

ASU

Zeitschrift für medizinische Prävention

E 4375
55. Jahrgang
Februar 2020
Gentner Verlag



Ausgabe 02.2020

PRAXIS Der Allostatic Load Index

WISSENSCHAFT Blaulichtgefährdung der Augen durch LED

AKTUELL Relevanz von Humanstudien für die Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten



GRENZWERTE UND TOXIKOLOGIE

BEWERTUNG KANZEROGENER STOFFE

Ein Archiv im Keller...

... haben wir nicht, aber ältere Ausgaben finden Sie schnell und bequem in unserem **Online-Zugang**.



JETZT KOSTENLOS TESTEN

- Zwei Ausgaben probelesen
- Zugriff auf das Online-Heftarchiv
- E-Paper Versand vorab

Hier geht's zur Anmeldung:

www.asu-arbeitsmedizin.com/Abo



Gentner Verlag

Einfach.
Aktuell.
Informieren.

Jetzt auch als E-Paper.

Arbeitsmedizin | Sozialmedizin | Umweltmedizin

ASU

Zeitschrift für medizinische Prävention

Wissen bringt Sicherheit

Um das Risiko einer Krebserkrankung gerade am Arbeitsplatz zu minimieren, sollten krebserzeugende Stoffe nicht eingesetzt werden. Wo dies nicht möglich ist, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um gefährdete Beschäftigte zu schützen. Dazu gehören neben Schulungen und arbeitsmedizinischer Betreuung der Beschäftigten auch Schutz- und Sicherheitskonzepte. Ein Grundbaustein der Arbeitsschutzmaßnahmen sind die Grenzwerte für krebserzeugende Arbeitsstoffe. Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (MAK-Kommission) leitet für kanzerogene Stoffe Grenzwerte ab, wenn entsprechende wissenschaftliche-toxikologische Daten verfügbar sind (MAK-Werte, maximale Arbeitsplatzkonzentration). Sie dienen als Grundlage für die Ableitung der Arbeitsplatzgrenzwerte des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS). Die Beiträge der vorliegenden Ausgabe zu diesem Schwerpunktthema beleuchten verschiedene Aspekte der Grenzwertableitung und deren praktische Umsetzung.

Im ersten Beitrag erläutert Eberhard Nies das Risikokonzept für krebserzeugende Arbeitsstoffe mit unbekanntem oder primär genotoxischen Wirkungen des AGS und stellt die Stärken und Schwächen des Konzepts dar. Einige der beschriebenen offenen Fragen stellen generelle Herausforderungen an die regulatorische Toxikologie dar – wie etwa die Art der Dosis-Wirkungs-Beziehungen im Niedrigdosisbereich.

Krebserzeugende Arbeitsstoffe können aufgrund ihres Wirkungsmechanismus differenziert werden. Genotoxisch kanzerogene interagieren direkt mit dem Erbgut, während nichtgenotoxische kanzerogene die Kanzerogenese über andere Mechanismen fördern oder auslösen. Der Beitrag der Autorinnen Gerlinde Schriever-Schwemmer und Patricia Kreis erläutert die komplexen Testsysteme, mit denen fragliche chemische Stoffe bezüglich ihres genotoxischen und mutagenen Potenzials getestet werden.

Der Erfolg von Schutzmaßnahmen muss überprüft werden – dies kann sowohl durch Biomonitoring als durch Luftmessungen geschehen. Wobbeke Weistenhöfer beschreibt anhand des Kanzerogens Cobalt die verschiedenen Beurteilungswerte, die die Bewertung der Biomonitoring-Daten ermöglichen. Ralph Heibisch führt die Leserschaft durch die TRGS 402, die eine einheitliche Vorgehensweise bei

Luftmessungen sicherstellt, was eine essenzielle Voraussetzung zum Erzielen vergleichbarer Ergebnisse ist.

In seinem zweiten Beitrag zum Schwerpunktthema, hat sich Eberhard Nies der aktuellen Diskussion um den Arbeitsplatzgrenzwert für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen gestellt. Er stellt das Vorgehen der MAK-Kommission und des AGS schlüssig dar und relativiert die Vorwürfe der Bauwirtschaft.

Ein Beispiel aus der Praxis soll auch nicht fehlen. Gabriele Leng schildert den Stellenwert und den Nutzen des 1,3-Butadien-Biomonitorings für den Arbeitsschutz in einem Unternehmen.

Im wissenschaftlichen Teil werden zwei heftig diskutierte Themen aufgegriffen – die gesundheitliche Relevanz von Emissionen von Dieselmotoren und Humanstudien. Helmut Greim hat über Dieselmotoren und den Emissionen einen sehr informativen Überblick in *Archives of Toxicology* publiziert, dessen wesentlichen Inhalte er für unsere Leserschaft zusammengefasst hat. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat zur Relevanz von Humanstudien ein Positionspapier verfasst, auf das wir hinweisen. Derzeit werden weltweit große wissenschaftliche Anstrengungen unternommen, um Ergebnisse von In-vitro-Modellen auf den Menschen übertragbar zu machen. Zum einen, um Tiere zu schonen, zum anderen, um in Hochdurchsatzversuchen eine Vielzahl von Chemikalien in einer kürzeren Zeit testen zu können. Doch letztlich haben wissenschaftliche Daten aus epidemiologischen Studien oder kontrollierten Probandenstudien immer noch den höchsten Stellenwert zur Risikoabschätzung. Die Voraussetzungen für die Durchführung von Probandenstudien sowie deren Relevanz für die Ableitung von Grenzwerten werden in dem Positionspapier dargestellt.

Ich hoffe, dass Sie einen Einblick in die regulative Toxikologie – gerade im Hinblick auf den Schutz vor kanzerogenen Stoffen – erhalten. Ich freue mich sehr, dass ich mit den Autorinnen und Autoren aktuelle und ehemalige Mitglieder der MAK-Kommission gewinnen konnte, die Aspekte unserer Arbeit zum Schutz der Beschäftigten in dieser Ausgabe darstellen.

Ihre Simone Schmitz-Spanke
Chefredakteurin



Prof. Dr. med. Simone Schmitz-Spanke

**40 Millionen am Berg.
Faszination und Höhenrisiko.**



Th. Küpper • K. Ebel • U. Gieseler (Hrsg.)

Moderne Berg- und Höhenmedizin

■ **Handbuch für Ausbilder,
Bergsteiger, Ärzte**

ISBN 978-3-87247-690-6
1. Auflage 2009, gebunden,
vierfarbig, 544 Seiten
Ladenpreis € 50,-, sFr 80,-

Kompaktwissen. Professioneller Anspruch. Verhaltens-Checkliste

Bestellcoupon

Ja, bitte senden Sie mir Exemplar(e) der
Neuerscheinung Th. Küpper et al. (Hrsg.),
Moderne Berg- und Höhenmedizin
(Best.-Nr. 69000), zum Preis von € 50,- zzgl. Versandkosten gegen Rechnung zu.

Gentner Verlag
Buchservice Medizin
Postfach 101742
70015 Stuttgart

Mehr Informationen
und versandkostenfrei
online bestellen



Gentner Verlag • Buchservice Medizin
Postfach 101742 • 70015 Stuttgart
Tel. +49 711/63672-925 • Fax +49 711/6 67 21 974
E-mail: buch@gentner.de • www.gentner.de/buecher

Fax-Hotline: 0711 / 6 67 21 974

Name, Vorname

Firma/Institution

Beruf/Abteilung/Funktion

Straße / Postfach Nr.

