eingerichtet. Bei jeder dieser Maßnahmen stellt sich die Frage, wie effektiv sie gewesen ist, ob die bisherigen Richt- und Grenzwerte ausreichen oder ob Luftreinhaltemaßnahmen noch besser auf den Schutz der menschlichen Gesundheit abgestimmt und geplant werden müssen. Für die Beurteilung der Effektivität von Maßnahmen bietet sich die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) entwickelte Methode zur Schätzung umweltbedingter Krankheitslasten (Environmental Burden of Disease, EBD) an. Grundlage für die Berechnung der Krankheitslasten ist die Bestimmung der bevölkerungsgewichteten Exposition gegenüber Feinstaub (PM<sub>10</sub>) in der Außenluft. Im folgenden Beitrag wird hierzu ein innovativer Ansatz vorgestellt, mit dem die mittlere jährliche PM<sub>10</sub>-Exposition der Bevölkerung in Deutschland ermittelt und die daraus resultierenden feinstaubbedingten Auswirkungen auf die Gesundheit in Deutschland (Krankheitslast) mit Hilfe der EBD-Methode (Murray et al. 1996) geschätzt wurden.

Gestützt auf bereits veröffentlichte Forschungsergebnisse zu den gesundheitlichen Folgen durch Feinstaub können auf dieser Grundlage beispielsweise bisherige Richt- und Grenzwerte auf ihren ausreichenden Schutz für die Bevölkerung kontrolliert werden. Geplante Luftreinhaltemaßnahmen können so außerdem besser auf ihre Wirksamkeit zum Schutz der menschlichen Gesundheit der gesamten Bevölkerung inklusive besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen, wie Kranke, Kinder und Ältere, überprüft werden. Im Ergebnis führen sie zu einer Verbesserung der Lebensqualität und auch zur Senkung der Gesundheitskosten.

## Vorgehen

Der Beitrag erläutert die Berechnung der mittleren Feinstaubexpositionen für die Jahre 2007 bis 2011 flächendeckend für Deutschland im ländlichen und städtischen Hintergrundbereich. Diese wurden mit der räumlichen Verteilung der Bevölkerung verknüpft. Für die Bestimmung der bevölkerungsbasierten Exposition wurden dazu die

Bevölkerungsanteile gleicher Feinstaubkonzentrationswerte summiert und ins Verhältnis zur Gesamtbevölkerung gesetzt. Durch die Verknüpfung der räumlichen Verteilung der Feinstaubbelastung mit der Verteilung der Bevölkerungsdichte liegen im Ergebnis bevölkerungsbasierte Feinstaub-Expositionsdaten vor, die Aufschluss darüber geben, wie viel Prozent der Bevölkerung im Jahresdurchschnitt von niedrigen bis hin zu hohen Feinstaubbelastungen betroffen sind. Ferner können hoch belastete Bevölkerungsgruppen räumlich differenziert und quantifiziert werden.

Mit der EBD-Methode werden anschließend die umweltbedingten Krankheitslasten durch Feinstaub für die bisher als gesichert geltenden Gesundheitsendpunkte (akute Atemwegserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren; kardiopulmonale Erkrankungen sowie Lungenkrebskrankungen bei Erwachsenen über 30 Jahren) geschätzt.

Gemäß der EBD-Methode beschreibt die Krankheitslast den Verlust an Lebensqualität und berücksichtigt hierfür die Beeinträchtigungen der Gesundheit durch Umwelteinflüsse (hier Feinstaub) und die verlorene Lebenszeit durch vorzeitige Sterblichkeit. Die Krankheitslast wird mit der Messgröße DALY (Disability Adjusted Life Years) angegeben. DALYs sind sogenannte behinderungsberichtigte beziehungsweise in der Lebensqualität geminderte Lebensjahre, die den Verlust an Lebenszeit (Mortalität) und -qualität durch Erkrankungen (Morbidität) zusammenfassen und in der Einheit „Jahre“ angegeben werden. Bisher können DALYs nur für die durch Feinstaub vorzeitig verlorene Lebenszeit berechnet werden, da die notwendigen Erkrankungsdaten, die zur Verminderung der Lebensqualität führen, nicht vollständig verfügbar sind.

Liegen die Daten für einen längeren Zeitraum vor, kann retrospektiv die Wirksamkeit eingeleiteter umweltpolitischer Maßnahmen in Bezug auf die Expositionsänderung und die gesundheitlichen Wirkungen überprüft werden. Vorerst können über den bisher untersuchten Zeitraum nur bedingt Trendaussagen zur Veränderung der bevölkerungsgewichteten Exposition und zu den assoziierten gesundheitlichen Wirkungen getroffen werden. Auch die von Jahr zu Jahr teils stark variierenden Witterungseinflüsse wirken sich mehr oder weniger auf das Expositionsgeschehen aus. So zeigt sich beispielsweise, dass die im Jahr 2011 an Anzahl und Dauer überdurchschnittlich oft beobachteten Fein-

staubepisoden (im Vergleich zu denen in den Vorjahren 2007 bis 2010) bedeutend zur Zunahme der Feinstaubexposition der Bevölkerung im Jahr 2011 beigetragen haben (UBA 2012).

Das hier vorgestellte Verfahren eignet sich auch für Szenarioberechnungen, mit denen die Effektivität von geplanten feinstaubbezogenen Minderungsmaßnahmen geschätzt werden kann. Entscheidungsträgern im Umwelt- und Gesundheitsbereich steht so ein Handlungsinstrument zur Verfügung, das ihnen hilft, durch gezielte und planmäßige Verbesserung der Umweltsituation letztlich auch beachtliche Gewinne für die Gesundheit der Bevölkerung zu erreichen. Weitere Erläuterungen zur EBD-Methode der WHO finden sich in Conrad et al. (2009).

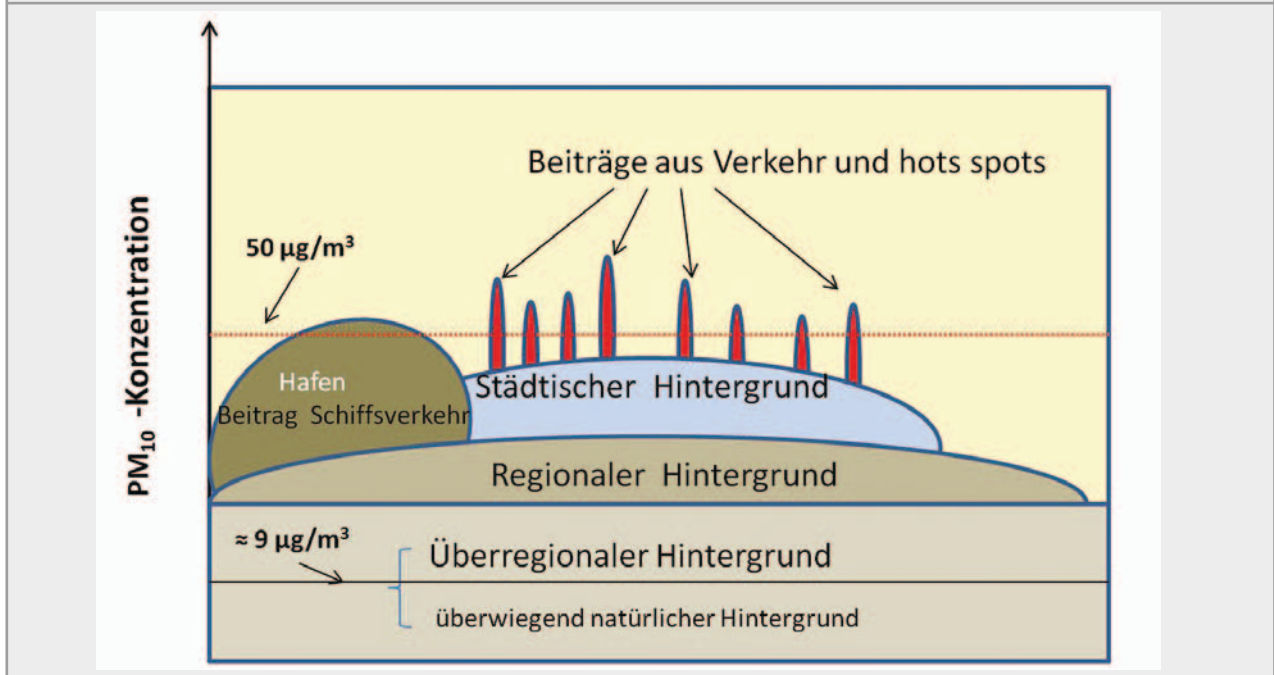
## Ermittlung der Feinstaubbelastung in der Wohnumgebung der Bevölkerung

Bisher kann die Feinstaubexposition nur in Ausnahmefällen individuell für einzelne Personen getrennt nach Aufenthaltszeiten in Innenräumen und außerhalb von Gebäuden im Freien bestimmt werden. Für große Bevölkerungsteile ist dies praktisch nicht durchführbar. Um die Belastung der Bevölkerung durch Feinstaub dennoch näherungsweise bestimmen und bewerten zu können, wird stellvertretend dafür die mittlere jährliche Feinstaubkonzentration im Wohnumfeld der dort lebenden Bevölkerung verwendet.

Grundlage für die Ermittlung der gesundheitsrelevanten Belastung der Bevölkerung durch Feinstaub sind die Feinstaub-Immissionsdaten ( $PM_{10}$ ) aus den Luftmessnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes. Diese zeigen die ländlichen und städtischen Hintergrundbelastungen in Deutschland im Jahresdurchschnitt und bilden etwa zwei Drittel der gesamten Feinstaubbelastung im städtischen Bereich ab. **Abbildung 1** verdeutlicht, dass in urbanen Gebieten ein beachtlicher Teil der lokalen Belastungsbeiträge (hier als Zusatzbelastung bezeichnet) fehlt. Diese Zusatzbelastung wird vor allem durch den Straßenverkehr und weitere lokale Feinstaubquellen hervorgerufen. Sie kann je nach Lage der Städte, Dichte der Bebauung, den vorherrschenden klimatischen Bedingungen und den vorhandenen Emissionsquellen bis zu 30 Prozent betragen.

Aus den an Messstationen in den Bundesländern gemessenen Feinstaubkonzentrationen (Punktmess-

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Zusammensetzung der städtischen Belastung durch Feinstaubbelastung. Eigene Darstellung auf der Grundlage von Lenschow et al. 2001.



daten) wird mit Hilfe von Modellen die Feinstaubkonzentration in der Fläche berechnet. Um den räumlichen Bezug zwischen der mittleren Feinstaubbelastung und der am jeweiligen Ort lebenden Bevölkerung herzustellen, wurden die Immissionsdaten der Jahre 2007 bis 2011 mit der für das Jahr 2005 vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung ermittelten räumlichen Verteilung der Bevölkerungsdichte kombiniert. Für diese Verknüpfung wurden die Feinstaub- und Bevölkerungsdaten rechnerisch transformiert und in einem einheitlichen Raster von 1 x 1 Kilometer abgebildet. Für jede Rasterzelle liegt somit ein repräsentativer Jahresmittelwert für die Feinstaubbelastung und die Zahl der dort lebenden Personen vor. Für weitere Auswertungen wurden die pro Rasterzelle berechneten Feinstaub-Mittelwerte in Belastungsklassen eingeteilt (**Tabelle 1**). Dabei entspricht die Belastungsklasse 1 mit Mittelwerten im Bereich  $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  etwa dem Niveau der natürlichen Hintergrundbelastung in Deutschland.

Anschließend wurde für jede Belastungsklasse die Summe der davon in Deutschland betroffenen Personen ermittelt (**Abbildung 2** und **Tabelle 2**). Auf dieser Grundlage zeigt sich für das Jahr 2007 für etwa 60 Prozent der deutschen Bevölkerung eine mittlere Feinstaubbelastung von über  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , was der Belastungsklasse 4 oder höher entspricht. Diese Werte liegen über dem von der WHO erklärten Richtwert zum Schutz der Gesundheit von

$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Jahr 2008 reduzierte sich dieser Überschreitungsanteil auf 31 Prozent und stieg dann in den Jahren 2009 bis 2011 wieder auf 44 Prozent an.

Der hier zu beobachtende Rückgang der Feinstaubbelastung kann zum Teil auf Minderungsmaßnahmen, wie etwa die Senkung der Feinstaubemissionen aus stationären (z. B. Industrie) und mobilen Quellen (z. B. Straßenverkehr) zurückgeführt werden. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass die von Jahr zu Jahr variierenden Witterungsbedingungen die  $\text{PM}_{10}$ -Konzentrationen merklich beeinflussen.

Tabelle 1: Einteilung der berechneten Feinstaubmittelwerte in Belastungsklassen.

Belastungsklassen	Feinstaub-Mittelwerte
Klasse 1	$< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 2	$\geq 10 < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 3	$\geq 15 < 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 4	$\geq 20 < 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 5	$\geq 25 < 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 6	$\geq 30 < 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 7	$\geq 35 < 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Klasse 8	$\geq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

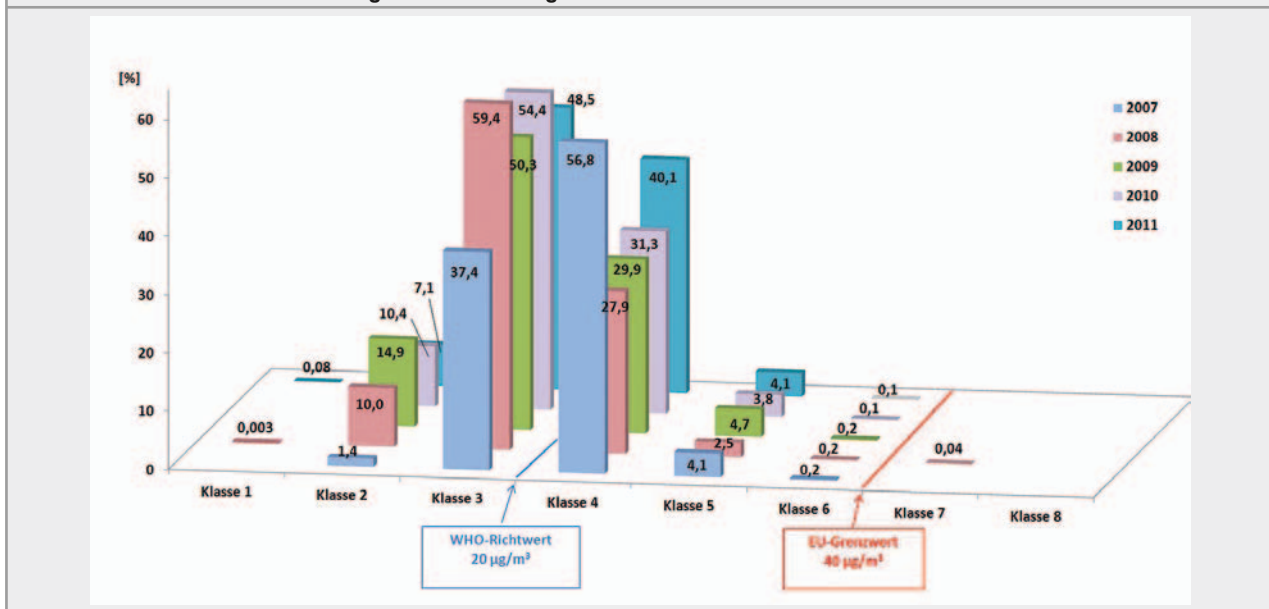
## Mittlere bevölkerungsgewichtete Feinstaubkonzentration für Deutschland

Aus der räumlichen Verteilung der Feinstaubbelastung der Bevölkerung wurde für jedes betrachtete Jahr eine durchschnittliche bevölkerungsgewichtete  $PM_{10}$ -Konzentration für Deutschland berechnet. Diese Kennzahl ist ein Indikator für die zeitliche Entwicklung der mittleren jährlichen bevölkerungsbezogenen Feinstaubbelastung in Deutschland. Bei längerer Fortschreibung der Datenreihen lassen sich hieraus Trendaussagen ableiten und man erhält Hinweise auf die Einhaltung beziehungsweise Überschreitung von Grenz- und Richtwerten für

Feinstaub in Deutschland. Die auf dieser Grundlage bisher ermittelten Indikatorwerte für die Jahre 2007 bis 2011 zeigt **Tabelle 3**.

Im Gegensatz zur hier vorgestellten Berechnung der durchschnittlichen bevölkerungsgewichteten  $PM_{10}$ -Konzentration stützen sich andere für die Beschreibung der Feinstaubbelastung der Bevölkerung verwendete Indikatoren auf die bevölkerungsgewichtete Feinstaubbelastung in einer landesspezifisch getroffenen Auswahl von Städten und repräsentieren vorwiegend die städtische Hintergrundbelastung (WHO 2011). Zu nennen ist hier beispielsweise der Indikator  $RPG3\_Air\_Ex2\_PM$  des Umwelt- und Gesundheitsindikatorensystems

**Abbildung 2: Anteile [%] der deutschen Bevölkerung in verschiedenen Feinstaubbelastungsklassen für die Jahre 2007 bis 2011 auf Basis der Bevölkerungsdichteverteilung im Jahr 2005.**



**Tabelle 2: Bevölkerungszahl (in tausend Einwohner = TEW) je Feinstaubbelastungsklasse auf Basis der Bevölkerungsdichtedaten des Jahres 2005.**

Belastungsklasse ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Betroffene (TEW) 2007	Betroffene (TEW) 2008	Betroffene (TEW) 2009	Betroffene (TEW) 2010	Betroffene (TEW) 2011
<b>Gesamtbevölkerung (2005)</b>	81.973	81.973	81.993	81.992	82.201
$\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	3	-	-	63
$\geq 10 < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1.183	8.225	12.246	8.494	5.845
$\geq 15 < 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	30.691	48.694	41.225	44.628	39.870
$\geq 20 < 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	46.554	22.834	24.501	25.646	32.955
$\geq 25 < 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	3.363	2.054	3.879	3.116	3.352
$\geq 30 < 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$	182	132	142	108	117
$\geq 35 < 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	31	-	-	-
<b>Anteil <math>&gt; 20 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>61 %</b>	<b>31 %</b>	<b>35 %</b>	<b>35 %</b>	<b>44 %</b>

Die grau unterlegten Zeilen zeigen die von Überschreitungen des WHO-Richtwertes betroffenen Bevölkerungsanteile.

Tabelle 3: Bevölkerungsgewichtete Feinstaub-Konzentration (Jahresmittel) in Deutschland, berechnet für die Jahre 2007 bis 2011 unter Verwendung der Kombination von ländlichen und städtischen Hintergrundmessdaten und Modelldaten.		
Bezugsjahr	Berücksichtigter Bevölkerungsanteil	Mittlere populationsgewichtete PM <sub>10</sub> -Konzentration in Deutschland
2007	Gesamtbevölkerung (ca. 82 Millionen Einwohner)	20,5 µg/m <sup>3</sup>
2008		18,6 µg/m <sup>3</sup>
2009		18,7 µg/m <sup>3</sup>
2010		18,9 µg/m <sup>3</sup>
2011		19,5 µg/m <sup>3</sup>
<b>Zum Vergleich: WHO-Indikator RPG3_Air_Ex2_PM: Werte für Deutschland*</b>		
2007	Etwa ein Drittel der städtischen Bevölkerung in Deutschland (ca. 20 Millionen Einwohner)	22,5 µg/m <sup>3</sup>
2008		21,0 µg/m <sup>3</sup>
2009		22,2 µg/m <sup>3</sup>
2010		22,8 µg/m <sup>3</sup>
2011		22,8 µg/m <sup>3</sup>
* Daten zum WHO-Indikator aus der ENHIS-Datenbank der WHO (2012).		

ENHIS (Environment and Health Indicator System) der WHO. Dadurch ist der direkte Vergleich dieser Indikatoren zwischen verschiedenen Ländern schwierig. Dennoch weisen die Indikatoren, obwohl sie verschiedene Bevölkerungsanteile berücksichtigen, über die Jahre eine ähnliche Entwicklung auf (Tabelle 3).

## Ermittlung der gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Feinstaub

In einem weiteren Schritt wurde das aus der bevölkerungsbasierten Expositionsbelastung resultierende durchschnittliche Gesundheitsrisiko berechnet. Dazu eignet sich das Konzept der umweltbedingten Krankheitslast (EBD). Es fußt auf dem im Auftrag der WHO entwickelten Konzept der Krankheitslast („Burden of Disease“), das seit den 1990er Jahren für die globale Beschreibung von gesundheitlichen Einschränkungen eingesetzt wird. Ziel ist hierbei, die den einzelnen Umweltfaktoren – so zum Beispiel Feinstaub – zuzuschreibende Krankheitslast für eine betrachtete Bevölkerung oder Bevölkerungsgruppe zu ermitteln (Conrad et al. 2009). Üblicherweise wird die Krankheitslast in der Messgröße DALY angegeben, die den Verlust an Lebenszeit und -qualität durch Erkrankungen beziehungsweise den vorzeitigen Tod in der Einheit „Jahre“ zusammenfasst.

In Deutschland sind derzeit nur die für die Erfassung der durch Feinstaub verlorenen Lebenszeit nö-

tigen Gesundheitsdaten verfügbar. Ihre Berechnung basiert auf den ermittelten bevölkerungsgewichteten Daten zur Feinstaubexposition in Deutschland und berücksichtigt die folgenden Todesursachen:

### Kurzzeitbelastung durch PM<sub>10</sub>:

- Mortalität infolge akuter Atemwegserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren

### Langzeitbelastung durch PM<sub>10</sub>:

- Mortalität infolge kardiopulmonaler Erkrankungen bei Erwachsenen über 30 Jahren und
- Mortalität infolge von Lungenkrebs bei Erwachsenen über 30 Jahren.

Für die Berechnung der mit Feinstaub assoziierten DALYs wurden zusätzlich statistische Basisdaten aus der Gesundheitsberichterstattung des Bundes verwendet. Konkret wurden für die Jahre 2007 bis 2011 die Sterbefallzahlen für die oben genannten Todesursachen herangezogen. Für die Berechnung der hier vorgestellten feinstaubbezogenen Krankheitslasten wurde die Standardlebenserwartung für die Bevölkerung in Deutschland verwendet (Statistisches Bundesamt).

Die Tabellen 4 bis 6 zeigen für die Jahre 2007 bis 2011 die umweltbedingten Krankheitslasten, die mit der geschätzten Feinstaubbelastung einhergehen (angegeben in feinstaubbedingten Sterbefällen und DALYs).



Für die Berechnungen wurde eine unvermeidbare natürliche Basiskonzentration von  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{PM}_{10}$  angenommen, die der niedrigsten in Deutschland gemessenen Feinstaubkonzentration in dem betrachteten Zeitraum entspricht. Damit bleibt bewusst ein Teil der Feinstaubexposition vornehmlich aus natürlichen Quellen unberücksichtigt, da in diesem Konzentrationsbereich keine weitere Reduzierung der Feinstaubbelastungen möglich ist. Grundsätzlich gilt, dass gesundheitliche Effekte sowohl bei Langzeitexposition als auch bei Exposition gegenüber kurzzeitigen Belastungsspitzen von Feinstaub auftreten können. Da bisher keine Wirkungsschwellen bekannt sind, folgt daraus, dass auch mittlere  $\text{PM}_{10}$ -Konzentrationen unterhalb von  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  einen negativen Einfluss auf die Gesundheit haben können. Dies gilt grundsätzlich für die gesamte Bevölkerung, besonders aber für Risikogruppen, wie ältere Menschen, Personen mit Vorerkrankungen der Atemwege und Kleinkinder.

Für die betrachteten Erkrankungen können in Deutschland jährlich im Durchschnitt circa 47.000

vorzeitige Todesfälle auf die Exposition gegenüber Feinstaub zurückgeführt werden. Dies entspricht einem Verlust von circa zehn Lebensjahren pro 1.000 Einwohner.

Die Folgen der Langzeit-Exposition gegenüber Feinstaub verursachen bei weitem den größten Anteil der Krankheitslast. So bewegt sich nach den vorliegenden Berechnungen bei Erwachsenen über 30 Jahren der durch Feinstaub bedingte Anteil aller kardiopulmonalen Sterbefälle im Bereich von etwa 12,5 bis 14 Prozent. Entsprechend sind circa 13 bis 15 Prozent der Sterbefälle durch Lungenkrebs dem Feinstaub zuzuschreiben.

## Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse liefern wichtige Informationen zur Verteilung und Quantifizierung

**Tabelle 4: Kurzzeitexposition gegenüber Feinstaub in den Jahren 2007 bis 2011: Berechnete Mortalität infolge von akuten Atemwegserkrankungen bei Kindern unter 5 Jahren.**

Jahr	Berechnete feinstaubbedingte Sterbefälle	Feinstaubbedingte Anteile an Sterbefällen in Prozent	Vorzeitig verlorene Lebensjahre (DALYs)
2007	0,8	2,2	60
2008	0,8	1,9	61
2009	0,7	1,9	56
2010	0,4	2,0	34
2011	0,6	2,1	51

**Tabelle 5: Langzeitexposition gegenüber Feinstaub in den Jahren 2007 bis 2011: Berechnete Mortalität infolge von kardiopulmonalen Erkrankungen bei Erwachsenen über 30 Jahren.**

Jahr	Berechnete feinstaubbedingte Sterbefälle	Feinstaubbedingte Anteile an Sterbefällen in Prozent	Vorzeitig verlorene Lebensjahre (DALYs)
2007	42.612	13,8	464.968
2008	38.130	12,5	413.203
2009	38.637	12,5	417.880
2010	38.512	12,6	414.790
2011	38.742	13,1	417.101

**Tabelle 6: Langzeitexposition gegenüber Feinstaub in den Jahren 2007 bis 2011: Berechnete Mortalität infolge von Lungenkrebs bei Erwachsenen über 30 Jahren.**

Jahr	Berechnete feinstaubbedingte Sterbefälle	Feinstaubbedingte Anteile an Sterbefällen in Prozent	Vorzeitig verlorene Lebensjahre (DALYs)
2007	8.293	20,0	139.480
2008	7.658	18,1	129.646
2009	7.647	18,1	129.356
2010	7.883	18,3	131.983
2011	8.316	18,9	139.870

von gesundheitsgefährdenden Umweltbelastungen durch Feinstaub in der deutschen Bevölkerung anhand der bisher als gesichert geltenden Expositions-Wirkungsbeziehungen. Sie helfen, die Planung und Durchsetzung von effektiven umweltpolitischen und gesundheitspolitischen Entscheidungen zur Verbesserung der Belastungssituation, aber auch für einen besseren Schutz der Gesundheit der Bevölkerung, fachgerecht und integrativ anzugehen. Dies gilt ebenso für die Erfolgskontrolle bereits eingeleiteter gesundheitspolitischer Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung. Die Arbeiten an den hier vorgestellten Indikatoren (bevölkerungsbasierte Feinstaubexposition und feinstaubbedingte Krankheitslasten) werden weiter verfolgt. Die jährliche Weiterführung der bisher angelegten Datenreihe für die bevölkerungsbasierte Feinstaubexposition ist vorgesehen. Zusätzlich in Planung ist die Einbeziehung auch der verkehrsbedingten Feinstaub-Emissionen entlang stark befahrener Straßenzüge speziell in Ballungsräumen.

## Literatur

Conrad A, Rappolder M, Hornberg C et al. (2009): Wie krank macht uns unsere Umwelt? Bestimmung und Vergleich gesundheitlicher Belastungen durch Umweltfaktoren. In: UMID 02(2009): 5–8.

Lenschow P, Abraham HJ, Kutzner K et al. (2001): Some ideas about the sources of PM10. In: Atmospheric Environment 35. Supplement 1: S23–S33.

Murray CJ, Lopez A D: The Global Burden of Disease (1996): a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020. Cambridge, MA, Harvard School of Public Health. Global Burden of Disease and Injury Series. Vol. I.

Statistisches Bundesamt: Lebenserwartung in Deutschland. Durchschnittliche und fernere Lebenserwartung nach ausgewählten Altersstufen. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Sterbefaelle/Tabellen/LebenserwartungDeutschland.html> (Abrufdatum: 15.11.2013).

UBA 2012: Luftqualität 2011. Feinstaubepisoden prägen das Bild. Hintergrundpapier. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2011> (Abrufdatum: 15.11.2013).

WHO (2012): ENHIS Database. Indicator 3.3: Exposure to particulate matter in outdoor air. World Health Organization. <http://www.enhis.org/> (Abrufdatum: 21.10.2013).

WHO (2011): Environment and Health Information System (ENHIS). Exposure to air pollution (particulate matter) in outdoor air. Fact sheet 3.3. July 2011. Code: RPG3\_Air\_Ex2. World Health Organization. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0018/97002/ENHIS\\_Factsheet\\_3.3\\_July\\_2011.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/97002/ENHIS_Factsheet_3.3_July_2011.pdf) (Abrufdatum: 15.10.2013).

## Kontakt

Dr. Dagmar Kallweit  
Umweltbundesamt  
Fachgebiet: II 1.6 „Expositionsschätzung,  
gesundheitsbezogene Umweltindikatoren“  
Corrensplatz 1  
14195 Berlin  
E-Mail: [dagmar.kallweit\[at\]uba.de](mailto:dagmar.kallweit[at]uba.de)

[UBA]

# Antibiotikaresistenz bei kommensalen *E. coli* in der Tiermast – eine Übersicht

## Antimicrobial resistance in commensal bacteria in animal meat production

*Annemarie Käsbohrer, Beatriz Guerra, Bernd-Alois Tenhagen, Armin Weiser, Reiner Helmuth, Bernd Appel, Andreas Schroeter*

### Abstract

On the basis of a representative sample from animals and food in the national resistance monitoring program *E. coli* isolates are tested using standardised methods for antimicrobial resistance and evaluated on the basis of epidemiological cut off values. Results from the years 2009 to 2012 highlight the frequent presence of resistant commensal *E. coli* from livestock animals. The highest resistance rates were detected in isolates from broilers and fattening turkeys, followed by fattening pigs and veal calves. The same situation can be observed in the food samples. In fattened bovines, resistance rates were decreasing with increasing age. Resistance in *E. coli* is considered an indicator for selection pressure by antimicrobial agents. Exposure of humans to these bacteria is considered a public health issue which needs the development or enhancement of mitigation measures.

### Zusammenfassung

Anhand repräsentativer Stichproben von Tieren und Lebensmitteln werden im bundesweiten Resistenzmonitoring nach standardisierten Verfahren *E. coli*-Isolate auf ihre Resistenzen untersucht und anhand epidemiologischer Cut-Off-Werte bewertet. Die Ergebnisse für die Jahre 2009 bis 2012 verdeutlichen das häufige Vorkommen antibiotikaresistenter kommensaler *E. coli* bei landwirtschaftlichen Nutztieren. Die höchsten Resistenzraten wurden bei Isolat von Masthähnchen und Mastputen beobachtet, gefolgt von Mastschweinen und Mastkälbern. In der Rindermast nehmen die Resistenzraten mit zunehmendem Alter der Tiere ab. Dieses Bild spiegelt sich auch in den Lebensmitteln wieder. Die Resistenzlage bei kommensalen *E. coli* gilt als Indikator für den Selektionsdruck gegenüber antimikrobiellen Substanzen. Die Exposition des Menschen gegenüber diesen Keimen kann ein Problem für den gesundheitlichen Verbraucherschutz darstellen und bedarf der Entwicklung beziehungsweise Verstärkung von Handlungsstrategien.

## Einleitung und Hintergrund

2013 wurde die 16. Novelle des Arzneimittelgesetzes nach intensiver Diskussion verabschiedet. Diese sieht vor, dass bei Nutztierbeständen für die Mast eine vollständige Erfassung der Antibiotikaaanwendung erfolgt und die Therapiehäufigkeit errechnet wird. Dies ermöglicht, dass jeder Betrieb seine Anwendungshäufigkeit mit einem Durchschnittswert vergleichen und so selbst einschätzen kann. Zudem ist die Rechtsgrundlage geschaffen worden, um in bestimmten Fällen amtliche Maßnahmen zur Reduktion des Antibiotikaeinsatzes zu ergreifen.

Hintergrund hierfür ist, dass in Deutschland, wie in anderen Ländern der EU, zunehmend Probleme bei der Therapie von Infektionskrankheiten beim Menschen beschrieben werden, die durch resis-

tente Bakterien verursacht werden. Im Bericht zu den Antibiotikaresistenzen im Jahr 2011 des Europäischen Zentrums für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (ECDC) wurde auf die besonders besorgniserregende Zunahme von kombinierten Resistenzen (Resistenz gegen Cephalosporine der dritten Generation, Fluorquinolone und Aminoglykoside) bei *Escherichia (E.) coli* und *Klebsiella (K.) pneumoniae* hingewiesen. Der hohe und weiter ansteigende Prozentsatz kombinierter Resistenzen bei *K. pneumoniae* bringt es mit sich, dass für einige Patienten mit lebensbedrohlichen Infektionen nur noch wenige therapeutische Optionen zur Verfügung stehen, zum Beispiel Carbapeneme. Die Tatsache, dass die Resistenz gegenüber Carbapenemen seit 2010 in einigen Ländern

jedoch weiter zugenommen hat, verschlimmert die therapeutische Situation erheblich (ECDC 2012).

Der Bewertung des Eintrags von resistenten Mikroorganismen aus der Tierhaltung nach beruflicher Exposition oder über die Lebensmittelkette in die Allgemeinbevölkerung und in die verschiedenen Gesundheitseinrichtungen wird eine hohe Bedeutung beigemessen (EFSA 2008). Um aber die reale Bedeutung dieser Risiken abschätzen und gegebenenfalls geeignete Managementmaßnahmen einleiten zu können, ist eine valide Datenbasis erforderlich. In der Europäischen Union wurde mit der Richtlinie 2003/99/EG eine rechtliche Grundlage für ein EU-weites Resistenzmonitoring im Veterinärbereich geschaffen, dessen Durchführung durch die Entscheidung 2007/407/EG und deren Folgeentscheidung weiter präzisiert wurde. Dieses Monitoring ergänzt die bisherigen Erkenntnisse, die über viele Jahre anhand der Untersuchung von Isolaten aus diagnostischen Untersuchungen und der amtlichen Überwachung gewonnen werden konnten.