Land PLZ Ort

Telefon Telefax

E-Mail

Datum Unterschrift med_221

EDITORIAL

- 71 Wissen bringt Sicherheit **S. Schmitz-Spanke**

PRAXIS

SCHWERPUNKT

- 74 Fünfzehn Jahre ohne Technische Richtkonzentrationen **E. Nies**
 77 Was ist Mutagenität/Genotoxizität? **G. Schriever-Schwemmer, P. Kreis**
 82 Beurteilungswerte in biologischem Material **W. Weistenhöfer et al.**
 87 Arbeitsplatzmessungen **R. Hebisch**
 93 Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung **E. Nies**
 97 Biomonitoring in der Gefährdungsbeurteilung **G. Leng et al.**
 101 Der Allostatic Load Index **D. Mauss**

WISSENSCHAFT

- 104 Sind Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren noch tolerabel?
Are vehicles with diesel engines still acceptable? **H. Greim**
 109 Blaulichtgefährdung der Augen durch Lichtemittierende Dioden (LED)?
Blue light from light-emitting diodes (LED): a risk to the eyes? **Y. König et al.**
 114 Betriebliches Eingliederungsmanagement aus der Beschäftigtenperspektive
Occupational reintegration management from an employee perspective
M. Opeit et al.
 123 Aktuelles aus der Wissenschaft:
Relevanz von Humanstudien für die Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten

RUBRIKEN

- 124 Die DGAUM informiert
 127 Der VDBW informiert
 129 Meldungen
 131 Personalien
 131 Termine
 134 Themenschau
 135 Impressum

Fünfzehn Jahre ohne Technische Richtkonzentrationen

Entwicklung des Risikokonzepts zur Expositionsbegrenzung krebserzeugender Arbeitsstoffe in Deutschland

RISIKOKONZEPT Nach Tilgung der TRK-Werte für krebserzeugende Arbeitsstoffe, die sich nach dem Stand der Technik richteten, entschied man sich in Deutschland für ein risikobasiertes Konzept zur Regulierung kanzerogener Substanzen ohne bekannte toxikologische Wirkschwelle. Was wurde seitdem erreicht? Welche Fragen sind noch offen? **Eberhard Nies**

Risikobasierte Regulation

Mit der Novelle der Gefahrstoffverordnung zum Ende des Jahres 2004 wurden in Deutschland die Technischen Richtkonzentrationen (TRK) für krebserzeugende Arbeitsstoffe abgeschafft, die sich an der technischen Machbarkeit orientierten. Für gut untersuchte Substanzen, deren Wirkmechanismus einen quantifizierbaren toxikologischen Schwellenwert plausibel erscheinen lässt, kann der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) dem zuständigen Bundesministerium für Arbeit und Soziales weiterhin in bewährter Weise gesundheitsbasierte Luftgrenzwerte vorschlagen. Diese finden üblicherweise als „Arbeitsplatzgrenzwerte“ (AGW) Eingang in die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900.

Für krebserzeugende Arbeitsstoffe mit unbekanntem oder primär gentoxischem Wirkmechanismus ist es nach jetzigem Wissensstand nicht möglich, einen Schwellenwert abzuleiten. Die Schadensereignisse werden

als stochastisch aufgefasst. Zur Regulierung solcher Stoffe verständigten sich die deutschen Sozialpartner erfreulich schnell auf ein risikobasiertes Konzept, wobei sie sich von einem bereits existierenden Ansatz aus den Niederlanden inspirieren ließen. Die Übereinkunft bestand darin, dass stoffunabhängig zwei Risikogrenzen definiert wurden, die als „Toleranzrisiko“ (4:1000) und „Akzeptanzrisiko“ (4:100.000) bezeichnet werden. Diese Zahlen sind zu verstehen als zusätzliche durch Arbeitsplatzexposition bedingte Krebs-erkrankungsrisiken.

Zur Veranschaulichung des Konzepts wird gern die Analogie zu einer Verkehrsampel herangezogen: Werte oberhalb der so genannten Toleranzkonzentration, die bei gleichbleibender arbeitslebenslanger Exposition mit dem Toleranzrisiko verbunden ist, entsprechen der Farbe Rot, weil dieses Risiko am Arbeitsplatz nicht überschritten werden darf. Am anderen Ende der Skala steht die Akzeptanzkonzentration als anzustrebende

AUTOR

Dipl.-Biol. Dr. rer. nat. Eberhard Nies
Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin
eberhard.nies@dguv.de

Zielgröße, die den Übergang von Gelb zu Grün markiert.

Rechtlich ist das deutsche Risikokonzept mit einem gestuften Schutzmaßnahmenkatalog verknüpft. Bei niedrigem, mittlerem oder hohem Krebs-erkrankungsrisiko sind unterschiedlich ausgeprägte Vorkehrungen administrativer, technischer, organisatorischer oder arbeitsmedizinischer Art zu treffen, sofern eine Substitution nicht möglich ist. So muss bei hohem Risiko Atemschutz nicht nur zur Verfügung gestellt, sondern auch verpflichtend getragen werden, und bei längerer Überschreitung der Akzeptanz- oder Toleranzkonzentration muss ein detaillierter Plan mit konkreten Schritten zur weiteren Expositionsminderung bei der zuständigen Aufsichtsbehörde eingereicht werden.

Ableitung von Expositions-Risiko-Beziehungen

Mit diesen sozialpolitischen Vorgaben entwickelten anschließend Fachleute aus Toxikologie, Arbeitsmedizin und Statistik einen ausführlichen Leitfadens, in dem die Modellierung von Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB) aus verfügbaren Daten der wissen-

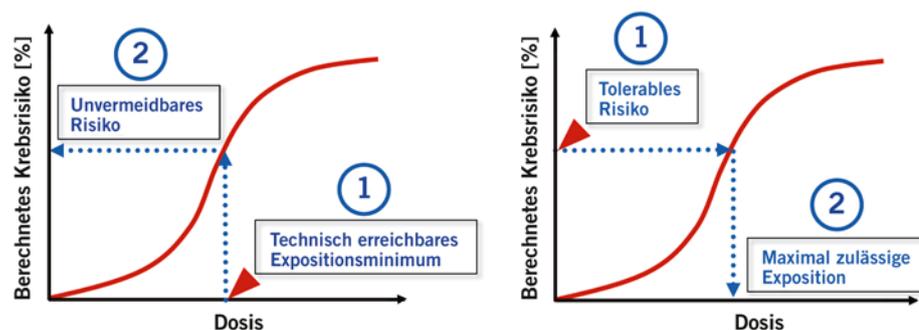


Abb. 1: Ansätze der Regulation bei angenommenem Risikokontinuum: technikbasierte (links) und risikobasierte Expositionsbegrenzung (rechts)

schaftlichen Literatur nach einem einheitlichen und transparenten Verfahren beschrieben wird. Aus den ERB können dann stoffspezifisch die letztlich entscheidenden Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen abgelesen werden.

Die Autorinnen und Autoren des Leitfadens war sich darüber einig, dass der Anspruch eines harmonisierten Vorgehens nicht durch starre Algorithmen mit standardisierten, fest vorzuschreibenden Extrapolations- oder Sicherheitsfaktoren und Kurvenanpassungsmodellen erreicht werden kann. Erforderlich ist stets eine wissenschaftlich fundierte Fall-zu-Fall-Betrachtung unter dezidierter Berücksichtigung der Studienqualität und des jeweiligen Krebsentstehungsprozesses. Die einzelnen Ableitungsschritte sind in einem Begründungspapier zu dokumentieren, aus dem auch die Unsicherheiten hervorgehen.

Bevorzugter Ausgangspunkt der Berechnungen sind geeignete Daten vom Menschen. Angesichts inhärenter Schwächen vieler epidemiologischer Studien, wie unzureichende Expositionserfassung oder nicht berücksichtigte Störfaktoren, muss aber oft auf tierexperimentelle Daten zurückgegriffen werden. Die größte Schwierigkeit für die regulatorische Toxikologie ist dabei weniger die Bewertung der Relevanz bestimmter an Nagern erhobener Befunde für den Menschen. Als ungleich komplizierter erwies sich die Extrapolation von den im Tierversuch eingesetzten sehr hohen Dosen auf die an Arbeitsplätzen erwartbaren Konzentrationen. Während die „Nachweisgrenze“ für tumortragende Tiere bei den üblichen Individuenzahlen pro Dosisgruppe im Prozentbereich liegt, sollen Aussagen über Expositionsäquivalente beim Menschen getroffen werden, deren Größenordnung vom Akzeptanzrisiko in Höhe von 4:100.000 bestimmt wird, also um bis zu vier Zehnerpotenzen niedriger ist. Diese gewaltige Lücke durch ein überzeugendes Kurvenmodell zu überbrücken, ist extrem herausfordernd. Oft bleibt in Ermangelung besseren Wissens eine simple Dreisatzrechnung als einziger Ausweg.

Zwischenbilanz

Mittlerweile hat der AGS für über 20 wichtige Arbeitsplatzkanzerogene Toleranz- und Akzeptanzkonzentrationen abgeleitet. Zusammen mit dem Leitfaden zur Quantifizierung

von Expositions-Risiko-Beziehungen sind sie in der TRGS 910 veröffentlicht (s. „Weitere Infos“). Für eine Übergangszeit, die eigentlich schon 2018 hätte enden sollen, ist eine erhöhtes Akzeptanzrisiko (4:10.000 statt 4:100.000) ausgewiesen.