## Methodik

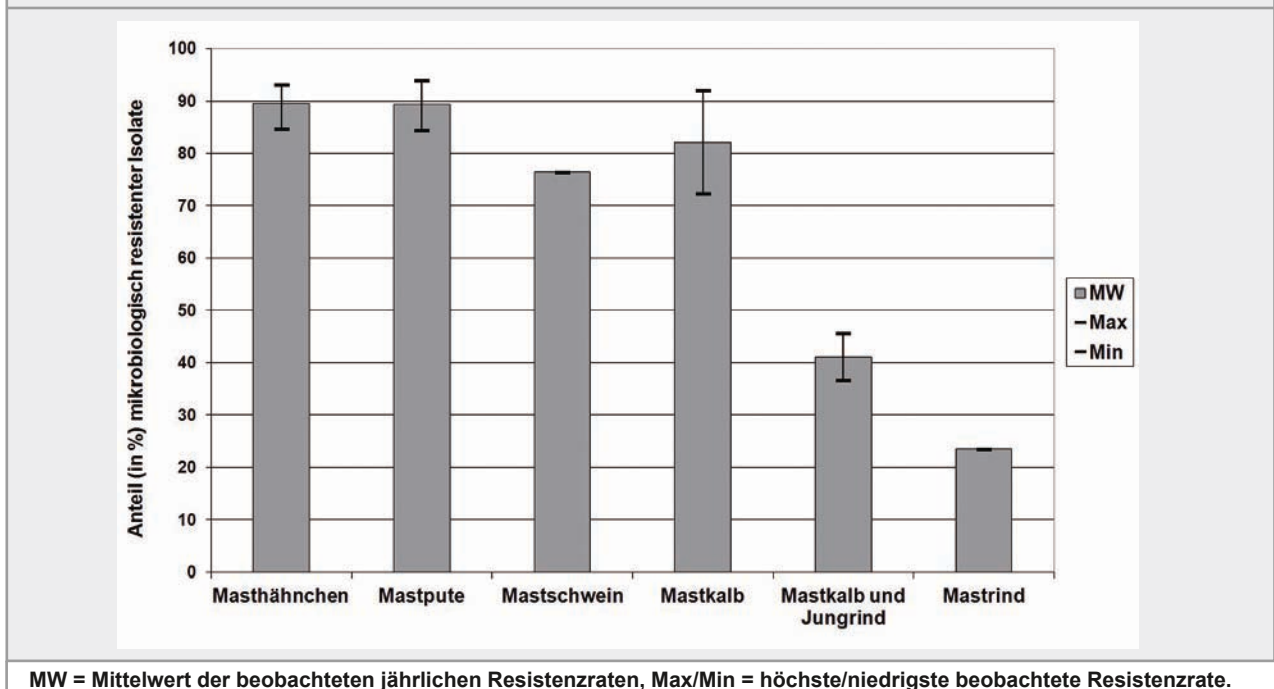
Seit 2009 wird jährlich ein bundesweites Zoonosen- und Resistenzmonitoring durchgeführt (Käsbohrer et al. 2012). Übergreifendes Ziel ist, eine

umfassende Bewertung der Entwicklungstendenzen von Zoonosen und Zoonoseerregern einschließlich Antibiotikaresistenzen sowie der Quellen von Erkrankungen des Menschen vornehmen zu können. Basierend auf den gewonnenen Daten werden Bewertungen der Risiken durchgeführt und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Das bundesweite Zoonosen- und Resistenzmonitoring ermöglicht seit 2009, repräsentative Daten zur Resistenzsituation bei Zoonoseerregern und Kommensalen entlang der gesamten Lebensmittelkette zu gewinnen. Rechtsgrundlage dafür ist die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Erfassung, Auswertung und Veröffentlichung von Daten zum Auftreten von Zoonosen und Zoonoseerregern entlang der Lebensmittelkette (AVV Zoonosen Lebensmittelkette)“ vom 18. Juli 2008. Die AVV basiert auf der Richtlinie 2003/99/EG zur Überwachung von Zoonosen und Zoonoseerregern. Danach sind die Mitgliedstaaten der EU verpflichtet, repräsentative und vergleichbare Daten über das Auftreten von Zoonosen und ihren Erregern sowie diesbezüglicher Antibiotikaresistenzen in Lebensmitteln, Futtermitteln und lebenden Tieren zu erfassen, auszuwerten und zu veröffentlichen.

Für das Zoonosen-Monitoring werden in einer repräsentativen Stichprobe aus den wichtigsten

Abbildung 1: Resistenzraten bei kommensalen *E. coli* von wichtigen Lebensmittel liefernden Masttierarten. Proben von Kot oder Darminhalt wurden im landwirtschaftlichen Betrieb oder am Schlachthof im Rahmen des Zoonosen-Monitorings entnommen. Quelle: BfR.



Lebensmittelketten, also den Nutztierbeständen (Huhn, Pute, Schwein, Rind) und dem hieraus gewonnenen Fleisch, nach standardisierten Verfahren Proben entnommen, *E. coli* isoliert und im Hinblick auf die Resistenzeigenschaften untersucht (Käsbohrer et al. 2012; Schroeter, Käsbohrer 2012). Die ermittelten minimalen Hemmkonzentrationen (MHK-Werte) werden, wie von der EFSA empfohlen und im Gemeinschaftsrecht (Entscheidung 2007/407/EG) festgelegt, anhand epidemiologischer Cut-Off-Werte bewertet und als Anteil mikrobiologisch resistenter Keime dargestellt. Die Cut-Off-Werte ermöglichen das frühzeitige Erkennen von Resistenzen, häufig noch bevor die Erreger therapieresistent sind.

Im Zeitraum 2009 bis 2012 wurden bei den Tierarten mit hohem Produktionsanteil mindestens einmal Untersuchungen bei den Tieren sowie im frischen Fleisch hinsichtlich des Vorkommens von Antibiotikaresistenzen bei kommensalen *E. coli* durchgeführt. Sind Untersuchungen wiederholt in mehreren Jahren durchgeführt worden, so wird nachfolgend der Mittelwert sowie der Schwankungsbereich der einzelnen Prävalenzen angegeben. Ein Erreger wurde als mikrobiologisch resistent bezeichnet, wenn der 2013 verfügbare epidemiologische Cut-Off-Wert (www.eucast.org; Abrufdatum: 04.11.2013) für mindestens eine der sieben getesteten Wirkstoffklassen (Aminoglyko-

side, Amphenicole, Cephalosporine, Chinolone, Aminopenicilline, Tetrazykline, Folatsynthesehemmer) überschritten wurde.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse des jährlichen Resistenzmonitorings bei kommensalen *E. coli* der Jahre 2009 bis 2012 verdeutlichen das häufige Vorkommen antibiotikaresistenter Bakterien bei landwirtschaftlichen Nutztieren, lassen aber auch Unterschiede erkennen (**Abbildung 1**). Die höchsten Resistenzraten wurden bei Isolaten von Masthähnchen und Mastputen beobachtet, aber auch bei Mastschweinen und Mastkälbern waren resistente Keime sehr häufig. Bei Rindern fällt eine deutliche Altersabhängigkeit auf. Isolate von Mastrindern (bis 24 Monate) weisen im Vergleich zu jüngeren Rindern eine deutlich geringere Resistenzrate auf. Mastkälber (bis 8 Monate) zeigen sehr häufig Resistenzen, die kombinierte Gruppe „Mastkälber und Jungrinder“ (bis 12 Monate) nimmt hierbei eine Mittelstellung ein.

Dieses Bild spiegelt sich auch in den Lebensmitteln wieder. **Abbildung 2** verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den Resistenzraten bei kommensalen *E. coli*-Isolaten vom Tier und vom frischen Fleisch. Kommensale *E. coli*-Isolate von Rindfleisch weisen deutlich geringere Resistenzraten

**Abbildung 2: Korrelation der Resistenzrate bei Isolaten von kommensalen *E. coli* von Tieren und jeweils von dieser Tierart und Nutzungsrichtung gewonnenen Lebensmitteln (frisches Fleisch). Quelle: BfR.**

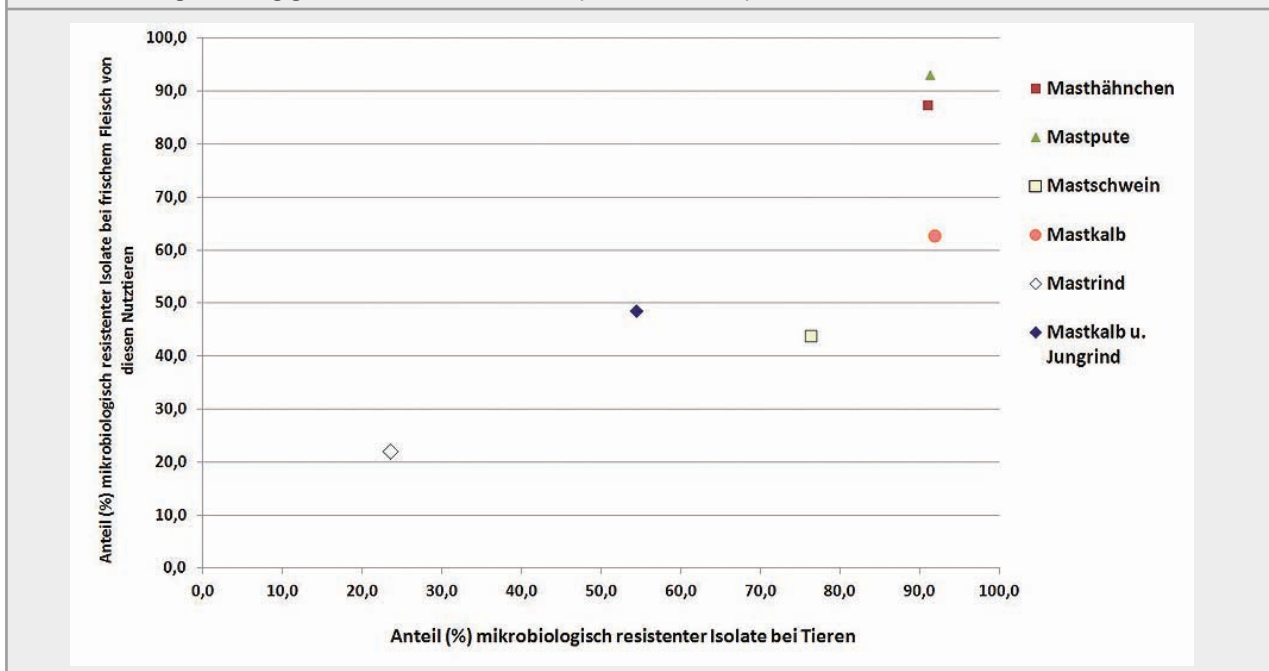


Abbildung 3: Resistenzen gegen Wirkstoffklassen bei kommensalen *E. coli* in der Puten- und Kalbfleisch-/Jungrindfleischkette in 2012. Anzahl der Wirkstoffklassen, gegen welche die Isolate resistent waren. Proben von Kot wurden im landwirtschaftlichen Betrieb, Darminhalt am Schlachthof und frisches Fleisch im Einzelhandel entnommen. Quelle: BfR.

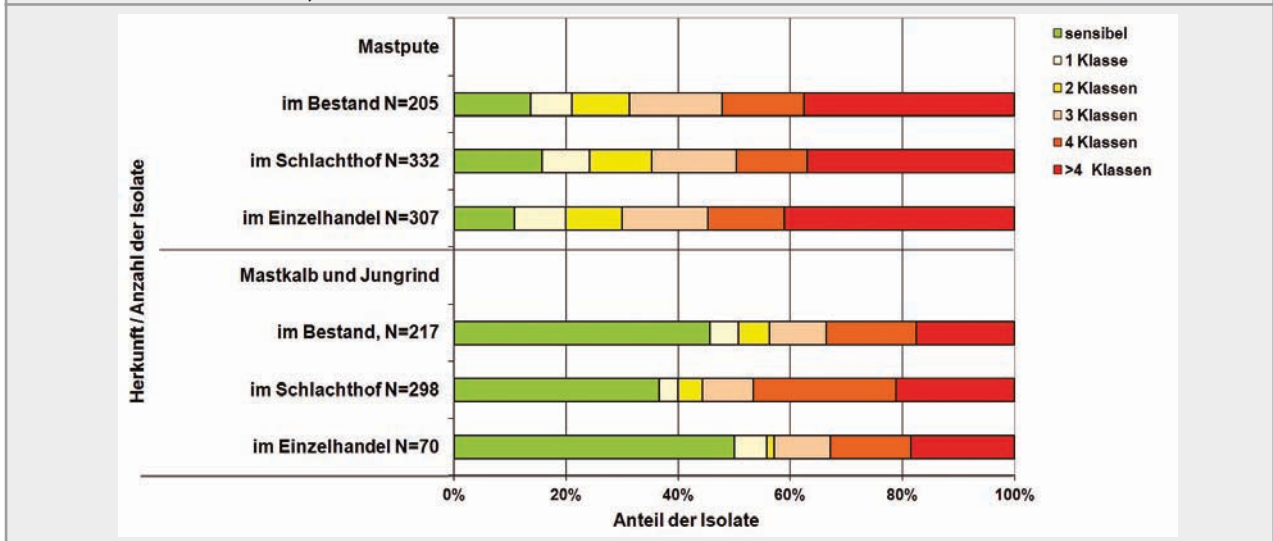
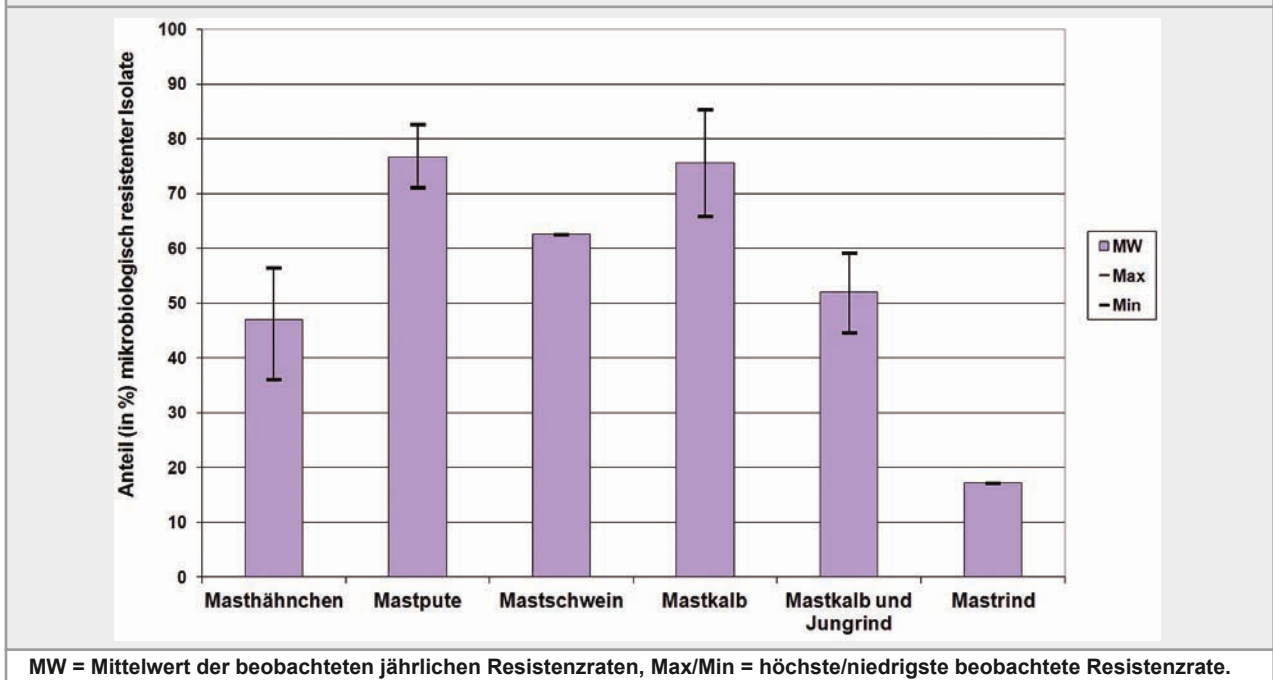


Abbildung 4: Resistenzraten gegen Tetracycline bei kommensalen *E. coli* von wichtigen Lebensmittel liefernden Tierarten. Proben von Kot oder Darminhalt wurden im landwirtschaftlichen Betrieb oder am Schlachthof entnommen. Quelle: BfR.

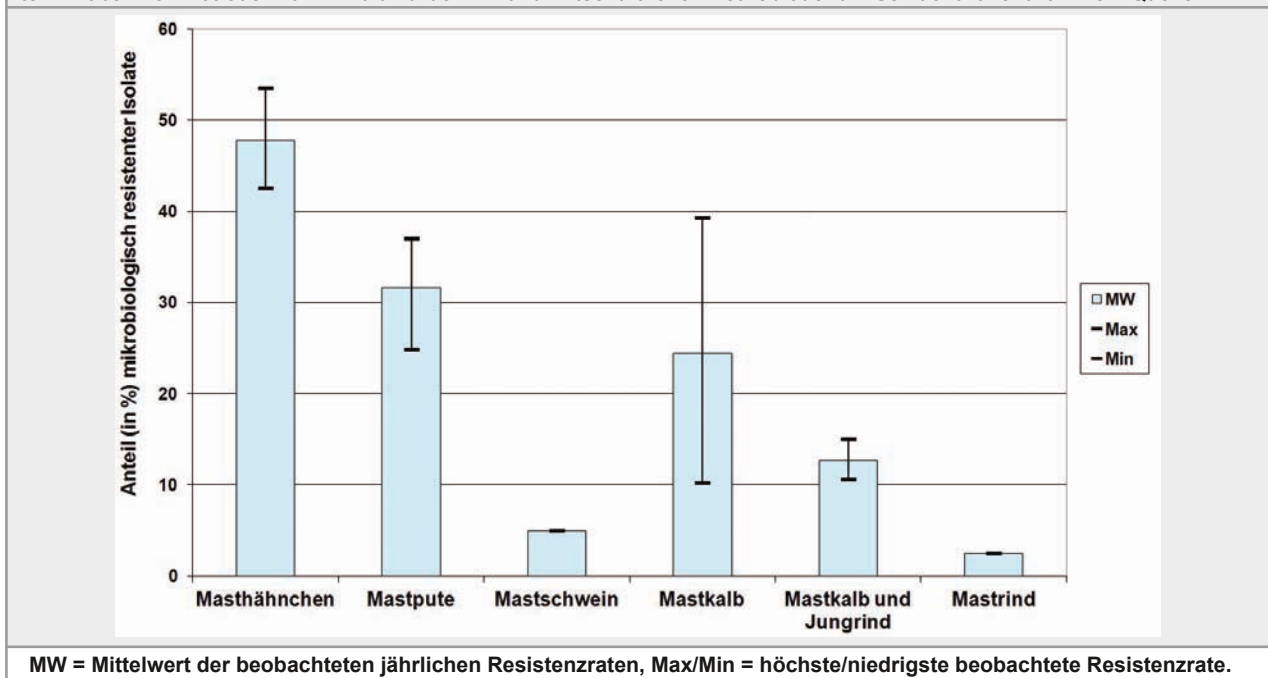


auf als solche aus Hähnchenfleisch, Putenfleisch, Schweinefleisch und Kalbfleisch.

Bei einer Vielzahl der untersuchten Isolate werden Resistenzen gegen mehrere Wirkstoffklassen gefunden, das heißt diese Isolate sind mehrfach- oder gar multiresistent. **Abbildung 3** verdeutlicht die Ergebnisse entlang der Lebensmittelkette Putenfleisch und Mastkalb-/Jungrindfleisch, die schwerpunktmäßig im Jahr 2012 untersucht worden

waren. Die Isolate von Tieren im Tierbestand, am Schlachthof sowie dem Fleisch im Einzelhandel zeigen weitgehend vergleichbare Resistenzmuster. Beobachtete Unterschiede verdeutlichen aber auch, dass zusätzliche Kontaminationsquellen entlang der Prozesskette von Bedeutung sein können und dass gegebenenfalls auch Schlachttiere und Fleisch aus anderen Herkünften beprobt wurden.