Es zeigte sich, dass mehrere ehemalige TRK-Werte, die den Stand der Expositionsminde-technik der 1990er Jahre widerspiegeln, mit einem hohen Erkrankungsrisiko oberhalb der Toleranzgrenze korrelieren.

Im Übereifer wurde beinahe übersehen, dass einige Kanzerogene schon bei relativ niedrigen Konzentrationen durchaus auch nichtneoplastische adverse Gesundheitseffekte hervorrufen können, vor denen die Beschäftigten ebenfalls geschützt werden müssen. So mussten beispielsweise die aus Kanzerisierungsstudien errechneten Toleranzkonzentrationen für Acrylamid und Trichlorethen auf Werte unterhalb der toxikologischen Wirkschwelle für Neuro- bzw. Nephrotoxizität abgesenkt werden.

Wenngleich bei kleinen und mittleren Unternehmen teilweise noch Unklarheiten bei der Umsetzung bestehen, ist das Risikokzept nach persönlichem Eindruck des Verfassers dieser Zeilen recht gut aufgenommen worden. Es ist keinem utilitaristischen Kosten-Nutzen-Kalkül verpflichtet, sondern strebt danach, allen Beschäftigten unabhängig von der wirtschaftlichen Bedeutung eines Arbeitsstoffes, der Schwere oder Therapierbarkeit der vorzubeugenden Krebserkrankung und der Zahl der Exponierten ein nur sehr geringes Risiko zuzumuten. Das für viele etwas abstrakt erscheinende Minimierungsgebot der Gefahrstoffverordnung wird damit auf eine toxikologische Grundlage gestellt und in Zahlen gefasst.

Ausblick

Noch sind aber einige Fragen abzuklären. Sie stellen sich in Zusammenhang mit den berechneten niedrigen Akzeptanzkonzentrationen, die für einzelne Kanzerogene mit besonders hoher Wirkstärke nur

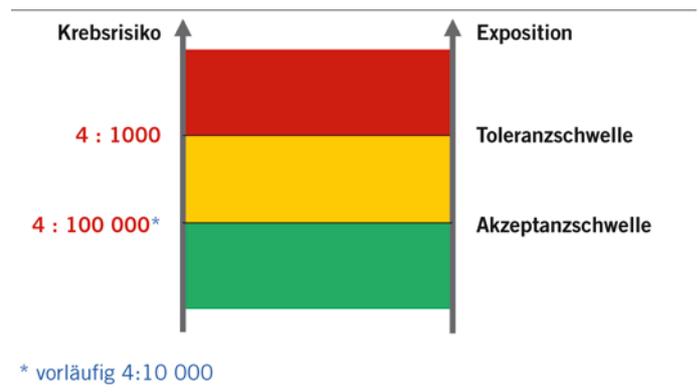


Abb. 2: Risikokzept nach TRGS 910.

knapp über der ubiquitären Belastung liegen können:

- Ist die lineare Extrapolation in den Niedrigdosisbereich als „Default“-Methode ein unangemessen konservatives Modell?
- Soll die Übergangsfrist für ein erhöhtes Akzeptanzrisiko verlängert werden?
- Ist die Akzeptanzkonzentration ein verbindliches Ziel für alle Unternehmen, Stoffe und Prozesse aufzufassen, und wenn ja, bis wann muss es erreicht werden?
- Wie kann die chemische Analytik den Anforderungen an immer empfindlichere Nachweisverfahren nachkommen?

Zurzeit wird die TRGS 910 überarbeitet. Die Neufassung soll auch die genannten Probleme einer Lösung näherbringen und für Anwenderinnen und Anwender besser verständlich werden. Noch zurückgestellt wurde eine Regelung für den Fall einer Koexposition gegen mehrere krebserzeugende Arbeitsstoffe.

Es ist bemerkenswert, dass die deutsche Strahlenschutzkommission in einer kürzlich veröffentlichten Empfehlung an das Bundesumweltministerium appelliert, „die Höhe des tolerablen Krebsrisikos durch Expositionen an unterschiedlichen Arbeitsplätzen mit den anderen zuständigen Ministerien mit dem Ziel einer Harmonisierung zu diskutieren.“ Dabei soll ausdrücklich das hier gewürdigte Arbeitsschutzkonzept für gentoxische Chemikalien berücksichtigt werden.

Das Konzept wird auch in einigen europäischen Nachbarländern lebhaft diskutiert. Aus Sicht des Bundesarbeitsministeriums in Bonn und Berlin ist es mit den so genannten



Foto: endopack/Getty Images

Das deutsche Risikokzept ist mit einem gestuften Schutzmaßnahmenkatalog verknüpft und sieht bei niedrigem, mittlerem oder hohem Krebs-erkrankungsrisiko unterschiedlich ausgeprägte Vorkehrungen administrativer, technischer, organisatorischer oder arbeitsmedizinischer Art vor

INFO

- Technische Richtkonzentrationen (TRK) für krebserzeugende Arbeitsstoffe wurden in Deutschland abgeschafft.
- Sie orientierten sich an einem schwierig zu definierenden Stand der Expositionsminderungs-technik.
- TRK sind stoff- und prozessabhängig mit unterschiedlichen Krebserrkrankungsrisiken für die Beschäftigten verbunden.
- Nach Novellierung der deutschen Gefahrstoffverordnung 2004/2005 wurde ein risiko-basiertes Konzept zur Regulierung von Kanzerogenen ohne bekannte toxikologische Wirk-schwelle eingeführt.
- Der neue Ansatz basiert auf Expositions-Risiko-Beziehungen, die von Fachleuten aus Literaturdaten abgeleitet werden müssen.
- Als Zielgröße wird stoffunabhängig ein sozialpolitisch vereinbartes, als gerade noch akzep-tabel angesehenes Krebserrkrankungsrisiko für alle Exponierten angestrebt.
- Noch zu lösende Fragen ergeben sich überwiegend aus den errechneten Zielkonzentrationen, die für einige potente Kanzerogene sehr niedrig sind.

Binding Occupational Exposure Limit Values (BOELV) kompatibel, die von der Europäi-schen Kommission als Mindeststandards im Rahmen der Krebs-/Mutagenrichtlinie 2004/37/EG und anderer Rechtsakte verfügt werden: Sofern die in Deutschland abgelei-tete Akzeptanzkonzentration unterhalb des BOELV für den jeweiligen Arbeitsstoff liegt,

wird von einer adäquaten Implementie-rung der EU-Richtlinien in nationales Recht ausgegangen. Das entsprechende Notifi-zierungsverfahren ist allerdings noch nicht abgeschlossen. ■

Interessenkonflikt: Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Literatur

Bender H: Risikokzept für krebserzeugende Stoffe. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 2014; 49: 436–445.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Bekanntmachung einer Empfeh-lung mit wissenschaftlicher Begründung der Strah-lenschutzkommission – Grundlagen zur Begründung von Grenzwerten für berufliche strahlenexponierte Personen. *BAnz AT* 14.11.2019 B5.

Nies E et al.: Expositionsbegrenzungen und Expositions-Risiko-Beziehungen – Schritte zur Konkretisierung des deutschen Risikokzeptes für krebserzeugende Arbeits-stoffe. *Gefahrstoffe Reinhalt Luft* 2012; 72: 183–190.

WEITERE INFOS

Bundesministerium für Arbeit und Soziales: TRGS 910 (Risi-kobezogenes Maßnahmenkon-zept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen). *GMBI* 2014, S. 258-270 [Nr. 12] vom 2.4.2014; zuletzt geändert und ergänzt: *GMBI* 2019 S. 120 [Nr. 7] vom 29.03.2019

https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-910.pdf?__blob=publicationFile&v=4



Was ist Mutagenität/Genotoxizität?

Welche Tests erbringen den Nachweis/welche Tests existieren?

GENOTOXIZITÄTSTEST

Testung der Genotoxizität dient der Aufklärung des kanzerogenen Potenzials und der Induktion von vererbaren Mutationen. Die drei wichtigsten genetischen Endpunkte, nämlich Genmutationen, Klastogenität und Aneugenität, müssen hinreichend erfasst werden. Auf eine entsprechende Metabolisierung der Substanz ist zu achten, um auch indirekte Genotoxizität aufzeigen zu können. Tests zur Erfassung der Zellteilung und der Zytotoxizität sowie das Mitführen positiver Kontrollen als Nachweis der adäquaten Testung sind unabdingbar. **Gerlinde Schriever-Schwemmer, Patricia Kreis**

Begriffe

Mutagenität ist die Fähigkeit einer Substanz (Chemikalie), Veränderungen in der DNA-Sequenz hervorzurufen. Diese Veränderung wird **Mutation** genannt. Mutationen können in jedem Organismus und jedem Zelltyp auftreten und werden bei der Zellteilung an die Tochterzelle weitergegeben. Die Art und Lage der Mutation bestimmt über das Schicksal der Zelle.

Genotoxizität ist die Fähigkeit einer Substanz (Chemikalie), Veränderungen im genetischen Material von Zellen auszulösen. Mit dem Begriff „genetisches Material“ sind sowohl DNA-Moleküle und Chromosomen als auch Strukturen gemeint, die für die korrekte Weitergabe der genetischen Informationen verantwortlich sind. Die Veränderungen im genetischen Material können zu Mutationen führen oder die Fehlerrate bei der Verdopplung der DNA bei jeder Zellteilung erhöhen. Die Genotoxizität ist somit nicht notwendigerweise mit einer Mutagenität verbunden. Jede mutagen wirkende Substanz wirkt genotoxisch, jedoch nicht jede genotoxisch wirkende Substanz ist mutagen.

Neben der Mutagenität wird dabei auch die klastogene und aneugene Eigenschaft untersucht.

- Als **klastogen** wird die Substanz bezeichnet, wenn sie Chromatiden- und Chromosomenbrüche hervorruft;
- als **aneugen**, wenn Fehlverteilungen von ganzen Chromosomen bei der Zellteilung auftreten;
- als **mutagen**, wenn eine Punktmutation, also der Austausch einer Base in der DNA-Sequenz, bzw. eine Leserastermuta-

tion, also ein Verschieben des Leserasters für das Aminosäure-kodierende Triplet, aus der Deletion oder Insertion einer oder mehrerer Basen stattgefunden hat.

Testsysteme

Unter Genotoxizitätstests werden sowohl Tests verstanden, die Gen-, Chromosomen- oder Genommutationen erfassen, als auch Indikatortests, die andere Effekte, wie zum Beispiel primäre DNA-Schäden, Reparatur- und Rekombinationsereignisse messen, die in einer mechanistischen Beziehung zum Prozess der Mutagenese stehen und häufig parallel zu Mutationen induziert werden. Genotoxizitätstests unterscheiden sich folglich hinsichtlich des genetischen Endpunkts (Genmutation, Chromosomenaberration, DNA-Reparatur etc.), aber auch hinsichtlich der verwendeten Zielzellen (Bakterien, kultivierte Säugerzellen, Knochenmarkszellen etc.) und der Berücksichtigung des Metabolismus (Einsatz von S9-Mix, Hepatozyten, Labortieren etc.). Zudem ist die Unterscheidung zwischen In-vitro-Tests (Bakterien, Säugerzellkulturen etc.) und In-vivo-Tests (Tierversuche) von praktischer Bedeutung. Von In-vivo-Tests an somatischen Zellen (Knochenmark, Blut, Leber etc.) sind Keimzelltests (z.B. Tests an Zellen der Keimbahn oder an Nachkommen exponierter Versuchstiere) abzugrenzen.

In vielen Fällen existieren Prüfrichtlinien nach OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) für die Testdurchführung, um eine Vereinheitlichung, Vergleichbarkeit, Reproduzierbarkeit und bessere Bewertbarkeit der Tests zu gewährleisten (OECD 2019; ➔ **Tabelle 1**).



Foto: privat

FÜR DIE AUTORINNEN

Dr. rer. nat. Gerlinde Schriever-Schwemmer
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie
 Institut für Angewandte Biowissenschaften
 Kaiserstr. 12 – 76131 Karlsruhe

gerlinde.schriever-schwemmer@lrz.tum.de

In-vitro-Genotoxizitätstests

Mutagenität

Mit Mutagenitätstests werden im Unterschied zu den übrigen Genotoxizitätstests in vitro DNA-Sequenzveränderungen erfasst.

Salmonella-Mutagenitätstest: Die bakteriellen Mutagenitätstests beruhen auf dem Prinzip der Rückmutation, also der Wiederherstellung einer verloren gegangenen, überlebensnotwendigen Funktion (Histidinsynthese). Positive Ergebnisse geben einen Hinweis auf ein mutagenes Potenzial (Induktion von Genmutationen) der Testsubstanz, das in weiteren Tests mit Säugerzellen abzuklären ist. Es stehen verschiedene Salmonella-Stämme zur Verfügung, die spezifisch auf Basenpaarsubstitutionen (TA100, TA1535) oder Leserastermutationen (TA97, TA98, TA 1537, TA1538) ansprechen. Die Stämme TA102 und TA104 sprechen auf beide Arten von Mutationen an und sind

Tabelle 1: Wichtige Genotoxizitätstests in vitro und in vivo

Testname	OECD-Prüfrichtlinie Nr. (Jahr)	Testung auf
In vitro		
<i>Bakterien</i>		
Bakterieller Mutagenitätstest in vitro	471 (1997)	Mutagenität
<i>Säugerzellen</i>		
Tests auf Induktion von DNA-Strangbrüchen mittels alkalischer Elution, alkalischer Entwindung, alkalischem Comet-Assay		Indikator für Genotoxizität
Test auf kovalente DNA-Bindung, ³² P-Postlabelling, DNA-gebundene Radioaktivität		Indikator für Genotoxizität
DNA-Schädigung und -Reparatur, UDS-Test in Säugerzellen in vitro	482 (1986; gelöscht)	Indikator für Genotoxizität
In-vitro-SCE (Schwesterchromatidaustausch)-Test in Säugetierzellen	479 (gelöscht)	Indikator für Genotoxizität
In-vitro-Chromosomenaberrationstest an Säugetierzellen	473 (2016)	Klastogenität
In-vitro-Mikronukleustest an Säugetierzellen	487 (2016)	Klastogenität und Aneugenität
In-vitro-Genmutationstest am Hprt und Xprt-Gen von Säugetierzellen	476 (2016)	Mutagenität
In-vitro-Genmutationstest am Thymidin-Kinase-Gen von Säugetierzellen	490 (2016)	Mutagenität
In-vitro-Pig-a-Test in humanen lymphoblastoiden TK6-Zellen und in L5178Y/TK ⁻ -Mauslymphomzellen, beinhaltet in „In-vivo-Pig-a-Mutations-Test an Erythrozyten“	In Prüfung (2020)	Mutagenität
In vivo		
<i>Soma- und Keimzellen</i>		
SCE		Indikator für Genotoxizität
In-vivo alkalischer Comet-Test an Säugetieren	489 (2016)	Indikator für Genotoxizität
UDS-Test mit Leberzellen in vivo	486 (1997)	Indikator für Genotoxizität
Chromosomenaberrationstest im Knochenmark von Säugetieren	475 (2016)	Klastogenität
Mikronukleustest in Erythrozyten von Säugetieren	474 (2016)	Klastogenität und Aneugenität
Fellfleckentest an der Maus	484 (1986; gelöscht)	Mutagenität
In-vivo-Genmutationstest an Soma- und Keimzellen transgener Ratten und Mäuse	488 (2013; Draft 2019)	Mutagenität
In-vivo-Pig-a/Pig-A-Mutations-Test an Erythrozyten	In Prüfung (2020)	Mutagenität
<i>Keimzellen</i>		
Erblicher Translokationstest an Ratte oder Maus	485 (1986)	Klastogenität und Aneugenität
Dominant-Letaltest an Ratte oder Maus	478 (2016)	Klastogenität
Chromosomenaberrationstest an Säugetier-Spermatogonien	483 (2016)	Klastogenität

besonders empfindlich gegenüber oxidativ wirkenden Mutagenen.