Abbildung 5: Resistenzraten gegen (Fluor)chinolone bei kommensalen *E. coli* von wichtigen Lebensmittel liefernden Tierarten. Proben von Kot oder Darminhalt wurden im landwirtschaftlichen Betrieb oder am Schlachthof entnommen. Quelle: BfR.



Resistenzen gegen Tetracycline, einer der am häufigsten eingesetzten Wirkstoffgruppe, wurden häufig beobachtet (**Abbildung 4**). Allerdings zeigen sich auch Unterschiede zwischen den Tierarten. Die höchsten Resistenzraten wurden bei der Mastpute und bei Mastkälbern beobachtet. Die bei Masthähnchen auffällig geringere Resistenzrate spiegelt Erkenntnisse zur Antibiotikaaanwendung wieder. In der Studie VetCab war gezeigt worden, dass Tetracycline nur in sehr geringem Umfang bei Masthähnchen eingesetzt werden (van Rennings et al. 2013).

Die Resistenzraten gegen das Fluorchinolon Ciprofloxacin bei kommensalen *E. coli*-Isolaten zeigen ein deutlich heterogeneres Bild (**Abbildung 5**). Die höchsten Resistenzraten wurden bei Mastputen und Hähnchen beobachtet. Bei Rindern konnte hingegen eine deutliche Veränderung in Abhängigkeit vom Alter der Tiere beobachtet werden. Während kommensale *E. coli*-Isolate von Mastkälbern relativ häufig Ciprofloxacin-resistent waren, wiesen kommensale *E. coli* der Altersgruppe Mastkälber und Jungrinder geringere Resistenzraten und die der Mastrinder die geringsten Resistenzraten auf. Auch beim Mastschwein wurden sehr geringe Resistenzraten gegen Fluorchinolone beobachtet, was die seltene Anwendung dieser Wirkstoffklasse bei Schweinen reflektiert (van Rennings et al. 2013).

## Fazit

Die Resistenzlage bei kommensalen *E. coli* von Tieren gilt als Indikator für die Exposition der jeweiligen Tierpopulation gegenüber antimikrobiellen Substanzen und den damit einhergehenden Selektionsdruck. Neben der Möglichkeit der direkten Übertragung der jeweiligen Keime auf den Menschen und anschließender Besiedlung des Darms stellen die Erreger auch ein Reservoir für Resistenzdeterminanten dar, die auch horizontal und/oder vertikal zu anderen Keimen derselben oder anderer Spezies weitergegeben werden können. Zusätzliche, bisher wenig verstandene Faktoren tragen dann dazu bei, wenn solche Keime eine Infektion des Menschen auslösen. Die Exposition des Menschen gegenüber diesen Keimen stellt somit ein Problem für den gesundheitlichen Verbraucherschutz dar und bedarf der Entwicklung beziehungsweise Verstärkung von Handlungsstrategien.

Die dargestellten Ergebnisse der Jahre 2009 bis 2012 verdeutlichen erhebliche Unterschiede in der Resistenzsituation zwischen den Herkünften. Insgesamt wurden in Deutschland im Zeitraum 2009 bis 2012 hohe Resistenzraten bei kommensalen *E. coli* in der Lebensmittelkette beobachtet. Im Bericht der EFSA zur Situation im Jahr 2011 wird ebenfalls auf recht hohe Resistenzraten in mehreren Mitgliedstaaten der EU hingewiesen (EFSA

2013). Die deutschen Ergebnisse bestätigen auch Erkenntnisse aus der Überwachung. Im Zeitraum 2000–2008 waren von 33.625 Salmonella-Isolaten 48 Prozent resistent gegen mindestens eine und 35 Prozent sogar resistent gegen mehr als eine Antibiotikaklasse. Auch hier waren die höchsten Resistenzraten gegenüber den häufigsten eingesetzten Wirkstoffklassen sowie gegen Fluorchinolone beschrieben worden (Schroeter, Käsbohrer 2010). Die Auswertung der Daten für das Jahr 2009 machte die Fortsetzung dieses Trends deutlich (Schroeter, Käsbohrer 2012).

Um eine weitere Zunahme von Resistenzen zu verhindern, sollte der Antibiotika-Einsatz nach Auffassung des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) sowohl in der Human- als auch in der Veterinärmedizin auf das unbedingt notwendige Maß begrenzt werden. Mit Durchführung der mit der 16. Arzneimittelgesetz-Novelle geschaffenen Instrumente kann dieser Einsatz sowie die Reduktion gemessen werden. Zusammen mit der kontinuierlichen Überwachung der Resistenzentwicklung bei Krankheitserregern und bei Bakterien der Darmflora können dann die Risiken bewertet werden. Diese Überwachung, aber auch Maßnahmen zur Minimierung des Antibiotikaeinsatzes bei Tieren und in der Lebensmittelkette, sind Bestandteil der „Deutschen Antibiotikaresistenzstrategie“ (DART) der Bundesregierung.

## Literatur

ECDC (2012): European Centre for Disease Prevention and Control. Antimicrobial resistance surveillance in Europe 2011. Annual Report of the European Antimicrobial Resistance Surveillance Network (EARS-Net). Stockholm.

EFSA (2013): The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Food-borne Outbreaks in 2011. In: EFSA-Journal 11(4): 3129.

EFSA (2008): European Food Safety Authority. Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards on a request from the European Food Safety Authority on food-borne antimicrobial resistance as a biological hazard. In: The EFSA Journal 765: 1–87.

Käsbohrer A, Schroeter A, Tenhagen B-A et al. (2012): Emerging antimicrobial resistance in commensal *Escherichia coli* with public health relevance. In: Zoonoses and Public Health 59 Suppl 2: 158–165.

Schroeter A, Käsbohrer A (2012): Deutsche Antibiotikaresistenz-Situation in der Lebensmittelkette – DARLink 2009. BfR-Wissenschaft 5/2012. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). Berlin. <http://www.bfr.bund.de/cm/350/deutsche-antibiotika-resistenzsituation-in-der-lebensmittelkette-darlink-2009.pdf> (Abrufdatum: 04.11.2013).

Schroeter A, Käsbohrer A (2010): Deutsche Antibiotika-Resistenzsituation in der Lebensmittelkette – DARLink. BfR-Wissenschaft 12/2010. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). Berlin. [http://www.bfr.bund.de/cm/238/deutsche\\_antibiotika\\_resistenzsituation\\_in\\_der\\_lebensmittelkette\\_darlink.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/238/deutsche_antibiotika_resistenzsituation_in_der_lebensmittelkette_darlink.pdf) (Abrufdatum: 04.11.2013).

van Rennings L, von Münchhausen Ch, Honscha W, Otilie H, Käsbohrer A, Kreienbrock L (2013): Repräsentative Verbrauchsmengenerfassung von Antibiotika in der Nutztierhaltung – Kurzbericht über die Ergebnisse der Studie „VetCAB-Pilot“. Fachinformation (Stand: 9. Juli 2013). <http://www.vetcab.de> (Abrufdatum: 04.11.2013).

## Kontakt

Dr. Annemarie Käsbohrer  
Bundesinstitut für Risikobewertung  
Fachgruppe Epidemiologie und Zoonosen  
Nationales Referenzlabor für Antibiotikaresistenz  
Diedersdorfer Weg 1  
12277 Berlin  
E-Mail: [Annemarie.Kaesbohrer\[at\]bfr.bund.de](mailto:Annemarie.Kaesbohrer[at]bfr.bund.de)

[BfR]



# Akkumulation von Perfluoralkylsäuren (PFAAs) in essbaren Geweben landwirtschaftlicher Nutztiere

## Accumulation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in edible tissues of livestock species

*Janine Kowalczyk, Helmut Schafft, Heide-Marie Lochotzke*

### Abstract

Perfluoroalkyl acids (PFAAs) are industrial chemicals with adverse effects on the health of humans and animals. The persistent compounds are bioaccumulative and toxic for humans and animals. Both are mainly exposed to PFAAs via contaminated food and drinking water. Until now, hardly is known about the mechanism of the PFAA transfer in the food chain (plant – animal – food – consumer). Therefore, feeding studies on livestock species were performed at the Federal Institute for Risk Assessment (BfR) to estimate the extent to which PFAAs can be found in food of animal origin when animals were exposed to PFAA-contaminated feed. Furthermore the data should constitute the basis to assess consumer exposure.

### Zusammenfassung

Perfluoralkylsäuren (PFAAs) sind Industriechemikalien, die sich nachteilig auf die Gesundheit von Mensch und Tier auswirken können. Die persistenten Verbindungen gelten als bioakkumulativ und toxisch und werden von Mensch und Tier in erster Linie über kontaminierte Nahrungsmittel und Trinkwasser aufgenommen. Bislang gibt es kaum Erkenntnisse über die Mechanismen des Transfers von PFAAs in der Nahrungskette (Pflanze – Tier – Lebensmittel – Mensch). Um die Datenlage zu verbessern, wurden daher am Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) Fütterungsversuche an landwirtschaftlichen Nutztieren durchgeführt mit dem Ziel, im Falle einer unerwünschten PFAA-Exposition landwirtschaftlicher Nutztiere auf die Gehalte an PFAAs in den von ihnen stammenden Lebensmitteln und darüber hinaus auf die Exposition des Verbrauchers schließen zu können.

## Einleitung und Hintergrund

Perfluoralkylsäuren (PFAAs), oft auch bezeichnet als perfluorierte Chemikalien oder Tenside (PFC bzw. PFT), sind industriell hergestellte Substanzen, die aus einer vollständig mit Fluor besetzten Kohlenstoffkette (C-F) sowie einer endständigen funktionellen Gruppe (z. B. Carboxylat, Sulfonat) bestehen. Zwischen den Kohlenstoff- und Fluoratomen besteht eine extrem starke Bindung, weshalb PFAAs äußerst stabil sind gegenüber biologischen, chemischen und thermischen Abbauprozessen. Zudem sind PFAAs, vermittelt durch die hydrophobe C-F-Kette und die hydrophile Endgruppe, oberflächenaktive Substanzen mit wasser-, schmutz- und fettabweisenden Eigenschaften. Aufgrund dieser einzigartigen technologischen Eigenschaften werden PFAAs und ihre strukturverwandten Verbindungen in vielfältigen industriellen Prozessen und verbrauchernahen Produkten (z. B. Textil- und Papierindustrie, Fotoindustrie, Luftfahrt, Galvanik, Herstellung von Fluorpolymeren) verwendet (Buck et al. 2011).

Die technisch vorteilhaften Eigenschaften haben aber auch unerwünschte Folgen für Mensch und Umwelt. Beispielsweise führte die vielfältige Verwendung der PFAAs und deren Fähigkeit, sich in organischer Matrix anzureichern, zu einer ubiquitären Verbreitung in der Umwelt, die sich sowohl in den PFAA-Konzentrationen verschiedenster Wildtiere (Giesy, Kannan 2001) als auch des Menschen widerspiegelt (Fromme et al. 2009).

Die toxikologisch am besten untersuchten Verbindungen sind die Perfluorooctansäure (PFOA) und die Perfluorooctansulfonsäure (PFOS). Beide Verbindungen besitzen eine lange Halbwertszeit im menschlichen Organismus (4 bis 5 Jahre; Lau et al. 2007), reichern sich bevorzugt in der Leber an und erwiesen sich in subchronischen und chronischen Studien als lebertoxisch, krebserregend sowie schädlich für die Fortpflanzung (EFSA 2008). Im Jahre 2009 wurde PFOS als persistenter organischer

Umweltschadstoff beziehungsweise POP (persistent organic pollutant) eingestuft und in die Stockholmer Konvention aufgenommen (UNEP 2009). Mit Aufnahme von PFOS als POP haben sich alle am Übereinkommen beteiligten Länder verpflichtet, die Verwendung von PFOS zu reduzieren beziehungsweise durch verfügbare Alternativsubstanzen zu ersetzen. Genau wie PFOS zeichnet sich auch PFOA durch seine Persistenz, Bioakkumulation, weite Verbreitung und Toxizität aus, ist aber bisweilen nicht als POP eingestuft. Die Umweltschutzbehörde der Vereinigten Staaten (U.S. EPA) sowie die bedeutendsten Hersteller von Fluorpolymeren haben 2006 das „2010/2015 PFOA Stewardship Program“ ins Leben gerufen und sich dabei verpflichtet, freiwillig die Emissionen und Gehalte in Produkten an PFOA und deren strukturverwandten Verbindungen zu verringern sowie bis spätestens 2015 vollständig zu ersetzen (U.S. EPA 2013).

Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass kurzkettenige Verbindungen vom Organismus schneller wieder ausgeschieden werden als langkettenige Verbindungen und deshalb toxikologisch weniger bedenklich sind. Eine Strategie der Industrie ist daher, Perfluorooctanyl-Verbindungen mit einer Kettenlänge von acht C-Atomen als Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Fluorpolymeren durch kurzkettenige Verbindungen, wie das Perfluorbutansulfonylfluorid (PBSF) mit vier C-Atomen, zu ersetzen (Olsen et al. 2009). Problematisch daran ist, dass im Gegensatz zu PFOS und PFOA mit acht C-Atomen, über das toxikologische Potential der kurzkettenigen Verbindungen bisher nur wenig bekannt ist.

Untersuchungen in Lebensmitteln und Studien zur Modellierung der Exposition haben gezeigt, dass der Mensch relevante Mengen an PFAAs insbesondere über Lebensmittel tierischen Ursprungs aufnimmt (Vestergren, Cousin 2009). Aus den Studien wird deutlich, dass sich die industriell hergestellten und in die Umwelt freigesetzten Verbindungen entlang der Nahrungskette anreichern.

Prominentestes Beispiel in Deutschland ist der im Jahre 2006 bekannt gewordene Fall in Nordrhein-Westfalen, bei dem hohe Gehalte an PFAAs in Gewässerproben der Ruhr das illegale Einmischen PFAA-haltiger Industrieabfälle in sogenannte „Bodenverbesserer“ aufdeckten, mit denen tausende Hektar landwirtschaftliche Nutzflächen kontaminiert wurden. Es folgten verschiedenste Monitoring-Programme, in denen auch tierische Lebensmittel

untersucht wurden. Hierbei waren PFAAs vereinzelt in Proben von Rind und Schwein detektiert worden. Die höchsten Gehalte an PFOS in Nieren (1.332 µg/kg) und Muskelfleisch (154 µg/kg) stammten dabei von einem Rind (LANUV 2011), das von einem Betrieb kam, dessen Futtermittelanbauflächen unwissentlich mit dem PFAA-haltigen „Bodenverbesserer“ gedüngt worden waren. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass erhöhte Gehalte an PFAAs in Lebensmitteln aber auch Futtermitteln, insbesondere bei Herkunft von nahegelegenen hoch belasteten Gebieten, den sogenannten „Hot spots“ (z. B. Industriestandorte der Fluorpolymerproduktion, Plätze für Feuerlöschübungen auf Militärbasen und Flughäfen), zu erwarten sind.

Zur Überwachung von PFAAs in Lebensmitteln hat die EU-Kommission empfohlen, das Vorhandensein der Substanzen in einer Vielzahl von Lebensmitteln, die den Verzehrsgewohnheiten entsprechen, zu untersuchen, um die Exposition möglichst genau beurteilen zu können (2010/161/EU). So sind in den letzten Jahren eine Reihe von Daten zu PFAAs in Lebensmitteln generiert worden (EFSA 2012). Gleichzeitig ist jedoch das Wissen über die Mechanismen des Transfers von PFAAs in der Nahrungskette (Pflanze – Tier – Lebensmittel – Mensch) noch immer begrenzt. Um die Datenlage zu verbessern, wurden am Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) Fütterungsversuche an landwirtschaftlichen Nutztieren durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, Daten zu generieren, um mit deren Hilfe bei einer PFAA-Exposition landwirtschaftlicher Nutztiere auf die Gehalte an PFAAs in den von ihnen stammenden Lebensmitteln und darüber hinaus auf die Exposition des Verbrauchers schließen zu können.

## **Fütterungsstudien an landwirtschaftlichen Nutztieren**

### **Vorgehen**

Im Rahmen des deutsch-niederländischen Forschungsprojekts „SafeGuard“ (2008–2012) hat das BfR in Kooperation mit dem Chemischen und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe (CVUA-MEL) nach einer erfolgreichen Pilotstudie mit Milchschaafen (Kowalczyk et al. 2012) Fütterungsversuche an den landwirtschaftlichen Nutztierarten Milchkuh, Mastschwein und Legehennen durchgeführt. Das Besondere an den Fütterungsversuchen war, dass alle Tiere ein Futter erhielten, das aus Futterkomponenten bestand, welche auf PFAA-belasteten Böden aufwuchsen und

so auf „natürliche“ Weise mit PFAAs kontaminiert waren. Alle drei Fütterungsversuche waren ähnlich aufgebaut, um die PFAA-Akkumulation in den drei Tierarten und den für den Menschen relevanten tierischen Produkten vergleichen zu können.

Für den Fütterungsversuch mit Milchkühen (Versuch 1) wurden insgesamt sechs Tiere eingesetzt, die über 28 Tage mit PFAA-haltigem Futter gefüttert wurden. Während der gesamten Fütterungsperiode wurden regelmäßig Proben von Futter, Blut und Milch gewonnen und auf deren PFAA-Gehalt untersucht. Im Anschluss wurden drei Tiere geschlachtet und Organ- und Gewebeproben entnommen, während die übrigen drei Tiere eine 21-tägige Auswaschphase durchliefen, bevor auch diese für die PFAA-Untersuchungen in den Geweben geschlachtet wurden.