Bei den **Säugerzellen-Mutagenitätstests** kommt es durch eine mutagen wirkende Substanz zu Vorwärtsmutationen, das heißt zum Verlust einer lebenswichtigen Funktion. In den gängigen Mutagenitätstests geht eine bestimmte Enzymaktivität verloren; diese wird mit Hilfe von Selektionsverfahren dazu verwendet, um die Mutanten von den nicht-mutierten Zellen zu unterscheiden:

In-vitro-Genmutationstest am Hprt- und Xprt-Gen von Säugetierzellen: Das betroffene Enzym in diesem Test ist die Hypoxanthin- bzw. Xanthin-Guanin-Phosphoribosyltransferase (HPRT- bzw. XPRT-Test). Der HPRT-Test erfasst vor allem Basenpaarsubstitutionen, Leserastermutationen und kleine, auf das hprt-Gen beschränkte Deletionen und Insertionen. Die am häufigsten verwendeten Zelllinien für den HPRT-Test sind CHO, CHL, V79-Zellen des Chinesischen

Hamsters sowie L5178Y-Mauslymphomzellen und die humane TK6-Zelllinie. Klar positive Befunde weisen eindeutig auf ein mutagenes Potenzial der Testsubstanz hin.

In-vitro-Genmutationstest am Thymidin-Kinase-Gen von Säugetierzellen (TK⁻-Test): Dieser Test dient dem Nachweis von induzierten Genmutationen am autosomalen TK-Locus, dem Gen der Thymidin-Kinase, in heterozygoten (TK[±]) Zellen. TK-defiziente

Zellen können in einem Selektionsmedium wachsen, das Trifluorthymidin (TFT) enthält. Im Unterschied zum HPRT-Test führen auch Multilocusdeletionen und chromosomale Deletions- und Rekombinationsereignisse zu TFT-resistenten Kolonien. Solche Mutationen führen im Gegensatz zu den im Wesentlichen auf das TK-Gen beschränkten Mutationen, die große Kolonien mutierter Zellen hervorrufen, zu kleinen, langsam wachsenden Kolonien. Die getrennte Erfassung kleiner und großer Kolonien ist für die Beurteilung des Testergebnisses wichtig, da sie einen Hinweis darauf gibt, ob hauptsächlich Genmutationen oder chromosomale Veränderungen (klastogene Effekte) induziert wurden. Wegen dieser Besonderheit (Nachweis vererbbarer klastogener Effekte an einem bestimmten Genlocus) stellt der TK⁺-Test eine Kombination von Genmutations- und Chromosomenmutationstest dar. Es gibt jedoch auch Hinweise darauf, dass nicht zwangsläufig aus der Koloniegröße auf den zugrunde liegenden genotoxischen Mechanismus geschlossen werden kann.

Ein positives Testergebnis in einem adäquat durchgeführten Test zeigt ein mutagenes oder klastogenes Potenzial *in vitro*.

In-vitro-Genmutationstest am Pig-a-Gen von Säugetierzellen (Pig-a-Test): Dieser Test weist Mutationen im X-chromosomalen Pig-a (Phosphatidylinositolglycan, Klasse a)-Gen nach. Das Pig-a-Gen kodiert eine katalytische Untereinheit bei der Synthese von GPI (Glycosylphosphatidylinositol)-Ankerproteinen. Fehlen diese so genannten Ankerproteine, zum Beispiel CD55, CD48 und CD59, auf der Zelloberfläche humaner lymphoblastoider TK6-Zellen oder L5178Y/TK⁺-Mauslymphomzellen oder werden nur reduziert exprimiert, kann dies im Flow Cytometer mittels Antikörper gegen diese Ankerproteine nachgewiesen werden. Die neue OECD-Prüfrichtlinie beinhaltet neben der *In-vivo*-Methode auch die *In-vitro*-Methode und wird voraussichtlich 2020 abgeschlossen (OECD Draft 2019, s. „Weitere Infos“).

Klastogenität/Aneugenität

Test auf chromosomale Aberrationen: Mit diesem Test werden strukturelle Chromosomenaberrationen (klastogene Effekte) in der ersten Mitose nach der Behandlung mit der Prüfsubstanz analysiert. Die Analyse

erfolgt in Zellen, die sich in der Metaphase befinden, da die Chromosomen in diesem Mitosestadium sehr kompakt vorliegen und die Struktur gut untersucht werden kann. Es ist ein wichtiger *In-vitro*-Genotoxizitätstest zur Beurteilung eines klastogenen Potenzials.

Mikronukleustest: Es werden Mikronuklei in Zellen analysiert, die nach der Behandlung mit der Prüfsubstanz eine Zell- bzw. Kernteilung durchlaufen haben. Mikronuklei enthalten entweder azentrische Fragmente (als Folge von Chromosomenbrüchen) oder ganze Chromosomen (als Folge von Chromosomenfehlverteilungen).

Um zu gewährleisten, dass die ausgewerteten Zellen tatsächlich (nur) eine Teilung nach der Behandlung durchlaufen haben, kann den Kulturen Cytochalasin B (CytB) zugesetzt werden, das die Zellteilung nach erfolgter Kernteilung unterbindet. Die Auswertung wird dann nur an zweikernigen Zellen vorgenommen.

Die Unterscheidung zwischen der Induktion von Chromosomenbrüchen (klastogener Effekt) und Chromosomenfehlverteilungen (aneugener Effekt) ist mit Zusatzuntersuchungen durch den Nachweis von Zentromeren durch CREST-Antikörper oder Fluoreszenz-*in-situ*-Hybridisierung mit spezifischen DNA-Sonden, „FISH“-Technik, möglich.

Der Mikronukleustest ist ein wichtiger *In-vitro*-Genotoxizitätstest zur Beurteilung eines klastogenen Potenzials, der den *In-vitro*-Chromosomenaberrationstest zunehmend ablöst. Bei einem positiven Ergebnis sollte immer die Möglichkeit eines aneugenen Effekts bedacht werden. Dazu sind entsprechenden Zusatzuntersuchungen durchzuführen.

Indikatortests

Mit Indikatortests werden Veränderungen in den behandelten Säugetierzellen untersucht, die in engem Zusammenhang mit der Entstehung von Mutationen stehen, wie beispielsweise DNA-Strangbrüche. Positive Befunde in den Indikatortests sollten nur im Zusammenhang mit anderen Genotoxizitätstests beurteilt werden.

SCE-Test (Schwesterchromatidaustausch): SCEs repräsentieren keine Chromosomenaberrationen, das heißt keine klastogenen Effekte, sondern intrachromosomale Re-

kombinationsereignisse an geschädigter DNA. Eine Induktion von SCE kann auf einer direkten Interaktion der Testsubstanz mit der chromosomalen DNA oder auf einer indirekten Störung der DNA-Replikation basieren. Es wird die Häufigkeit von SCEs in Metaphasechromosomen von kultivierten Säugerzellen analysiert, die nach der Behandlung mit der Testsubstanz zwei Zellzyklen in Gegenwart von Bromdesoxyuridin (BrdU) durchlaufen haben. Bei diesen so genannten „zweiten Mitosen“ können die beiden Schwesterchromatiden durch den Einbau von BrdU voneinander unterschieden werden. Der Test verliert zunehmend an Bedeutung, da die zugrunde liegenden Mechanismen unklar sind. Die OECD-Prüfrichtlinie ist mittlerweile nicht mehr gültig.

Tests auf Induktion von DNA-Strangbrüchen:

- Es werden **DNA-Einzelstrangbrüche und -Doppelstrangbrüche nachgewiesen**, die entweder direkt durch das genotoxische Agens gebildet werden oder die während der Reparatur von DNA-Schäden oder durch die Umwandlung von DNA-Schäden in Strangbrüche unter den alkalischen Analysebedingungen (sog. alkalilabile Stellen) entstehen. Die Tests zum Nachweis von DNA-Strangbrüchen können zusätzlich mit dem Einsatz von isolierten DNA-Reparaturenzymen kombiniert werden. Da ein Effekt in diesen Tests in der Regel auf einem (unbekanntem) Spektrum verschiedener Primärläsionen beruht und eine Differenzierung in Einzel- und Doppelstrangbrüche in der Praxis nicht erfolgt, ist eine Aussage zum mutagenen beziehungsweise klastogenen Potenzial der Testsubstanz nicht möglich. Auch die Stärke des Effekts erlaubt keinen Rückschluss auf die Mutagenität oder Klastogenität. Durch den zusätzlichen Einsatz von DNA-schadensspezifischen Endonukleasen ist ein spezifischer Nachweis verschiedener DNA-Basenschäden möglich.
- Mittels **Comet-Assay** werden Strangbrüche anhand einer veränderten Beweglichkeit der chromosomalen DNA im elektrischen Feld durch Einzelzell-Gelelektrophorese unter alkalischen Bedingungen erfasst. Der Comet-Assay ist ein Indikatortest auf primäre DNA-Schäden. Der *In-vitro*-Comet-Assay

dient hauptsächlich als Suchtest („Screening“) an Säugerzellen.

- Mittels **alkalischer Elution** werden Strangbrüche durch Messung der Elutionsgeschwindigkeit der DNA durch ein kleinporiges Membranfilter unter alkalischen Bedingungen erfasst. Es existieren Varianten des Tests, mit denen alkalilabile Stellen, DNA-DNA- und DNA-Protein-Crosslinks nachgewiesen werden können.
- Mittels **alkalischer Entwindung** werden Strangbrüche durch selektiv von DNA-Bruchstellen ausgehender Entwindung doppelsträngiger DNA unter schwach alkalischen Bedingungen erfasst.

Test auf kovalente DNA-Bindung: Hierbei handelt es sich um einen Indikatorortest für eine DNA-Reaktivität der Substanz beziehungsweise ihrer Metaboliten mittels DNA-gebundener Radioaktivität oder mittels ^{32}P -Postlabelling. Eine Aussage über das mutagene Potenzial der Testsubstanz lässt ein positives Ergebnis in der Regel nicht zu.

UDS in vitro: Es wird die durch DNA-Schäden ausgelöste DNA-Reparatursynthese anhand des Einbaus radioaktiver DNA-Bausteine (meistens ^3H -Thymidin) in Zellen, die sich nicht in der S-Phase des Zellzyklus befinden, autoradiographisch gemessen („unscheduled DNA synthesis“, UDS). Es handelt sich um einen wichtigen Indikatorortest auf eine chemische Modifikation der DNA (z.B. Adduktbildung, Oxidation) durch eine Substanz beziehungsweise deren Metaboliten.

In-vivo-Genotoxizitätstests

Tests an Soma- und Keimzellen

Mutagenität

In-vivo-Genmutationstest an Soma- und Keimzellen transgener Ratten und Mäuse: Dieser Test erkennt Genmutationen an einem Reporterogen, wie LacZ oder LacI in genomischer DNA, die aus allen Organen einschließlich der Testes der behandelten transgenen Tiere isoliert werden kann. Inzwischen ist ein weiterer Genmutationstest mit dem endogenen Reporterogen Pig-a entwickelt worden. Die Methode zum Pig-a-Test ist oben unter den In-vitro-Genotoxizitätstests näher beschrieben. Dieser Test ist sowohl im Tier (Ratte, Maus, Affe) als auch beim



Foto: undefinied/Getty Images

Mit Mutagenitätstests werden in vitro DNA-Sequenzveränderungen erfasst

Menschen anwendbar und erlaubt den Vergleich der Daten zwischen Tier und Mensch (OECD Draft 2019, s. „Weitere Infos“).

Außer im transgenen System war es bisher nur im sehr aufwändigen Fellfleckenstest an der Maus möglich, in vivo Chemikalien auf Mutagenität direkt zu überprüfen. In diesem Test werden Genmutationen und Rekombinationsereignisse in embryonalen Melanoblasten der Maus als regionale Farbänderungen im Fell der in utero (pränatal) behandelten Mäuse erkannt. Es handelt sich um einen somatischen In-vivo-Mutationstest. Dieser wird inzwischen nicht mehr durchgeführt.

Klastogenität/Aneugenität: Mikronukleustest: Grundsätzlich werden Mikronuklei nur in Zellen gefunden, die nach der Behandlung mit der Prüfsubstanz eine Zellteilung durchlaufen haben. In der Regel werden polychromatische (junge) Erythrozyten im Knochenmark oder in peripherem Blut untersucht, die den Hauptkern ausgestoßen haben. Der Mikronukleustest lässt sich aber auch mit kernhaltigen Zellen durchführen, beispielsweise mit Hepatozyten, Darmepithelzellen oder frühen Spermatisiden. Weitere Einzelheiten sind unter In-vitro-Genotoxizitätstests beschrieben.

Test auf chromosomale Aberrationen: Es werden strukturelle Chromosomenaberrationen (klastogener Effekt) in der ersten Mitose nach der Behandlung mit der Prüfsubstanz analysiert, zum Beispiel im Knochenmark, in differenzierenden Spermatozyten oder auch in der ersten embryonalen

Furchungsteilung. Einmalige Behandlung ist unabdingbar, um diesem Prinzip gerecht zu werden. Die unterschiedliche Zellzyklusdauer der Gewebezellen ist zu berücksichtigen bei der Wahl von 2–3 Aufarbeitungszeitpunkten. Ionisierende Strahlen und nur wenige Chemikalien (z.B. Bleomycin) haben eine DNA-Synthese-unabhängige klastogene Wirkung. Die meisten Chemikalien sind DNA-Synthese-abhängig.

Indikatorortests: Die häufigsten Indikatorortests in vivo sind der SCE-Test, der Comet-Assay und der UDS-Test. Das Prinzip und die Durchführung sind bei den In-vitro-Genotoxizitätstests beschrieben.

Tests an Keimzellen

Alle oben genannten In-vivo-Tests können auch in Keimzellen durchgeführt werden. Zusätzlich existieren spezielle Tests an Keimzellen, wie der Dominant-Letaltest und der erbliche Translokationstest (Yauk et al. 2015).

- Der *Dominant-Letaltest* ist ein indirekter Keimzelltest für die klastogene Wirkung eines Stoffes. Untersucht werden die Uteri trächtiger Weibchen, die mit behandelten Männchen verpaart wurden. Chromosomale Aberrationen in Spermien führen nach der Befruchtung zum Absterben der Embryonen etwa zum Zeitpunkt der Einnistung in die Uterusschleimhaut und bilden so genannte Deziduomata (dunkle, erhabene Resorptionsstellen in der Uteruswand, bestehend aus abgestorbenen Endometrium- und Embryozellen). Es

werden früh und spät abgestorbene Embryonen unterschieden. Letztere sind an dem Vorhandensein der Augenanlagen zu erkennen. Der Dominant-Letaltest dient dazu, Keimzellmutagen zu identifizieren oder Effekte in verschiedenen Spermatogenesestadien zu charakterisieren. Der Test kann mit Mäusen oder Ratten mit konstanter, nicht zu kleiner Wurfgröße durchgeführt werden.

- Der *Test auf erbliche Translokationen* erkennt Chromosomenaberrationen, die mit dem Überleben der Embryonen vereinbar sind. Dazu gehören reziproke Translokationen, Robertson'sche Translokationen und Inversionen. Nachkommen, die von den behandelten Elterntieren (in aller Regel den Vätern) derartige Chromosomenveränderungen geerbt haben, zeigen reduzierte Fertilität, das heißt, sie sind semisteril oder steril. Die Fertilitätsprüfung der Nachkommen (F1-Tiere) wird eingesetzt, um die Translokationsträger zu erkennen. Ein zytogenetischer Nachweis der Translokation ist für jedes F1-Tier mit reduzierter Fertilität wünschenswert.

Negative Ergebnisse in diesen Tests sprechen einen Stoff nicht a priori vom Verdacht der Keimzellmutagenität frei, wenn es sich um einen Stoff handelt, der vorwiegend Genmutationen hervorruft.

Da die zuvor genannten Tests nur noch selten (DLT) oder gar nicht mehr (erblicher Translokationstest) durchgeführt werden, ist inzwischen eine OECD-Prüfrichtlinie für den *Chromosomenaberrationstest in Spermatogonien* (Marchetti et al. 2018) erstellt worden. Für diesen Test gelten im Prinzip die gleichen Aussagen wie für den Chromosomenaberrationstest an Somazellen. Zu beachten ist, dass die gesamte Dauer des Spermatogenesezyklus abzudecken ist.

Bewertung der Ergebnisse der Genotoxizitätstests

Eine Genotoxizitätstestung muss sicherstellen, dass die drei wichtigsten genetischen Endpunkte, nämlich Genmutationen, Klasonogenität und Aneugenität, hinreichend erfasst werden.

Einflussfaktoren

Metabolische Aktivierung: Zahlreiche Substanzen müssen metabolisch aktiviert werden, um ihre genotoxische Wirkung zu entfalten.