Im zweiten Versuch wurden insgesamt 24 Mastschweine über drei Wochen mit einer PFAA-haltigen Ration gefüttert. Auch bei den Mastschweinen wurden regelmäßig die Konzentrationen von PFAAs in Futter und Blut untersucht. Nach der Schlachtung wurde zusätzlich zu Leber, Niere und Muskelgewebe das Fettgewebe der Mastschweine analysiert.

Um neben dem Transfer von PFAAs in Milch und Fleisch auch den Transfer in das Ei bestimmen zu können, wurde der dritte Fütterungsversuch mit Legehennen durchgeführt. Hierbei erhielten insgesamt 12 Legehennen über 25 Tage ein PFAA-haltiges Futter. Nach Ende der PFAA-Fütterung wurden vier Legehennen geschlachtet, die übrigen Tiere wurden vor der Schlachtung noch weitere sechs Wochen mit einem PFAA-freien Futter gefüttert. Über den gesamten Versuchsverlauf wurden an jedem zweiten Tag die Eier gesammelt und für die PFAA-Analyse in Eiklar und Eigelb getrennt. Nach der Schlachtung der Legehennen wurden außerdem Proben von Blut, Leber, Niere und Muskelgewebe entnommen.

Die Quantifizierung der PFAA-Gehalte in den Proben erfolgte mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie-Tandem-Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) am CVUA-MEL (Ehlers 2012).

## **Ergebnisse**

Der Gehalt an PFAAs unterschiedlicher Kettenlängen (C4–C12) wurde insgesamt in mehr als 1.000 Proben untersucht. Für die Veranschaulichung des unterschiedlichen Akkumulationsverhaltens bei den drei Tierarten wurden die Ergebnisse der PFAA-Gehalte

in den Geweben und tierischen Produkten nur für den Zeitraum der PFAA-Fütterung grafisch dargestellt (**Abbildungen 1–3**). Aus Gründen der Übersicht sind in den Abbildungen die Ergebnisse zudem nur für diejenigen Verbindungen dargestellt, die die größten Unterschiede zwischen den Tierarten zeigten oder als toxikologisch besonders bedenklich gelten, nämlich Perfluorbutansulfonsäure (PFBS), Perfluorhexasulfonsäure (PFHxS), PFOS und PFOA.

### **A) Milchkuh**

Von der insgesamt mit dem Futter aufgenommenen Menge an PFAAs wies PFOS mit 67 Prozent den größten wiedergefundenen Anteil auf (**Abbildung 1**). Im Vergleich dazu wurden circa 12 Prozent an PFHxS und nur geringe Mengen an PFOA (1 %) wiedergefunden. PFBS wurde in den Geweben und der Milch nur vereinzelt oberhalb der Nachweisgrenze detektiert, sodass davon auszugehen ist, dass eine Akkumulation von PFBS bei Milchkühen nicht stattfand. Die höchsten Konzentrationen an PFOS wurden in der Leber gemessen. Aufgrund der geringeren Lebermasse (1,2 % der Lebendmasse [LM]) im Verhältnis zur fettfreien Muskelmasse (60 % der LM) findet sich der größte Anteil an PFOS im Muskelgewebe (43 %) wieder. Während der Fütterung mit PFAA-haltigem Futter schieden die Milchkühe über die Milch insgesamt zwei und fünf Prozent der insgesamt mit dem Futter aufgenommenen Menge an PFHxS und PFOS wieder aus. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Fütterung von Milchkühen mit PFAA-kontaminiertem Futter insbesondere langkettige perfluorierte Sulfonsäuren ( $\geq C6$ ) in die Milch übergehen können.

### **B) Mastschwein**

Ein anderes Bild zeigt die Akkumulation von PFAAs in den Geweben der Mastschweine. Die Anteile der insgesamt mit dem Futter aufgenommenen Mengen an PFBS, PFHxS und PFOA in den Geweben (46–48 %) der Mastschweine unterscheidet sich kaum voneinander (**Abbildung 2**). Eine höhere Wiederfindungsrate weist PFOS infolge der hohen Akkumulation in der Leber auf (30 %). Interessanterweise ist die insgesamt akkumulierte Menge sowohl im Muskelgewebe (28–32 %) als auch im Fettgewebe (7–13 %) für alle vier Verbindungen vergleichbar. Die Kettenlänge der Verbindungen scheint somit keinen Einfluss auf das Anreicherungspotential in den unterschiedlichen fetthaltigen Geweben zu haben. Im Vergleich zu Milchkühen besitzen Mastschweine keine zusätzliche Möglichkeit, die mit dem Futter aufgenommenen PFAAs

Abbildung 1: Prozentualer Anteil der insgesamt mit dem Futter aufgenommenen Dosis an PFBS, PFHxS, PFOA und PFOS in Leber, Niere, Muskelgewebe und Milch der Milchkuh. Quelle: BfR.

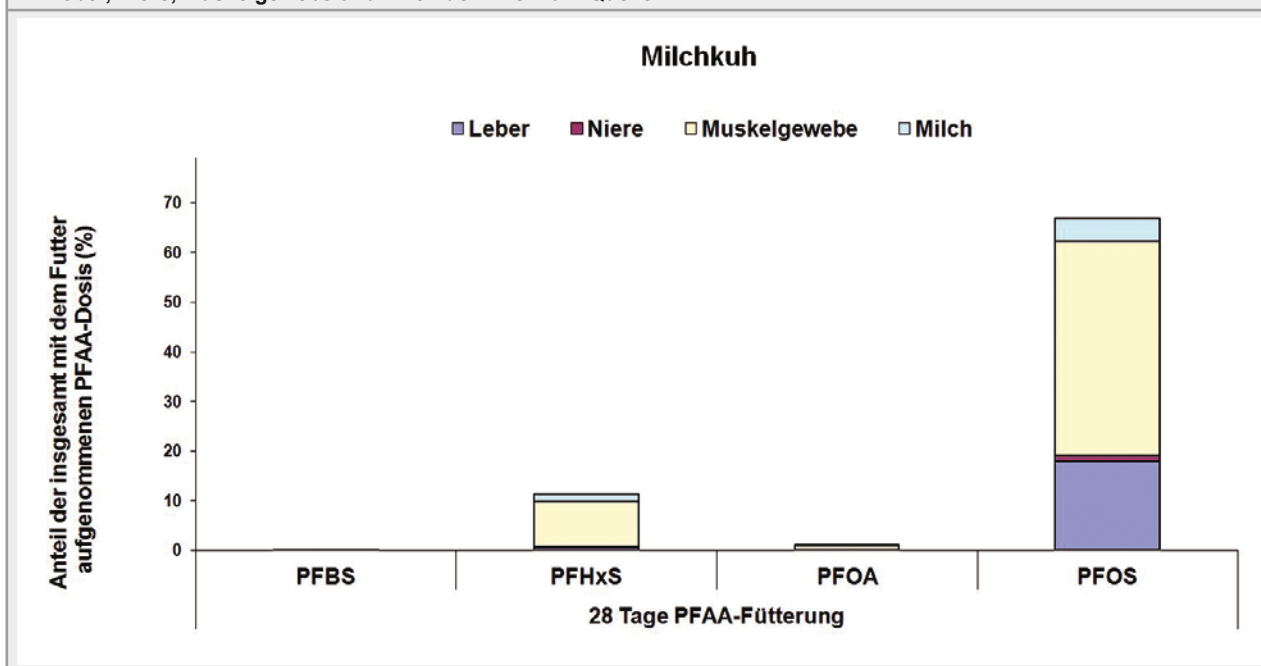
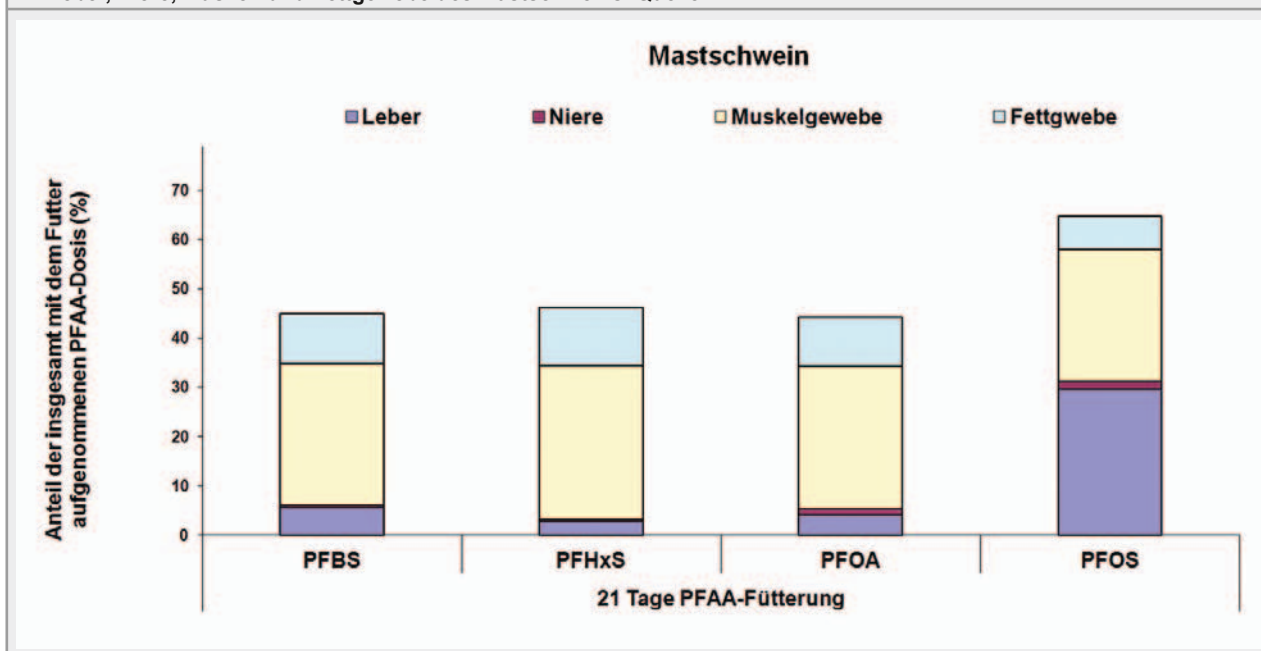


Abbildung 2: Prozentualer Anteil der insgesamt mit dem Futter aufgenommenen Dosis an PFBS, PFHxS, PFOA und PFOS in Leber, Niere, Muskel- und Fettgewebe des Mastschweins. Quelle: BfR.



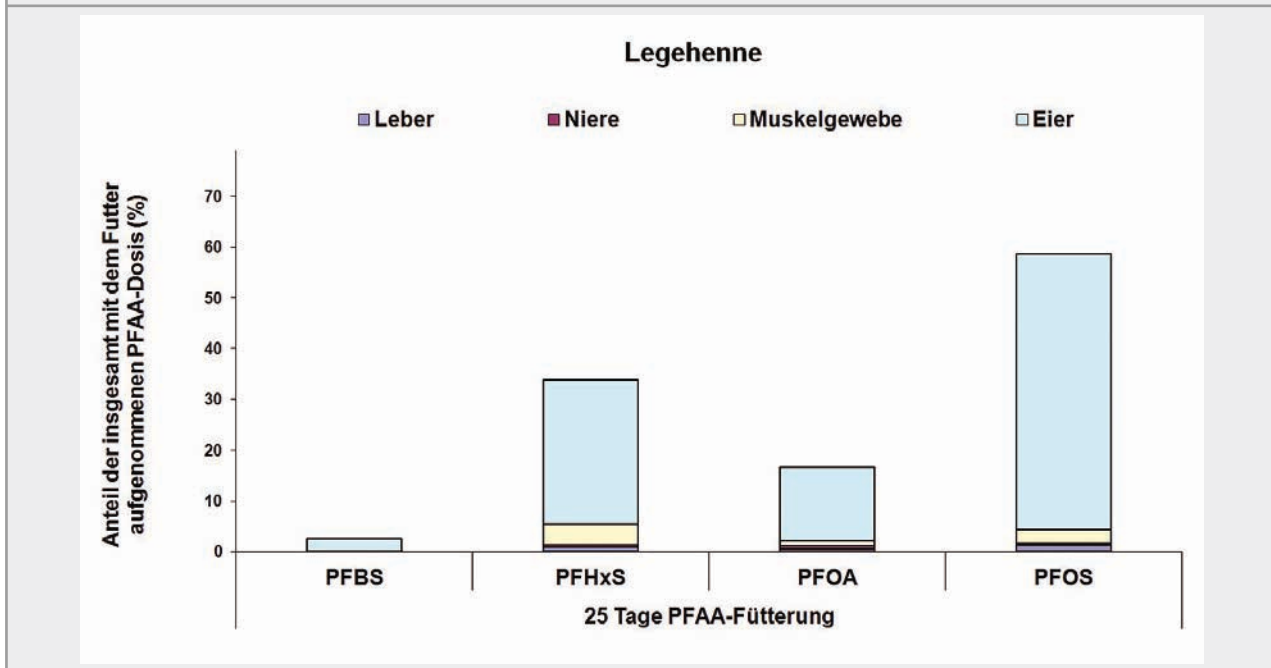
wieder auszuscheiden, sodass sich die Verbindungen in deutlich höheren Mengen in den Geweben der Schweine anreichern können.

### C) Legehennen

Der Vergleich zwischen den drei Tierarten zeigt, dass sich in den Geweben und Eiern von Legehennen die geringste Menge der insgesamt mit dem

Futter aufgenommenen Menge an PFAAs wiederfindet (2–60%). **Abbildung 3** zeigt, dass relevante Mengen an PFAAs hauptsächlich in den Eiern wiedergefunden wurden. Die vollständig mit dem Eigelb ausgeschiedenen Mengen an PFAAs nahmen innerhalb von 25 Tagen PFAA-Fütterung mit zunehmender Kettenlänge zu (PFBS: 2%, PFHxS: 28%, PFOS: 54%) und waren für PFOA um das 3,5-Fa-

Abbildung 3: Prozentualer Anteil der insgesamt mit dem Futter aufgenommenen Dosis an PFBS, PFHxS, PFOA und PFOS in Leber, Niere, Muskelgewebe und Eiern der Legehenne. Quelle: BfR.



che geringer als für PFOS mit gleicher Kettenlänge. Die höchsten Konzentrationen am Ende der Fütterungsperiode wies das Eigelb an PFHxS (220 µg/kg Frischgewicht) und PFOS (561 µg/kg Frischgewicht) auf. Durch die quantitativ hohe Ausscheidung über die Eier reicherten sich in den Geweben der Legehennen im Vergleich zu Milchkuh und Mastschwein die geringsten Mengen an PFAAs an ( $\leq 4\%$ ).

## Diskussion und Schlussfolgerung

Die am BfR durchgeführten Fütterungsstudien liefern erste wichtige Erkenntnisse zum Akkumulationsverhalten von PFAAs in essbaren Geweben und Produkten der landwirtschaftlichen Nutztierarten Milchkuh, Mastschwein und Legehenne.

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass sich die einzelnen mit dem Futter aufgenommenen Verbindungen ganz unterschiedlich in den Geweben der drei Nutztierarten anreichern. Es ist grundsätzlich nicht davon auszugehen, dass die Möglichkeit der Ausscheidung von PFAAs über die tierischen Produkte Milch und Ei zu einer geringeren Anreicherung im Gewebe führt. Die Ausscheidung von PFAAs über das Ei könnte zwar bei den Legehennen die Ursache für die geringeren Gehalte in den Geweben sein, bei der Milchkuh steht jedoch die Sekretion der PFAAs mit der Milch nicht im umgekehrten Verhältnis zur

Akkumulation in den Geweben. Hier haben andere Mechanismen, wie die rasche Ausscheidung über den Harn, einen größeren Einfluss auf die Höhe der PFAA-Akkumulation in den Geweben.

Im Vergleich dazu scheiden Mastschweine PFAAs mit dem Harn deutlich langsamer wieder aus. Dies hat zur Folge, dass sich neben den bekannten stark akkumulierenden Verbindungen PFOA und PFOS zusätzlich die kürzerkettigen Verbindungen PFHxS und PFBS im Gewebe anreichern. Die dargestellten Ergebnisse repräsentieren die PFAA-Gehalte in den Geweben der Mastschweine zum Zeitpunkt des letzten PFAA-Fütterungstags, das heißt die Folge der kontinuierlichen Aufnahme von PFAAs über das Futter innerhalb von 21 Tagen. Ohne eine mathematische Modellierung lässt sich nicht ableiten, wie lange es dauern würde, bis die PFAAs nach Ende der Fütterung kontaminierter Futtermittel wieder vollständig eliminiert wären. Studien an Labortieren zeigen, dass mit Abnahme der Kettenlänge die Ausscheidungsrate steigt. Hieraus wird geschlossen, dass PFBS mit einer Kettenlänge von vier Kohlenstoffatomen weniger akkumulativ und somit weniger toxisch ist als PFOS mit einer Kettenlänge von acht Kohlenstoffatomen (Chengelis 2009).

Es ist anzumerken, dass die derzeit am besten untersuchten Verbindungen PFOS und PFOA in Tierversuchen sowohl zwischen verschiedenen Tierarten

als auch innerhalb einer Tierart (z. B. Ratte) eine unterschiedliche Toxikokinetik aufweisen. Da Studien zur Toxikokinetik von kürzerkettigen PFAAs ( $\leq C8$ ) nur vereinzelt vorliegen und bislang zu wenige Informationen für eine Bewertung inter- und intraspezifischer Effekte liefern, sollten Schlussfolgerungen zum Verhalten von kurz-kettigen PFAAs in Labortieren für die Interpretation bei landwirtschaftlichen Nutztieren insbesondere aufgrund ihrer Unterschiede in der Verdauungsphysiologie mit Bedacht herangezogen werden.

Betrachtet man die PFAA-Aufnahme des Menschen bei Verzehr der von Milchkuh, Mastschwein und Legehennen stammenden tierischen Produkte (Milch, Fleisch, Eier) zeigt sich, dass die für die Gesundheit der Legehennen vorteilhafte rasche Ausscheidung von PFAAs mit den Eiern über den Verzehr dieser Eier zu einer erhöhten Exposition beim Menschen führen kann. Dass Eier zu einer erhöhten Exposition gegenüber PFHxS und PFOS führen können, wurde ebenso für die schwedische Bevölkerung in Studien der Universität Stockholm gezeigt (Vestergren 2013).