Da den für die In-vitro-Tests eingesetzten Bakterien und vielen Säugerzellen häufig wichtige fremdstoffmetabolisierende Enzyme fehlen, ist bei der Testdurchführung die Zugabe eines metabolischen Aktivierungssystems notwendig. Dies ist in der Regel der so genannte „S9-Mix“, hergestellt aus Lebern von Ratten, die mit Enzyminduktoren für Cytochrom-P450-abhängige Monoxygenasen behandelt worden sind, sowie den für die enzymatischen Reaktionen notwendigen Kofaktoren. Daneben sind weitere Enzyme wie die Epoxidhydrolase, die UDP-Glucuronosyltransferasen und die Cytochrom-P450-Reduktase enthalten. Nachteile des S9-Mixes ist seine zytotoxische Wirkung auf die Zellen. Auch muss bedacht werden, dass die Aktivierung der Testsubstanz außerhalb der Zelle erfolgt und ein Transport in den Zellkern notwendig ist, um dort genotoxisch zu wirken.

Es ist auf eine entsprechende metabolische Aktivierung der Substanz zu achten, um auch indirekte Genotoxizität aufzeigen zu können.

Adäquate Testung – Zellteilung, Zytotoxizität, Mitführen positiver Kontrollen:

Die Bestimmung zytotoxischer Wirkungen und deren Relevanz für die Bewertung der Ergebnisse sind von Bedeutung, um falsch-negative und falsch-positive Ergebnisse herausfiltern zu können. Die OECD-Prüfrichtlinien enthalten nähere Erläuterungen zu jedem Test. Ohne den Nachweis eines funktionierenden Testsystems durch Mitführen positiver Kontrollen beziehungsweise der stattgefundenen Zellteilungen sind In-vitro- und auch In-vivo-Tests nicht aussagekräftig.

Bewertung

Für die Bewertung müssen stets die Ergebnisse aus einer Kombination mehrerer Tests herangezogen werden. Ergebnisse aus Indikator-tests allein reichen nicht aus. Die Daten aus Genotoxizitätstests an Somazellen in vivo und in vitro stellen wichtige Informationen für die Klassifizierung kanzerogener beziehungsweise potenziell kanzerogener Stoffe dar.

Bei der Bewertung von In-vitro-Genotoxizitätstests muss immer berücksichtigt werden, dass es sich um einzelne Zellen handelt, an denen geprüft wird. Falsch-positive Resultate, die beispielsweise durch unphysiologische pH-Werte, Substanzpräzipitation oder starke Zytotoxizität bei In-vitro-Versuchen an chromosomalen Endpunkten erhalten wurden,

haben sich bei weiterer Prüfung als nicht relevant herausgestellt. Somit ist die Übertragung der In-vitro-Ergebnisse auf den intakten Organismus nicht zwingend möglich. Die In-vitro-Tests liefern ein erstes Bild über das genotoxische Potenzial einer Testsubstanz, um es in vivo genauer und gezielter zu untersuchen.

In vivo muss beachtet werden, ob das richtige Gewebe verwendet wird oder ob eine ausreichend hohe Konzentration im Zielgewebe von der Substanz beziehungsweise dem Metaboliten erreicht wird.

Die Bewertung der Genotoxizität einer Substanz basiert auf der kritischen Zusammenschau aller Testergebnisse, wobei neben dem reinen Testergebnis die Qualität der Testdurchführung und die Plausibilität der Befunde berücksichtigt werden muss. ■

Interessenkonflikt: Die Autorinnen geben an, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

Literatur

Marchetti F et al.: Identifying germ cell mutagens using OECD test guideline 488 (transgenic rodent somatic and germ cell gene mutation assays) and integration with somatic cell testing. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen* 2018; 832–833: 7–18.

Yauk CL et al.: Approaches for identifying germ cell mutagens: Report of the 2013 IWGT workshop on germ cell assays (☆). *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen* 2015; 783: 36–54.

WEITERE INFOS

OECD Draft. *The in vivo erythrocyte Pig-a gene mutation assay Part 1: Detailed review paper and performance assessment. Prepared by: Heflich RH, Dertinger SD, Dobrovolsky VN et al., University of Maryland CERSI, and HESI Genetic Toxicology Technical Committee for the Organisation for Economic Cooperation and Development Working Group of the National Coordinators of the Test Guidelines Programme*

<https://www.oecd.org/chemical-safety/testing/in-vivo-erythrocyte-pig-a-gene-mutation-assay-detailed-review-paper-and-performance-assessment.pdf>

OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4 Health Effects

https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-guidelines-for-the-testing-of-chemicals-section-4-health-effects_20745788



Beurteilungswerte in biologischem Material

Beschreibung am Beispiel des kanzerogenen Arbeitsstoffs Cobalt

BEURTEILUNGSWERTE Biomonitoring wird durchgeführt, um auf die innere Belastung und Gefährdung der Beschäftigten durch einen Arbeitsstoff rückschließen zu können. Beurteilungswerte wie BAT-Werte, BLW, BAR und EKA sowie Äquivalenzwerte zu ERB und AGW-analogen Werten ermöglichen eine Bewertung der Messwerte¹. Toxikologisch abgeleitete BAT-Werte und BLW helfen auch in der klinischen Medizin beispielsweise bei der Bewertung einer nachgewiesenen inneren Cobaltbelastung bei Implantatträgern hinsichtlich der möglichen Verursachung einer Kardiomyopathie. **Wobbeke Weistenhöfer et al.**

Einleitung

„Biomonitoring ist die Untersuchung biologischen Materials der Beschäftigten zur Bestimmung von Gefahrstoffen, deren Metaboliten oder deren biochemischen beziehungsweise biologischen Effektparametern“ (AMR 6.2; AfAMed 2013).

In der Arbeitsmedizin als überwiegend präventivem Fach wird Biomonitoring durchgeführt, um die individuelle Belastung von Beschäftigten durch aufgenommene Gefahrstoffe zu quantifizieren und damit verbundene eventuelle gesundheitliche Gefährdungen zu bewerten. Zudem kann der Erfolg präventiver Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung und Gefährdung überprüft werden.

In der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbmedVV 2013) wird das Biomonitoring als Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge aufgeführt, wenn anerkannte Analyseverfahren und geeignete Beurteilungswerte zur Verfügung stehen. Die Arbeitsmedizinische Regel (AMR) 6.2 „Biomonitoring“ konkretisiert die Anforderungen der ArbmedVV, gibt Hinweise zur Durchführung des Biomonitorings und führt Werte auf, die eine Beurteilung von Biomonitoringbefunden ermöglichen (AfAMed 2013).

Biomonitoring wird insbesondere auch beim Umgang mit kanzerogenen Arbeits-

stoffen empfohlen, um die individuelle Belastung der Exponierten abschätzen zu können (DFG 2020).

Kanzerogene Arbeitsstoffe

Krebserzeugende Arbeitsstoffe werden von der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in fünf verschiedene Kanzerogenitätskategorien eingeteilt (nach DFG 2020):

- Kanzerogenitätskategorie 1: beinhaltet Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen und bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen Beitrag zum Krebsrisiko leisten.
- Kanzerogenitätskategorie 2: beinhaltet Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen anzusehen sind, weil durch Ergebnisse aus Tierversuchen und epidemiologischen Untersuchungen davon auszugehen ist, dass sie einen Beitrag zum Krebsrisiko leisten.
- Kanzerogenitätskategorie 3: beinhaltet Stoffe, die wegen erwiesener oder möglicher krebserzeugender Wirkung Anlass zur Besorgnis geben, aber aufgrund unzureichender Informationen nicht in eine andere Kategorie eingeordnet werden können. Sofern der Stoff oder seine Metaboliten keine genotoxischen Wirkungen aufweisen, kann ein MAK- (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) oder BAT- (Biologische



Foto: Glasow

FÜR DIE AUTORENSCHAFT

Dr. med. Wobbeke Weistenhöfer
Institut und Poliklinik
für Arbeits-, Sozial-
und Umweltmedizin
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Henkestraße 9–11
91054 Erlangen
wobbeke.weistenhoefer@fau.de

Arbeitsstofftoleranz)Wert festgelegt werden.

- Kanzerogenitätskategorie 4: beinhaltet Stoffe, die bei Tier oder Mensch Krebs erzeugen oder als krebserzeugend für den Menschen anzusehen sind und für die ein MAK-Wert abgeleitet werden kann. Im Vordergrund steht ein nichtgenotoxischer Wirkungsmechanismus und genotoxische Effekte spielen bei Einhaltung des MAK- und BAT-Werts keine oder nur eine untergeordnete Rolle, so

KO-AUTORENSCHAFT

Mitautor und -autorin des Beitrags sind Prof. Dr. med. Hans Drexler und Prof. Dr. med. Simone Schmitz-Spanke (beide Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg).