Bei der Milchkuh ist die Ausscheidungsrate und -dauer von PFAAs nicht nur von der Exposition des Tieres, sondern auch von dessen Milchleistung abhängig (van Asselt et al. 2013). Das heißt, dass Milchkühe mit einer geringeren Milchleistung PFAAs über einen längeren Zeitraum mit der Milch ausscheiden als Milchkühe mit einer hohen Milchleistung. Für den gesundheitlichen Verbraucherschutz kann dies bedeuten, dass im Falle von PFAA-Kontaminationen in Milchviehbetrieben zur Gewährleistung der Sicherheit des Lebensmittelprodukts Milch vom Risikomanagement betriebs-spezifische Wartezeiten empfohlen werden müssen.

Bei Mastschweinen ist aufgrund der vergleichsweise geringen PFAA-Ausscheidungsrate mit lang anhaltend hohen Konzentrationen von PFAAs in den essbaren Geweben zu rechnen. Zusätzlich ist bei Verzehr von Schweinefleisch aufgrund der Akkumulation aller mit dem Futter aufgenommenen PFAAs im Gewebe des Schweins mit einer Exposition kurz- und länger-kettiger PFAAs für den Verbraucher zu rechnen, während Verbraucher bei Verzehr von PFAA-kontaminierten Lebensmitteln von Legehennen und Milchkuh fast ausschließlich gegenüber langkettigen Sulfonsäuren exponiert sind.

## Literatur

2010/161/EU. Empfehlung der Kommission vom 17. März 2010 zur Überwachung von perfluorierten Alkylsubstanzen in Lebensmitteln.

Buck RC, Franklin J, Berger U, Conder JM, Cousin IT, deVoogt P, Jensen AA, Kannan K, Mabury SA, van Leeuwen SPJ (2011): Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. In: *Integrated Environmental Assessment and Management* 2001(7): 513–541.

Chengelis CP, Kirkpatrick JB, Myers NR, Shinohara M, Stetson PL, Sved DW (2009): Comparison of the toxicokinetic behaviour of perfluorohexanoic acid (PFHxA) and nonafluorobutane-1-sulfonic acid (PFBS) in cynomolgus monkeys and rats. In: *Reproductive Toxicology* 27: 400–406.

EFSA (2012): Scientific report of EFSA on perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. In: *EFSA Journal* 2012; 10(6):2743, 1–55.

EFSA (2008): Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. In: *EFSA Journal* (2008) 653: 1–131.

Ehlers S (2012): Analytik von Perfluoralkylsäuren in verschiedenen Matrices zur Klärung der Toxikokinetik in Tierarten, die der Lebensmittelgewinnung dienen. Dissertation an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

Fromme H, Tittlemier SA, Völkel W, Wilhelm M, Twardella D (2009): Perfluorinated compounds – Exposure assessment for the general population in western countries. In: *Int J Hyg Environ Health* 212: 239–270.

Giesy JP, Kannan K (2001): Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. In: *Environ Sci Technol* 35: 1339–1342.

Kowalczyk J, Ehlers S, Fürst P, Schafft H, Lahrssen-Wiederholt M (2012): Transfer of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from contaminated feed into milk and meat of sheep: pilot study. In: *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 63: 288–298.

LANUV (2011): PFT in Lebensmitteln und Futtermitteln. [http://www.lanuv.nrw.de/verbraucher/pft\\_in\\_lebensmittel.htm](http://www.lanuv.nrw.de/verbraucher/pft_in_lebensmittel.htm) (Abrufdatum: 17.07.2013).

Lau C, Anitole K, Hodes C, Lai D, Pfahles-Hutchens A, Seed J (2007): Perfluoroalkyl acids : a review of monitoring and toxicological findings. In: *Toxicological Science* 99(2): 366–394.

Olsen GW, Chang S-C, Noker PE, Gorman GS, Ehresman DJ, Lieder PH, Butenhoff JL (2009): A comparison of the pharmacokinetics of perfluorobutanesulfonate (PFBS) in rats, monkeys, and humans. In: *Toxicology* 256: 65–74.

UNEP (2009): International Workshop on Managing Perfluorinated Chemicals and Transitioning to Safer Alternatives. 12-13 February 2009. Geneva, Switzerland [http://www.chem.unep.ch/uneppsaim/cheminprod\\_dec08/PFCWorkshop/documents/Workshop%20Summary%2002.25.09.pdf](http://www.chem.unep.ch/uneppsaim/cheminprod_dec08/PFCWorkshop/documents/Workshop%20Summary%2002.25.09.pdf) (Abrufdatum: 12.08.2013).

U.S. EPA (2013): 2010/2015 PFOA Stewardship Program. <http://www.epa.gov/oppt/pfoa/pubs/stewardship/index.html> (Abrufdatum: 12.08.2013).

Van Asselt ED, Kowalczyk J, van Eijkeren JCH, Zeilmaier MK, Ehlers S, Fürst P, Lahrssen-Wiederholt M, van der Fels-Klerx HJ (2013): Transfer of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) from contaminated feed to dairy milk. In: Food Chemistry 141: 1489–1495.

Vestergren R, Cousin IT (2009): Tracking pathways of human exposure to perfluorinated carboxylates. In: Environ Sci Technol 43: 5565–5575.

Vestergren R, Johansson J, Berger U, Glynn A, Cousin IT (2012): Human exposure to perfluoroalkyl acids. In: Proceedings of the 4th International Workshop: Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances – PFASs. Idstein. 7-9 November.

### **Kontakt**

Janine Kowalczyk  
Bundesinstitut für Risikobewertung  
Fachgruppe Futtermittel und Futtermittelzusatzstoffe  
Alt-Marienfelde 17-21  
12277 Berlin  
E-Mail: [Janine.Kowalczyk\[at\]bfr.bund.de](mailto:Janine.Kowalczyk[at]bfr.bund.de)

[BfR]

# Inanspruchnahme von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse aus DEGS1

## Participation in cancer screening in Germany – Selected results of DEGS1

*Anne Starker, Anke-Christine Saß*

### **Abstract**

A growing number of people in Germany participate in the cancer screening services offered by statutory health insurance. Using data from the first wave of the German Health Interview and Examination Survey for Adult (DEGS1), current levels of participation in cancer screening services were determined. Overall, 67.2% of women and 40.0% of men participate regularly. In this paper, the participation in skin cancer, colorectal cancer and breast cancer screening is additionally shown. Besides sex and age, socio-economic status is an important determinant of participation in cancer screening services. The current analyses present information on specifically targeted population groups to promote informed decision-making about cancer screening, so that participation rates can be improved further.

### **Zusammenfassung**

Eine wachsende Zahl von Menschen in Deutschland nimmt die von der Gesetzlichen Krankenversicherung angebotenen Krebsfrüherkennungsuntersuchungen (KFU) in Anspruch. Mit Daten der ersten Erhebungswelle der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1) wurden aktuelle Inanspruchnahmeraten ermittelt. Insgesamt nutzen 67,2% der Frauen und 40,0% der Männer das Angebot der KFU regelmäßig. Im vorliegenden Beitrag wird ergänzend die Teilnahme an ausgewählten Früherkennungsuntersuchungen dargestellt (Hautkrebs, Darmkrebs, Brustkrebs). Neben dem Geschlecht stellen Alter und sozioökonomischer Status wichtige Determinanten der Inanspruchnahme dar. Die Auswertungen geben Hinweise auf Bevölkerungsgruppen, die gezielt angesprochen und darin unterstützt werden sollten, eine informierte Entscheidung zur KFU zu treffen, um die Teilnahmeraten weiter zu erhöhen.

## **Hintergrund**

Krebserkrankungen sind nach wie vor für einen wesentlichen Teil des Krankheits- und Sterbegeschehens in der Bevölkerung verantwortlich. Im Jahr 2011 entfielen 26,8% aller Sterbefälle in Deutschland auf Krebserkrankungen (Männer: 30,1%, Frauen: 23,7%). Sie stehen bei beiden Geschlechtern damit, nach Krankheiten des Kreislaufsystems, an zweiter Stelle der häufigsten Todesursachen (Statistisches Bundesamt 2012). Krebserkrankungen treten gehäuft im höheren Lebensalter auf. Durch Veränderungen der Bevölkerungsstruktur im Zuge des demografischen Wandels führt der steigende Anteil älterer Menschen dazu, dass auch die Häufigkeit bestimmter Krebserkrankungen zunimmt (Robert Koch-Institut, Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister 2012). Andererseits geht die Sterblichkeit an Krebserkrankungen insgesamt zurück und die Überlebensaussichten von Krebspatientinnen und -patienten haben sich in den letzten Jahrzehnten wesentlich verbessert. Dies kann vor allem auf

Fortschritte in der Krebstherapie, aber auch auf die Krebsfrüherkennung zurückgeführt werden (Robert Koch-Institut 2010).

Das Ziel von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen (KFU) ist es, Krebserkrankungen in einem möglichst frühen Stadium zu entdecken. Das ermöglicht es, eine geeignete Therapie frühzeitig einzuleiten, welche eine schonendere Behandlung mit größeren Erfolgsaussichten verspricht (Kraywinkel et al. 2012). Auf Bevölkerungsebene wird der Erfolg von KFU an der Reduktion der Krankheitslast von Krebserkrankungen und der Sterblichkeit an diesen Erkrankungen gemessen.

Früherkennungsuntersuchungen für häufig auftretende Krebserkrankungen gehören seit über 30 Jahren zum Angebot der Gesetzlichen Krankenversicherung (GKV). Das Angebot richtet sich an die alters- und geschlechtsspezifischen Zielgruppen, in denen



die jeweiligen Krebserkrankungen gehäuft auftreten. Die GKV bietet derzeit Untersuchungen zur Früherkennung von Gebärmutterhalskrebs, Brustkrebs, Prostatakrebs, Darmkrebs und Hautkrebs an (**Tabelle 1**) (Gemeinsamer Bundesausschuss 2011).

Aus bevölkerungsbezogenen Erhebungen und aus Abrechnungsdaten von Krankenkassen ist bekannt, dass eine wachsende Zahl von Menschen in Deutschland die bestehenden Angebote der KFU kennt und diese auch in Anspruch nimmt. Allerdings wird weiterhin nur ein Teil der Bevölkerung erreicht. Es hat sich in diesem Zusammenhang gezeigt, dass Alter, Geschlecht, Bildungsniveau, sozioökonomischer Status, Partnerschaft, Kinder, Gesundheitszustand und Inanspruchnahme der hausärztlichen Versorgung als Determinanten gelten, welche eine Inanspruchnahme von KFU beeinflussen können (Bergmann et al. 2005; Scheffer et al. 2006; Starker, Saß 2007; Starker et al. 2006). Für den Erfolg von Krebsfrüherkennungsprogrammen im Sinne einer Senkung der Krankheitslast und Sterblichkeit auf Bevölkerungsebene sind Bekanntheit, Akzeptanz und Teilnahmebereitschaft an KFU in den entsprechenden Zielgruppen von entscheidender Bedeutung.

Der vorliegende Beitrag gibt einen kurzen Überblick über den Kenntnisstand und das aktuelle Inanspruchnahmeverhalten von KFU in der Be-

völkerung in Deutschland, auch hinsichtlich der Determinanten Geschlecht, Alter und sozioökonomischer Status. Dargestellt werden wichtige Ergebnisse der Auswertung von Daten aus DEGS1, der ersten Erhebungswelle der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland des Robert Koch-Instituts (RKI). Der Beitrag beschränkt sich dabei auf die Früherkennungsuntersuchungen, die in den letzten zehn Jahren in das Angebot der GKV aufgenommen wurden. Dies sind die Früherkennungskoloskopie (-darmspiegelung) (Darmkrebs), die seit Oktober 2002 angeboten wird, die Früherkennung von Hautkrebs (seit Mitte 2008) und das Mammographie-Screening (Brustkrebs), das zwischen 2005 und 2008 in allen Bundesländern aufgebaut wurde (Gemeinsamer Bundesausschuss 2011; Starker et al. 2012). Eine ausführliche Auswertung der DEGS1-Daten, auch bezogen auf weitere KFU, wurde im Mai 2013 im Doppelheft der Zeitschrift „Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz“ publiziert (Starker, Saß 2013).

## Methoden

Die „Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland“ (DEGS) ist Bestandteil des Gesundheitsmonitorings des Robert Koch-Instituts (RKI). Konzept und Design von DEGS sind an

<b>Tabelle 1: Krebsfrüherkennungsuntersuchungen, die von der Gesetzlichen Krankenversicherung angeboten werden und in DEGS1 erfragt wurden.* Quelle: Gemeinsamer Bundesausschuss 2011.</b>				
<b>Ziel der KFU</b>	<b>Art der Untersuchung</b>	<b>Zielgruppe</b>	<b>Alter</b>	<b>Untersuchungsintervall</b>
Hautkrebsfrüherkennung	Ganzkörperuntersuchung der Haut	Frauen, Männer	ab 35 Jahre	alle zwei Jahre
Darmkrebsfrüherkennung	Stuhluntersuchung (Schnelltest auf okkultes (verborgenes) Blut im Stuhl)	Frauen, Männer	von 50 bis 54 Jahren	jährlich
	Koloskopie (Darmspiegelung)	Frauen, Männer	ab 55 Jahren	alle zwei Jahre
Früherkennung von Gebärmutterhalskrebs	Abstrich am Gebärmutterhals	Frauen	ab 20 Jahren	jährlich
Früherkennung von Brustkrebs	Abtasten der Brust	Frauen	ab 30 Jahren	jährlich
	Mammographie im Rahmen des nationalen Mammographie-Screening-Programms	Frauen	50 bis 69 Jahre	alle zwei Jahre
Früherkennung von Prostatakrebs	Abtasten der Prostata (digitale rektale Untersuchung)	Männer	ab 45 Jahren	jährlich

KFU: Krebsfrüherkennungsuntersuchung. \* Grau unterlegt sind die KFU, auf die im vorliegenden Beitrag detailliert eingegangen wird. Eine ausführliche Darstellung der Inanspruchnahme von KFU findet sich im Bundesgesundheitsblatt (Starker, Saß 2013)

anderer Stelle ausführlich beschrieben (Göbwald et al. 2012; Kamtsiuris et al. 2013; Kurth 2012; Kurth et al. 2009; Scheidt-Nave et al. 2012). Die erste Erhebungswelle (DEGS1) wurde von 2008 bis 2011 durchgeführt und umfasste Befragungen, Untersuchungen und Tests (Göbwald et al. 2013; Robert Koch-Institut 2009). Zielpopulation war die in Deutschland lebende Bevölkerung im Alter von 18 bis 79 Jahren. DEGS1 hat ein Mischdesign, das gleichzeitig Quer- und Längsschnittanalysen ermöglicht. Hierbei wurde eine Einwohnermeldeamtsstichprobe durch ehemalige Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Bundes-Gesundheitssurveys 1998 (BGS98) ergänzt. Insgesamt nahmen 8.152 Personen teil, darunter 4.193 Ersteingeladene (Response 42 %) und 3.959 ehemalige Teilnehmerinnen und Teilnehmer des BGS98 (Response 62 %). 7.238 Personen besuchten eines der 180 Untersuchungszentren, 914 wurden ausschließlich befragt.

Für die Analysen zur Inanspruchnahme von KFU wird auf Informationen aus dem computergestützten ärztlichen Interview (CAPI) zurückgegriffen (n=7.988). Darin wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gefragt, ob ihnen bekannt ist, dass die Krankenkassen die Teilnahme an KFU empfehlen, und ob sie regelmäßig daran teilnehmen. Anschließend wurde gefragt, ob einzelne Früherkennungsuntersuchungen, die spezifische Krebslokalisationen betreffen, jemals durchgeführt wurden. Wenn die Befragten dies bejahten, wurde nach dem Zeitpunkt der letzten Untersuchung gefragt. Dabei wurden fünf Antwortmöglichkeiten vorgegeben: Zeiträume von „innerhalb der letzten 12 Monate“ bis „vor mehr als 10 Jahren“. Mit diesen Antwortkategorien kann eingeschätzt werden, ob die letzte spezifische KFU im empfohlenen Untersuchungsintervall lag.

Im Folgenden wird Kenntnis und regelmäßige Teilnahme an KFU allgemein, sowie die Teilnahme an den KFU zu Haut-, Darm-, und Brustkrebs dargestellt. Die deskriptiven Auswertungen sind auf die jeweiligen alters- und geschlechtsspezifischen Teilnehmergruppen beschränkt. Daraus ergeben sich unterschiedliche Stichprobengrößen bei den einzelnen Fragestellungen. Ergänzend werden Zusammenhänge zu den Variablen Alter, Geschlecht und sozioökonomischer Status (SES) untersucht. Der Sozialstatus wurde anhand eines Indexes bestimmt, in den Angaben zu schulischer und beruflicher Ausbildung, beruflicher Stellung sowie Haushaltsnettoeinkommen (bedarfsgewichtet) eingehen und

der eine Einteilung in niedrige, mittlere und hohe Statusgruppe ermöglicht (Lampert et al. 2013).

## **Wichtige Ergebnisse zur Inanspruchnahme von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen (KFU)**

### ***Bekanntheit der Empfehlungen der Krankenkassen und regelmäßige Teilnahme an KFU***

Über 80 % aller Befragten geben an, dass ihnen die Empfehlungen der Krankenkassen zur Teilnahme an der Krebsfrüherkennung bekannt sind. Unter den Frauen ist die Bekanntheit signifikant höher als unter den Männern (88,5 % vs. 75,7 %) (**Tabelle 2a**). Mit steigendem Alter nimmt der Anteil der Frauen und Männer, die über das Angebot zur KFU informiert sind, deutlich zu. Vor allem bei den Männern ist ein starker Anstieg zu sehen. Auffällig ist ein sozialer Gradient im Bekanntheitsgrad, der sich bei Frauen zeigt. Der Anteil von Frauen, die die Empfehlungen kennen, ist bei niedrigem sozioökonomischen Status (SES) signifikant kleiner als bei mittlerem beziehungsweise hohem SES (bis 59 Jahre).

Die Kenntnis der Angebote zur KFU ist eine wichtige Voraussetzung. Entscheidend ist jedoch, dass sich die Anspruchsberechtigten so gut informiert fühlen, dass sie sich bewusst für (oder auch gegen) eine Teilnahme an der KFU entscheiden. Aus DEGS1 geht hervor, dass etwa zwei Drittel der Frauen (67,2 % ab 20 Jahren) und weniger als die Hälfte der Männer (40,0 % ab 35 Jahren) regelmäßig zur KFU gehen (**Tabelle 2b**). Insgesamt nehmen mehr Frauen als Männer KFU in Anspruch. Mit dem Alter steigen die Teilnahmeraten, vor allem bei den Männern, und der Unterschied zwischen den Geschlechtern wird geringer. Dies hängt vermutlich mit den im Alter steigenden Arztkontakten zusammen. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass eine KFU von der behandelnden Ärztin/dem Arzt empfohlen beziehungsweise durchgeführt wird (Bergmann et al. 2005; Scheffer et al. 2006). Der sozioökonomische Status hat nicht nur einen Einfluss auf die Bekanntheit an Maßnahmen der Krebsfrüherkennung, sondern auch auf die Teilnahme. Wiederum zeigt sich dies bei den Frauen. Frauen mit hohem SES gehen gegenüber Frauen mit niedrigem vermehrt zur KFU. Bei den Männern werden geringere Statureffekte beobachtet.

**Tabelle 2a: Kenntnis der Empfehlungen der Krankenkasse zu Krebsfrüherkennungsuntersuchungen (allgemein) nach Geschlecht, Altersgruppen und sozialem Status. Anteile in Prozent. Quelle: DEGS1, RKI.**

Kenntnis der Empfehlungen		Altersgruppen							
		18-29 Jahre	30-39 Jahre	40-49 Jahre	50-59 Jahre	60-69 Jahre	70-79 Jahre	Gesamt	
n <sub>ungewichtet</sub> = 6.839									
Frauen	Gesamt	74,0	78,8	91,0	96,8	98,0	93,6	88,5	
	Niedrig	61,2	51,7	76,4	91,6	96,6	88,2	78,8	
	Mittel	76,6	82,1	94,6	98,3	98,3	96,1	91,0	
	Hoch	84,0	89,3	92,7	97,3	98,4	100,0	92,7	
Männer	Gesamt	45,2	62,4	79,5	91,2	92,9	92,3	75,7	
	Niedrig	40,0	40,2	65,8	84,4	91,9	88,7	66,7	
	Mittel	43,6	64,7	82,4	91,1	91,6	92,8	75,8	
	Hoch	59,5	75,7	83,4	94,2	96,5	96,8	84,3	
Gesamt		59,2	70,5	85,1	94,0	95,5	93,0	82,2	

**Tabelle 2b: Regelmäßige Teilnahme an Krebsfrüherkennungsuntersuchungen (allgemein) nach Geschlecht, Altersgruppen und sozialem Status. Anteile in Prozent. Quelle: DEGS1, RKI.**

Regelmäßige Teilnahme*		Altersgruppen							
		20-29 Jahre	30-34 Jahre	35-39 Jahre	40-49 Jahre	50-59 Jahre	60-69 Jahre	70-79 Jahre	Gesamt
n <sub>ungewichtet</sub> = 4.137									
Frauen	Gesamt	50,0	65,8	71,8	73,5	76,3	76,0	53,2	67,2
	Niedrig	37,8	38,2	44,6	52,1	68,4	66,2	41,9	51,0
	Mittel	49,5	66,0	73,2	75,6	77,7	80,5	58,5	69,9
	Hoch	67,7	85,2	85,5	86,5	79,9	73,4	67,3	74,4
Männer	Gesamt	/	/	10,1	24,0	46,9	58,5	57,2	40,0
	Niedrig			5,3	14,9	37,7	49,6	50,0	31,3
	Mittel			9,4	25,6	48,4	59,7	58,5	41,6
	Hoch			14,2	25,8	51,8	63,1	67,2	42,3
Gesamt				40,4	48,3	61,6	67,4	55,0	55,5

\* Die Frage nach einer regelmäßigen Teilnahme wurde in DEGS1 nur denjenigen Personen gestellt, für die KFU angeboten werden (Frauen ab dem 20. Lebensjahr, Männer ab dem 35. Lebensjahr).

## Teilnahme an ausgewählten Krebsfrüherkennungsuntersuchungen

### Früherkennung von Hautkrebs

25,8% der Frauen und 22,9% Männer ab 35 Jahren haben innerhalb der letzten zwei Jahre vor der Befragung eine Ganzkörperuntersuchung der Haut im Rahmen der Krebsfrüherkennung durchführen lassen (**Tabelle 3**). Bei Männern ist ein Anstieg der Beteiligung mit zunehmendem Alter zu beobachten. Bei den Frauen zeigen sich hier kaum Unter-

schiede. Auffällig ist, dass ab einem Alter von 60 Jahren die Teilnahmeraten der Männer über denen der Frauen liegen. Ein sozialer Gradient der Inanspruchnahme wird nicht beobachtet.

### Früherkennung von Darmkrebs

Ab einem Alter von 55 Jahren haben Versicherte Anspruch auf präventive Darmspiegelungen (Koloskopien). Bei mehr als der Hälfte aller anspruchsberechtigten Frauen (55,4%) und Männer (54,1%)

Tabelle 3: Turnusgemäße Inanspruchnahme von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen nach Geschlecht und Altersgruppen. Anteile in Prozent.							
		Altersgruppen					
	Geschlecht	35-39 Jahre	40-49 Jahre	50-59 Jahre	60-69 Jahre	70-79 Jahre	Gesamt
Ganzkörperuntersuchung der Haut ab 35 Jahren innerhalb der letzten zwei Jahre n <sub>ungewichtet</sub> = 1.667	Frauen	23,3	27,8	26,4	26,5	22,5	25,8
	Männer	12,6	19,6	23,0	29,0	28,8	22,9
	Gesamt	17,9	23,6	24,7	27,7	25,3	24,4
				55-59 Jahre	60-69 Jahre	70-79 Jahre	Gesamt
Darmspiegelung ab 55 Jahren innerhalb der letzten zehn Jahre n <sub>ungewichtet</sub> = 1.889	Frauen			47,2	58,3	57,5	55,4
	Männer			44,9	58,5	55,4	54,1
	Gesamt			46,1	58,4	56,6	54,8
				50-59 Jahre	60-69 Jahre		Gesamt
Mammographie von 50 bis 69 Jahren innerhalb der letzten zwei Jahre n <sub>ungewichtet</sub> = 1.174	Frauen			68,5	74,9		71,3

wurde innerhalb der letzten zehn Jahre eine Darmspiegelung durchgeführt (**Tabelle 3**). Am seltensten wurden Frauen und Männer zwischen 55 und 59 Jahren koloskopiert (Frauen: 47,2%, Männer: 44,9%). Das kann damit zusammenhängen, dass sie das Alter, in dem Früherkennungskoloskopien angeboten werden, gerade erst erreicht haben. Ein Gradient hinsichtlich SES besteht nicht.

Koloskopien werden allerdings sowohl im Rahmen der KFU durchgeführt (Früherkennungskoloskopie) als auch zur Abklärung eines konkreten Krankheitsverdachts oder im Rahmen der Nachsorge. In DEGS1 wurde nicht nach dem Grund der letzten Koloskopie gefragt. Aus diesem Grund kann mit DEGS1-Daten die Inanspruchnahme von Koloskopien insgesamt, nicht aber die Teilmenge der Früherkennungskoloskopien beschrieben werden.

### Früherkennung von Brustkrebs

Im Alter von 50 bis 69 Jahren haben Frauen Anspruch auf die zweijährlich angebotene radiologische Untersuchung der Brust im Rahmen des nationalen Mammographie-Screening-Programms. Insgesamt berichteten 71,3% der 50- bis 69-jährigen Frauen innerhalb der letzten 24 Monate an einer Mammographie teilgenommen zu haben (**Tabelle 3**). Unter den 60- bis 69-Jährigen wurden etwas mehr Frauen untersucht als in der jüngeren Alters-

gruppe (74,9% vs. 68,5%). Ein Gradient hinsichtlich des SES zeigt sich nicht.

Mammographien können sowohl im Rahmen der KFU durchgeführt werden als auch zur Abklärung eines konkreten Krankheitsverdachts oder im Rahmen der Nachsorge. In DEGS1 wurde nach dem Grund für die letzte Mammographie gefragt, sodass mit den vorhandenen Daten ein Überblick über die Inanspruchnahme von Mammographien insgesamt, wie auch über die Teilnahme am nationalen Mammographie-Screening-Programm gegeben werden kann. Als Gründe für die letzte Mammographie wurden den Frauen dementsprechend mehrere Antwortkategorien angeboten (Mehrfachantworten möglich). Von den untersuchten Frauen wurde als häufigster Grund für die letzte Mammographie (innerhalb der letzten 24 Monate) eine Einladung im Rahmen des nationalen Mammographie-Screening-Programms genannt (65,4%). Bezogen auf alle anspruchsberechtigten Frauen zwischen 50 und 69 Jahren bedeutet das, dass etwa die Hälfte von ihnen durch das nationale Mammographie-Screening-Programm erreicht wurde und an der Untersuchung teilgenommen hat (49,2%).

### Diskussion

Die Befragungsdaten aus DEGS1 zeigen, dass die meisten Erwachsenen über die Angebote zur Früh-

erkennung von Krebserkrankungen informiert sind (82,2%). Informationslücken zeigen sich allerdings insbesondere bei jüngeren Männern und bei Personen mit niedrigem sozioökonomischen Status. Vor allem bei Frauen wird ein solcher Gradient deutlich.

Von gut der Hälfte der Befragten werden KFU regelmäßig in Anspruch genommen, auch hier zeigen sich geschlechts- und altersspezifische Unterschiede. Das Muster ist ähnlich: Frauen geben häufiger als Männer eine regelmäßige Teilnahme an, mit dem Alter steigen die Raten. Der Geschlechterunterschied, sowohl hinsichtlich der Kenntnis als auch der Beteiligung an KFU, gleicht sich etwa ab dem 70. Lebensjahr an. Mit steigendem sozialem Status verbessert sich die Teilnahmerate bei Frauen.

Bei den einzelnen angebotenen Untersuchungen zur Krebsfrüherkennung werden sehr unterschiedliche Teilnahmeraten beobachtet. Die Gründe hierfür sind vermutlich vielfältig. Zum einen kann die Organisation der Früherkennungsuntersuchungen sicherlich eine Rolle spielen, zum Beispiel Einladungsschreiben für das Mammographie-Screening versus Selbstorganisation eines Untersuchungstermins bei anderen KFU. Außerdem sind bestimmte KFU relativ neu in den Leistungskatalog der Gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) aufgenommen worden, zum Beispiel Hautkrebs-Screening im Jahr 2008 und wahrscheinlich allgemein noch nicht so bekannt.

Informationen zur Teilnahme an Maßnahmen der Krebsfrüherkennung lassen sich sowohl aus bevölkerungsbezogenen Befragungen als auch aus Abrechnungsdaten der Krankenkassen gewinnen. Befragungsdaten haben den Vorteil, dass die Informationen über die Teilnahme personenbezogen ausgewertet werden können. Das heißt, diese Angaben können zusammen mit Informationen zu Alter, Geschlecht, Lebensform, sozioökonomischem Status und weiteren Daten ausgewertet werden. In Befragungen können außerdem Fragen zu Themen aufgenommen werden, die im Zusammenhang mit der Inanspruchnahme von KFU stehen, zum Beispiel Gründe für eine Nichtteilnahme. Andererseits sind die Selbstangaben zu KFU mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Auch in anderen Erhebungen zur Teilnahme an KFU werden Unterschiede zwischen Selbstangaben und Abrechnungsdaten beobachtet und diskutiert (Starker et al. 2012; Streich, Hellmeier 2009).

Ein Vergleich der Ergebnisse zur Inanspruchnahme von KFU aus DEGS1 mit anderen Datenquellen zeigt eine gute Übereinstimmung mit anderen Befragungsdaten und zum Teil abweichende Prävalenzen beim Vergleich mit Abrechnungsdaten. In DEGS1 wurde – außer bei der Mammographie – nicht nach dem Grund für die Teilnahme an einer einzelnen KFU gefragt. Die entsprechenden Untersuchungen werden für GKV-Versicherte aber ebenfalls angeboten, wenn eine Indikation vorliegt, zum Beispiel zur Abklärung eines Krankheitsverdachts. Die Untersuchungen werden in diesem Fall jedoch anders abgerechnet. Daraus können sich Unterschiede im Vergleich der DEGS1-Daten mit den Abrechnungsdaten ergeben.

Beispielweise liegt die turnusgemäße Inanspruchnahmerate beim zweijährlich angebotenen Hautkrebs-Screening in DEGS1 bei etwa einem Viertel, laut Abrechnungsdaten des Zentralinstituts für die Kassenärztliche Versorgung bei 33,3% für Frauen und 31,9% für Männer (Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in der Bundesrepublik, Altenhofen 2012a). In der telefonischen Befragung „Gesundheit in Deutschland aktuell“ 2010 des RKI (GEDA 2010) gab jede/r dritte Befragte an, schon einmal am Hautkrebs-Screening teilgenommen zu haben (Starker et al. 2012).

In DEGS1 gab etwa die Hälfte der Frauen und Männer ab 55 Jahren an, schon einmal eine Koloskopie gehabt zu haben. In einer Befragung der Stiftung Lebensblicke von 2010 wurden ähnliche Koloskopie-Raten ermittelt (Stiftung Lebensblicke, Wuppermann 2011), wie auch in DEGS1 erfolgte jedoch keine Unterscheidung nach dem Grund der Koloskopie. Die Abrechnungsdaten weisen hingegen für den Zeitraum 2003 bis 2011 insgesamt einen Anteil von lediglich 20% bei Personen im Alter von 55 bis 74 Jahren aus, die im Rahmen der Krebsfrüherkennung koloskopiert wurden (Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in der Bundesrepublik 2012b).

Etwa 70% der anspruchsberechtigten Frauen berichteten in DEGS1, dass innerhalb von zwei Jahren eine Mammographie durchgeführt wurde. Eine Umfrage unter AOK-Versicherten ergab im Jahr 2007 eine ebenso hohe Teilnahmerate (jemals teilgenommen) (Zok 2007). Beide Angaben beziehen sich allerdings auf Mammographien allgemein, unabhängig vom nationalen Mammographie-Screening-Programm, das seit 2005 aufgebaut wurde. Die Evaluation des Mammographie-Screening-Programms ergab für den

Zeitraum 2008–2009 eine Teilnahmerate von 53,7% (Kooperationsgemeinschaft Mammographie 2012).

Trotz dieser Abweichungen zu Abrechnungsdaten der GKV lassen sich aus den Befragungsergebnissen wichtige Informationen zur Akzeptanz dieser präventiven Leistungen ermitteln. Die in DEGS1 erhobenen Daten ermöglichen es, Bevölkerungsgruppen näher zu beschreiben, die im Fokus präventiver Bemühungen stehen sollten: diejenigen, die über KFU-Angebote noch nicht ausreichend informiert sind.

Für die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis sind neben der Frage, wer nicht teilnimmt, auch die Gründe dafür von Bedeutung. Diese wurden für Haut- und Darmkrebsfrüherkennung im telefonischen Gesundheitssurvey GEDA 2010 des RKI erfragt (Starker et al. 2012). Hinweise darauf, welche Unterstützung bestimmte Zielgruppen von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen für ihre informierte Entscheidung benötigen, sind wichtige Quellen für die gesundheitspolitische Planung und können die Teilnahme an diesen Untersuchungen weiter verbessern.

## Ausblick

In Fortführung der dargestellten deskriptiven Auswertungen ist geplant, mit den DEGS1-Daten Zusammenhangsanalysen durchzuführen. Hier soll zum einen der Frage nachgegangen werden, welche weiteren Faktoren die Informiertheit und die Teilnahmeentscheidung für KFU allgemein und für einzelne Untersuchungen beeinflussen. Außerdem soll das Zusammenwirken von soziodemografischen, gesundheits- und versorgungsbezogenen Variablen untersucht werden. In multivariaten statistischen Modellen kann dann der Anteil der einzelnen Parameter an der Entscheidung für oder gegen die Teilnahme an KFU quantifiziert werden. Dadurch ist es möglich, die Personengruppen genauer einzugrenzen, die von Informationen über spezielle KFU profitieren würden.

Durch die regelmäßige Durchführung der Gesundheitsbefragungen im Rahmen des RKI-Gesundheitsmonitorings können auch zukünftig wichtige Informationen zur Akzeptanz der KFU in Deutschland ermittelt werden. Es lassen sich Teilnahmeraten und Trenderaussagen zur Entwicklung der Inanspruchnahme ableiten, auch mit Blick auf neu eingeführte oder aktuell erweiterte Untersuchungen.

Im Rahmen des Nationalen Krebsplans wird derzeit unter anderem, orientiert an den europäischen Leitlinien, eine Weiterentwicklung der Krebsfrüherkennung angestrebt. Eine bessere Information der Versicherten hinsichtlich Nutzen und Risiken der Krebsfrüherkennung sowie regelmäßige Einladungsschreiben zur Verbesserung der Teilnahmeraten sind vorgesehen. Diese Maßnahmen sollen die Früherkennung stärken und dazu beitragen, durch frühzeitiges Erkennen einer Krebserkrankung die Überlebensaussichten der Betroffenen zu verbessern und dadurch die Sterblichkeit an Krebs in der Bevölkerung zu senken.

Finanzierung: Die Studie wurde finanziert mit Mitteln des Robert Koch-Instituts und des Bundesministeriums für Gesundheit. Interessenkonflikt: Die korrespondierende Autorin gibt für sich und ihre Koautorin an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

Bergmann E, Kalcklösch M, Tiemann F (2005): Inanspruchnahme des Gesundheitswesens. Erste Ergebnisse des telefonischen Gesundheitssurveys 2003. In: Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 48 (12): 1365–1373.

Bundesministerium für Gesundheit (2012): Fortschritte für die Krebsbekämpfung – Kabinett beschließt das Gesetz zur Weiterentwicklung der Krebsfrüherkennung und zur Qualitätssicherung durch klinische Krebsregister. Pressemitteilung vom 22. August 2012. <http://www.bmg.bund.de/ministerium/presse/pressemitteilungen/2012-03/krebsfrueherkennungs-und-registergesetz.html> (Abrufdatum: 10.09.2012).

Gemeinsamer Bundesausschuss (2011): Richtlinie über die Früherkennung von Krebserkrankungen in der Fassung vom 18. Juni 2009, zuletzt geändert am 16. Dezember 2010, veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 34: S. 864, in Kraft getreten am 3. März 2011.

Gößwald A, Lange M, Dölle R et al. (2013): Die erste Welle der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1): Gewinnung von Studienteilnehmenden, Durchführung der Feldarbeit und Qualitätsmanagement. In: Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 56 (5-6): 611–619.

Gößwald A, Lange M, Kamtsiuris P et al. (2012): DEGS: Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland. Bundesweite Quer- und Längsschnittstudie im Rahmen des Gesundheitsmonitorings des Robert Koch-Instituts. In: Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 55 (6–7): 775–780.

Kamtsiuris P, Lange M, Hoffmann R et al. (2013): Die erste Welle der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1): Stichprobendesign, Response, Gewichtung und Repräsentativität. In: Bundesgesund-

heitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 56 (5–6): 620–630.

Kooperationsgemeinschaft Mammographie (2012): Evaluationsbericht 2008–2009. Ergebnisse des Mammographie-Screening-Programms in Deutschland. Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Berlin.

Kraywinkel K, Bertz J, Laudi A et al. (2012): Epidemiologie und Früherkennung häufiger Krebserkrankungen in Deutschland. GBE kompakt. 3(4). Robert Koch-Institut. Berlin. <http://www.rki.de/gbe-kompakt> (Abrufdatum: 06.08.2012).

Kurth BM (2012): Das Gesundheitsmonitoring – was es enthält und wie es genutzt werden kann. In: Public Health Forum 20 (76): 4.e1–4.e3.

Kurth BM, Lange C, Kamtsiuris P et al. (2009): Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut. In: Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 52 (5): 557–570.

Lampert T, Kroll L, Müters S et al. (2013): Messung des sozioökonomischen Status. In: Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 56 (5–6): 631–636.

Robert Koch-Institut (2010): Verbreitung von Krebserkrankungen in Deutschland. Entwicklung der Prävalenzen zwischen 1990 und 2010. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch-Institut. Berlin.

Robert Koch-Institut (2009): DEGS – Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland. Projektbeschreibung. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch-Institut. Berlin.

Robert Koch-Institut, Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister (2012): Krebs in Deutschland 2007/2008. 8. Ausgabe. Robert Koch-Institut. Berlin.

Scheffer S, Dauven S, Sieverding M (2006): Soziodemografische Unterschiede in der Teilnahme an Krebsfrüherkennungsuntersuchungen (KFU) in Deutschland – Eine Übersicht. In: Gesundheitswesen 68 (3): 139–146.

Scheidt-Nave C, Kamtsiuris P, Gößwald A et al. (2012): German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS) – design, objectives and implementation of the first data collection wave. In: BMC Public Health 12: 730.

Starker A, Bertz J, Saß AC (2012): Inanspruchnahme von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen. In: Robert Koch-Institut (Hrsg) Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2010“ Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch-Institut. Berlin.

Starker A, Saß AC (2013): Inanspruchnahme von Krebsfrüherkennungsuntersuchungen: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). In: Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 56 (5–6): 858–867.

Starker A, Saß AC (2007): Eigenverantwortung + Hausarzt = gut versorgt? Ergebnisse des Telefonischen Gesundheitssurveys 2004 zum Präventionsverhalten in Deutschland. In: Prävention und Gesundheitsförderung 2, Supplement 1: P124.

Starker A, Saß AC, Ziese T (2006): Inanspruchnahme von Gesundheits- und Krebsfrüherkennungsuntersuchungen. Wer nutzt sie (nicht) und warum? In: Gesundheitswesen 68 (7): A125.

Statistisches Bundesamt (2012): Todesursachenstatistik 2011. <http://www.gbe-bund.de> (Abrufdatum: 11.11.2013).

Stiftung Lebensblicke, Wuppermann D (2011): Aktueller Wissensstand der Bevölkerung zur Darmkrebsvorsorge. Persönliche Mitteilung über unveröffentlichte Auswertungen. (Abrufdatum: 09.07.2011).

Streich W, Hellmeier W (2009): Teilnahme an Vorsorge- und Früherkennungsuntersuchungen. NRW Kurz und informativ, April 2009. [http://www.lzg.gc.nrw.de/\\_media/pdf/gesundheitsberichtedaten/nrw-kurz-und-informativ/teilnahme-vorsorge-frueherkennung\\_0905.pdf](http://www.lzg.gc.nrw.de/_media/pdf/gesundheitsberichtedaten/nrw-kurz-und-informativ/teilnahme-vorsorge-frueherkennung_0905.pdf) (Abrufdatum: 30.10.2012).

Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in der Bundesrepublik (2012b): Teilnahme an gesetzlichen Früherkennungsuntersuchungen und an Beratungen zur Prävention des Darmkrebs im Jahr 2011. [http://www.zi.de/cms/fileadmin/images/content/PDFs\\_alle/Beteiligungsdaten\\_2011\\_Deutschland\\_erw.pdf](http://www.zi.de/cms/fileadmin/images/content/PDFs_alle/Beteiligungsdaten_2011_Deutschland_erw.pdf) (Abrufdatum: 30.10.2012).

Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in der Bundesrepublik, Altenhofen L (2012a): Teilnahme an gesetzlichen Früherkennungsuntersuchungen im Jahr 2011. Unveröffentlichte Sonderauswertung für das Robert Koch-Institut. (Abrufdatum: 15.10.2012).

Zok K (2007): Wahrnehmung und Akzeptanz von Früherkennungsuntersuchungen. Ergebnisse einer Repräsentativ-Umfrage unter GKV-Versicherten. WIdO Monitor 03/2007. [http://www.wido.de/fileadmin/wido/downloads/pdf\\_wido\\_monitor/wido\\_mon\\_3-07\\_0108.pdf](http://www.wido.de/fileadmin/wido/downloads/pdf_wido_monitor/wido_mon_3-07_0108.pdf) (Abrufdatum: 30.10.2012).

## Kontakt

Anne Starker  
Abteilung für Epidemiologie und  
Gesundheitsmonitoring  
Robert Koch-Institut  
General-Pape-Str. 62–66  
12101 Berlin  
E-Mail: a.starker[at]rki.de

[RKI]

# Bundesweite Erhebung von Aktivitäten zu Klimawandel und Gesundheit

## Inquiry about activities on climate change and health in Germany

Jana Kandarr<sup>1</sup>, Heiko Reckert<sup>1</sup>, Detlef Laußmann<sup>2</sup>, Marjolein Haftenberger<sup>2</sup>,  
Hildegard Niemann<sup>2</sup>, Christa Scheidt-Nave<sup>2</sup>, Klaus Stark<sup>2</sup>, Mirko Faber<sup>2</sup>,  
Wolfgang Straff<sup>1</sup>, Hans-Guido Mücke<sup>1</sup>

### Abstract

The anthropogenic climate change can have negative effects on human health. With the nationwide survey of activities, actions, initiatives, measures, projects and more at the federal, state and local level, the Federal Environment Agency not only creates a central service point for information on activities in the area of „climate and health“, but also enables all relevant stakeholders to more easily get in touch with and learn from each other and ideally to reduce costs.

### Zusammenfassung

Der anthropogene Klimawandel kann negative Einflüsse auf die menschliche Gesundheit haben. Mit der bundesweiten Erhebung von Aktivitäten, Aktionen, Initiativen, Maßnahmen, Projekten und anderem mehr auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene schafft das Umweltbundesamt im Rahmen des Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit (APUG) nicht nur eine zentrale Informationsstelle über Aktivitäten im Bereich „Klima und Gesundheit“, sondern ermöglicht allen relevanten Akteuren sich untereinander besser zu vernetzen, voneinander zu lernen und idealerweise Kosten einzusparen.

## Klimawandel und Gesundheit

Der durch Menschen verursachte Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur führt dazu, dass einige Folgen des Klimawandels schon heute spürbar sind. Aufgrund der Trägheit des Klimasystems werden andere Folgen aber erst zukünftig in Erscheinung treten. Diese Folgeerscheinungen können sich beträchtlich auf die menschliche Gesundheit auswirken. Extremwetterereignisse, wie intensive Hitze- und Trockenperioden sowie Starkregenereignisse, sind in Deutschland zu erwarten. Es ist auch mit längeren Pollenflugperioden allergieauslösender Pflanzen zu rechnen. Die Populationsgrößen bestimmter krankheitsübertragender Tiere, wie zum Beispiel von Stechmücken und Zecken, unterliegen ebenfalls klimabedingten Veränderungen. So findet der gemeine Holzbock (*Ixodes ricinus*), die bekannteste Art der Schildzecke und der Überträger der für den Menschen gefährlichen Lyme-Borreliose, in immer weiteren Teilen Deutschlands optimale Lebensbedingungen vor. Die eingeschleppte Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) als Träger verschie-

dener gefährlicher tropischer Viren, wurde auch im Sommer 2013 wiederholt in Bayern und Baden-Württemberg gefunden. Darüber hinaus könnte die Zunahme von Sommer- und Hitzetagen auch dazu führen, dass sich Menschen zukünftig noch häufiger im Freien aufhalten und dadurch verstärkt einer Vielzahl von gesundheitsrelevanten Faktoren, wie UV-Strahlung und bodennahen Ozonkonzentrationen, ausgesetzt sein werden.

## Bundesweite Erhebung von Aktivitäten auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene

Um den vielfältigen Herausforderungen und potenziellen Einflüssen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit zu begegnen, haben das Robert Koch-Institut (RKI) und das Umweltbundesamt (UBA) gemeinsam im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) und des Bundesministeriums für

<sup>1</sup> Umweltbundesamt, Berlin.

<sup>2</sup> Robert Koch-Institut, Berlin.





Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) einen allgemeinen Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland erarbeitet. Diese finden Sie nun auch online auf der APUG-Website unter <http://www.apug.de/umwelteinfluesse/klimawandel/index>.

Das Dokument stellt allgemeine Handlungsempfehlungen dar, die im Weiteren von den zuständigen Institutionen in konkrete Maßnahmen und Handlungsschritte umgesetzt werden sollten. Es ist nicht die Intention des Dokuments, im Detail auf die konkrete Ausgestaltung der in den Handlungsfeldern vorgeschlagenen Ziele und Empfehlungen einzugehen, weil sich die möglichen Maßnahmen und Vorgehensweisen von Institution zu Institution deutlich unterscheiden können.

Die Handlungsempfehlungen wurden von externen Expertinnen und Experten aus Forschung, Wissenschaft und Verwaltung begutachtet und im Rahmen von Stakeholderworkshops diskutiert.

## Aufruf zur Teilnahme

Das RKI und das UBA identifizierten in ihrer Studie sechs übergeordnete Handlungsfelder. Um diese Handlungsfelder mit Leben zu füllen, erhebt das UBA im Rahmen des Aktionsprogramms Umwelt und Gesundheit (APUG) ab sofort die vielfältigen Aktivitäten und Maßnahmen im Bereich „Klimawandel und Gesundheit“, die in Deutschland auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene durchgeführt werden. Mit dieser Erhebung soll eine Übersicht über bereits abgeschlossene, aktuell laufende und noch geplante praxisrelevante Aktivitäten, Projekte, Aktionen und Informationsangebote zu gesundheitsbezogenen Anpassungsmaßnahmen erstellt werden. Damit schafft das UBA einen zentralen, bundesweiten Anlaufpunkt, in dem diese vielfältigen Maßnahmen übersichtlich eingestellt und für die Öffentlichkeit und Fachöffentlichkeit sichtbar gemacht werden.

Das UBA bittet Sie deshalb um Ihre Mithilfe. Gehen Sie auf die APUG-Webseite, füllen Sie das Erhebungsformular unter [\[welteinfluesse/klimawandel/fragebogen/index\]\(http://www.apug.de/umwelteinfluesse/klimawandel/fragebogen/index\) aus und teilen Sie uns Ihre Projekte zur Anpassung an den Klimawandel auf kommunaler, regionaler oder nationaler Ebene mit.](http://www.apug.de/um-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

Besonders wichtig ist dabei die Zuordnung Ihrer Aktivitäten, Aktionen, Initiativen, Maßnahmen, Projekte und anderem mehr zu einem der sechs **Handlungsfelder**, einem entsprechenden **Ziel** sowie Ihre **Empfehlungen für zukünftige Aktivitäten ähnlicher Art**.

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit!

## Ziele der Erhebung

Die Erhebung wird:

- eine zentrale Plattform schaffen, die die deutschen Aktivitäten und Projekte im Bereich Klimawandel und Gesundheit übersichtlich darstellt,
- die Initiativen der Bundesländer und Kommunen ersichtlich machen, bündeln und die Akteure untereinander vernetzen,
- zukünftige Kooperations- und Fördermöglichkeiten aufzeigen, den Wissensaustausch verbessern und dadurch Synergieeffekte schaffen,
- dabei helfen, Projekte kosteneffizienter durchzuführen,
- aufzeigen, welche Anpassungsstrategien im Fokus der Bundesländer und Kommunen stehen und wo noch Verbesserungspotenzial besteht,
- dabei helfen, den Aufbau von unnötigen Parallelstrukturen zu vermeiden,
- ein zeitnahes, abgestimmtes Handeln von Bund, Ländern und Kommunen gegen die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels ermöglichen,
- der Ableitung weiterer konkreter Handlungsempfehlungen dienen.

Darüber hinaus ist beabsichtigt, die Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Erhebung in die Fortschrittsberichterstattung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) im Jahr 2014 einfließen zu lassen. Die von Ihnen gemeldeten Aktivitäten werden auf der APUG-Webseite in der Rubrik „Klimawandel und Gesundheit“ und später auch auf der Seite des UBA eingestellt. Mit Ihrer Hilfe wird sich das Dokument mit den Handlungsempfehlungen sukzessive weiterentwickeln.

## Die sechs Handlungsfelder



Empfehlungen im **Handlungsfeld 1** betreffen die frühzeitige Erkennung möglicher Gesundheitsgefahren, unter anderem durch die Erfassung meteorologischer Parameter sowie die Beobachtung und Überwachung von potenziellen Krankheitsüberträgern. Beispiele für Projekte können UV-, Pollen- und Lebensmittelmonitorings, die Weiterentwicklung von Klimamodellen hinsichtlich der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Identifizierung von Risikogebieten sein.



Zu den Empfehlungen des **Handlungsfeldes 2** gehören unter anderem Forschungen zu Hitzeeinwirkungen auf den menschlichen Organismus, die gesundheitlichen Auswirkungen von UV-Strahlung, das Monitoring und die Identifizierung von Populationsgrößen von Krankheitsüberträgern, die Verbreitung von Infektionserregern sowie klimabedingte Veränderungen der Luftqualität und des Pollenflugs.



Das **Handlungsfeld 3** betrifft Aufklärungsangebote von Bund und Ländern für vulnerable Gruppen (z. B. geschwächte und ältere Menschen oder Säuglinge) und gefährdete Berufsgruppen (z. B. Arbeiter im Garten- und Straßenbau oder in der Landwirtschaft). Darüber hinaus fallen Hautkrebs-Screenings, Evaluierungen der Umsetzung und Wirksamkeit von

Handlungsempfehlungen und Präventionsmaßnahmen wie Hitzewarnsysteme und UV-Indizes in dieses Handlungsfeld.



In das **Handlungsfeld 4** fallen beispielsweise die Erarbeitung strukturierter Versorgungs- und Behandlungspläne zur Prävention von hitzebedingten Erkrankungen (Hitzeaktionspläne), die Entwicklung und Umsetzung neuer Behandlungsmethoden für vektorassoziierte Krankheiten und die Bereitstellung von leicht zugänglichen Informationsquellen.



**Handlungsfeld 5** betrifft Aufklärungsmaßnahmen im schulischen Unterricht, in Ausbildungsplänen sowie in der universitären Lehre. Beispiele für Projekte in diesem Handlungsfeld sind der Einsatz von Bildungsmaterialien (z. B. des BMU oder UBA) im Schulunterricht, die Aufnahme von klimawandelbezogenen Lehrinhalten in die Ausbildungspläne medizinischer und gesundheitsbezogener Berufe sowie die Weiterbildung von medizinischem Personal in der Erkennung und Behandlung von klimawandelbedingten Krankheiten.



**Handlungsfeld 6** betrifft Kooperationsprojekte zwischen Bund und Ländern, Möglichkeiten zu einer besseren Vernetzung von Behörden und engeren Zusammenarbeit auf internationaler Ebene sowie sonstige Maßnahmen zur Verbesserung der Kommunikation und Vernetzung der beteiligten Akteure.

Bildquellenangaben zu den Handlungsfeldern 1–6:  
 1: © Volker Dietze; 2: © Michael Bürke / www.pixelio.de;  
 3: © Jetti Kuhlemann / www.pixelio.de; 4: © Alexander Rath/ 123RF;  
 5: © <http://www.gehalt-tips.de/gehaelter/ausbildung-weiterbildung/>; 6: © Stefan-Xp.

### Kontakt

Jana Kandarr  
 Umweltbundesamt  
 Fachgebiet II 1.1 „Übergreifende Angelegenheiten  
 Umwelt und Gesundheit“  
 Corrensplatz 1  
 14195 Berlin  
 E-Mail: [jana.kandarr\[at\]uba.de](mailto:jana.kandarr[at]uba.de)

[UBA]





Diese und weitere aktuelle Veröffentlichungen können Sie auf der Internetseite des Umweltbundesamtes im Bereich Publikationen kostenfrei lesen und herunterladen: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