¹ Erläuterungen der Abkürzungen im Text.

dass kein Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist.

- Kanzerogenitätskategorie 5: beinhaltet Stoffe, die bei Tier oder Mensch Krebs erzeugen oder als krebs-erzeugend für den Menschen anzusehen sind und für die ein MAK-Wert abgeleitet werden kann. Im Vordergrund steht ein genotoxischer Wirkungsmechanismus, für den aber bei Einhaltung des MAK- und BAT-Werts nur ein sehr geringer Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist.

Beurteilungswerte in biologischem Material

Die Arbeitsgruppe „Aufstellung von Grenzwerten in biologischem Material“ der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft evaluiert fortlaufend Beurteilungswerte in biologischem Material (s. Infokasten):

- Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte (BAT-Werte)
- Biologische Leitwerte (BLW)
- Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR) und
- Expositionsäquivalente für kanzerogene Arbeitsstoffe (EKA).

Die Werte werden jährlich in der MAK- und BAT-Werte-Liste und die ausführlichen Begründungen zur Ableitung der Werte in der „MAK-Collection for Occupational Health and Safety“ (DFG 2020) veröffentlicht.

Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) leitet als Beurteilungswerte in biologischem Material (s. Infokasten) Biologische Grenzwerte (BGW), die in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 903 publiziert werden, und für kanzerogene Arbeitsstoffe Äquivalenzwerte zu Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB) und zu AGW (Arbeitsplatzgrenzwert)-analogen Werten ab, die in der TRGS 910 veröffentlicht werden. Zusätzlich liegen Begründungen zur Ableitung der einzelnen ERB vor (TRGS 910, s. „Weitere Infos“).

Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte (BAT-Werte, DFG)

Sie beschreiben in der Regel die mittlere arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleitete Konzentration eines Arbeitsstoffes, seiner Metaboliten, Addukte oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden

INFO

BEURTEILUNGSWERTE IN BIOLOGISCHEM MATERIAL DER STÄNDIGEN SENATSKOMMISSION ZUR PRÜFUNG GESUNDHEITSSCHÄDLICHER ARBEITSTOFFE („MAK-KOMMISSION“) DER DFG UND DES AGS

Beurteilungswerte in biologischem Material der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe („MAK-Kommission“) der DFG:

- Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte (BAT-Werte)
- Biologische Leitwerte (BLW)
- Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR)
- Expositionsäquivalente für kanzerogene Arbeitsstoffe (EKA)

Beurteilungswerte in biologischem Material des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS):

- Biologische Grenzwerte (BGW)
- Äquivalenzwert zur Akzeptanz- oder Toleranzkonzentration der Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB)
- Äquivalenzwert zum Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)-analogen Wert

biologischen Material, bei der im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten auch bei wiederholter und langfristiger Exposition (maximal 8 Stunden täglich und 40 Stunden wöchentlich über die Lebensarbeitszeit) nicht beeinträchtigt wird (DFG 2020). Auch für kanzerogene Stoffe können BAT-Werte abgeleitet werden, unter anderem, wenn ein Arbeitsstoff der Kanzerogenitätskategorie 3 oder seine Metaboliten keine genotoxische Wirkung aufweisen. Bei Arbeitsstoffen der Kanzerogenitätskategorie 4 (nichtgenotoxischer Wirkungsmechanismus steht im Vordergrund) und 5 (genotoxische Kanzerogene mit geringer Wirkungsstärke), kann ein BAT-Wert festgesetzt werden, bei dem kein beziehungsweise nur ein sehr geringer Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist. Für Arbeitsstoffe der Kanzerogenitätskategorie 1 und 2 können keine BAT-Werte abgeleitet werden (DFG 2020).

Biologische Leitwerte (BLW, DFG)

BLW werden als mittlere Konzentration eines Arbeitsstoffes, seiner Metaboliten, Addukte oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material nur für solche Arbeitsstoffe abgeleitet, für die keine arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten BAT-Werte aufgestellt werden können (z.B. Kanzerogene der Klasse 1 und 2). Die Werte sollen unter anderem einen hinreichenden Schutz gegenüber den nichtkanzerogenen Effekten dieser Stoffe bieten, ohne jedoch jedes Gesundheitsrisiko durch zum Beispiel kanzerogene Effekte ausschließen zu können (DFG 2020). Dem liegt das mechanistische Verständnis zugrunde, dass nichtkanzerogene Effekte eines Gefahrstoffs dosisabhängig und unab-

hängig vom jeweiligen Krebsrisiko auftreten. Für die Gefahrstoffe, bei denen es für diese Prämisse keine wissenschaftlichen Belege gibt, werden keine BLW abgeleitet.

Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR, DFG)

Diese beschreiben das 95. Perzentil der Hintergrundbelastung von beruflich nicht gegenüber dem Gefahrstoff exponierten Personen im erwerbsfähigen Alter ohne auf gesundheitliche Effekte Bezug zu nehmen (DFG 2020). Mit diesem Wert wird eine Abschätzung des Ausmaßes der beruflichen Exposition ermöglicht. Außerberufliche Einflussfaktoren, unter anderem Alter und Geschlecht, werden bei der Ableitung der BAR berücksichtigt. Bei relevantem Einfluss des Tabakkonsums auf die Hintergrundbelastung des zu evaluierenden Arbeitsstoffes werden BAR nur für Nichtraucher abgeleitet (DFG 2020).

Expositionsäquivalente für kanzerogene Arbeitsstoffe (EKA, DFG)

Sie zeigen die Beziehungen zwischen der Stoffkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz und der inneren Belastung durch die Stoff- bzw. Metabolitenkonzentration im biologischen Material bei ausschließlich inhalativer Stoffaufnahme an (DFG 2019). Diese Ableitung ist rein deskriptiv und benennt im Gegensatz zu den Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB, siehe unten) kein Risiko.

Biologische Grenzwerte (BGW, AGS)

BGW sind in der Regel mittlere toxikologisch-arbeitsmedizinisch abgeleitete Kon-

zentrationen eines Stoffs, seines Metaboliten oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material, bei der die Gesundheit von Beschäftigten im Allgemeinen nicht beeinträchtigt wird. Dabei dienen die BAT-Werte der DFG-Kommission dem AGS überwiegend als Grundlage für die Festsetzung der biologischen Grenzwerte (TRGS 903, s. „Weitere Infos“).

Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB, AGS)

ERB für kanzerogene Stoffe beschreiben den Zusammenhang zwischen der Stoffkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz und der statistischen Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer berufsbedingten Krebserkrankung während des gesamten Lebens. Es werden derzeit Erkrankungsrisiken von 4:1000 als Toleranzrisiko und von 4:10000 als Akzeptanzrisiko festgelegt. Zusätzlich werden Äquivalenzwerte in biologischem Material zur Akzeptanz- oder Toleranzkonzentration der ERB abgeleitet. Diese beschreiben diejenige Konzentration eines krebserzeugenden Arbeitsstoffs beziehungsweise seines Metaboliten in Körperflüssigkeiten, die einer ausschließlich inhalativen Exposition des Arbeitsstoffes in der Luft entspricht und bei der das Akzeptanz- bzw. das Toleranzrisiko erreicht ist (TRGS 910 s. „Weitere Infos“).

AGW-analoge Werte (AGS)

Hierbei handelt es sich um gesundheitsbasiert abgeleitete Grenzwerte eines kanzerogenen Arbeitsstoffs in der Luft am Arbeitsplatz zum Schutz vor den nicht-kanzerogenen Wirkungen dieses krebserzeugenden Stoffes. Zu diesem Wert kann auch ein entsprechender Äquivalenzwert in biologischem Material abgeleitet werden, der die Konzentration eines Stoffs, seines Metaboliten oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material zu diesem AGW-analogen Wert beschreibt. Der AGW-analoge Wert kann im Bereich oder unterhalb der Toleranzkonzentration der ERB für den kanzerogenen Arbeitsstoff liegen und wird dann zur (gesundheitsbasierten) Toleranzkonzentration (TRGS 910).

Biomonitoring-Auskunftssystem der BAuA

Das Biomonitoring-Auskunftssystem der BAuA (2020) ermöglicht kostenlos und ohne

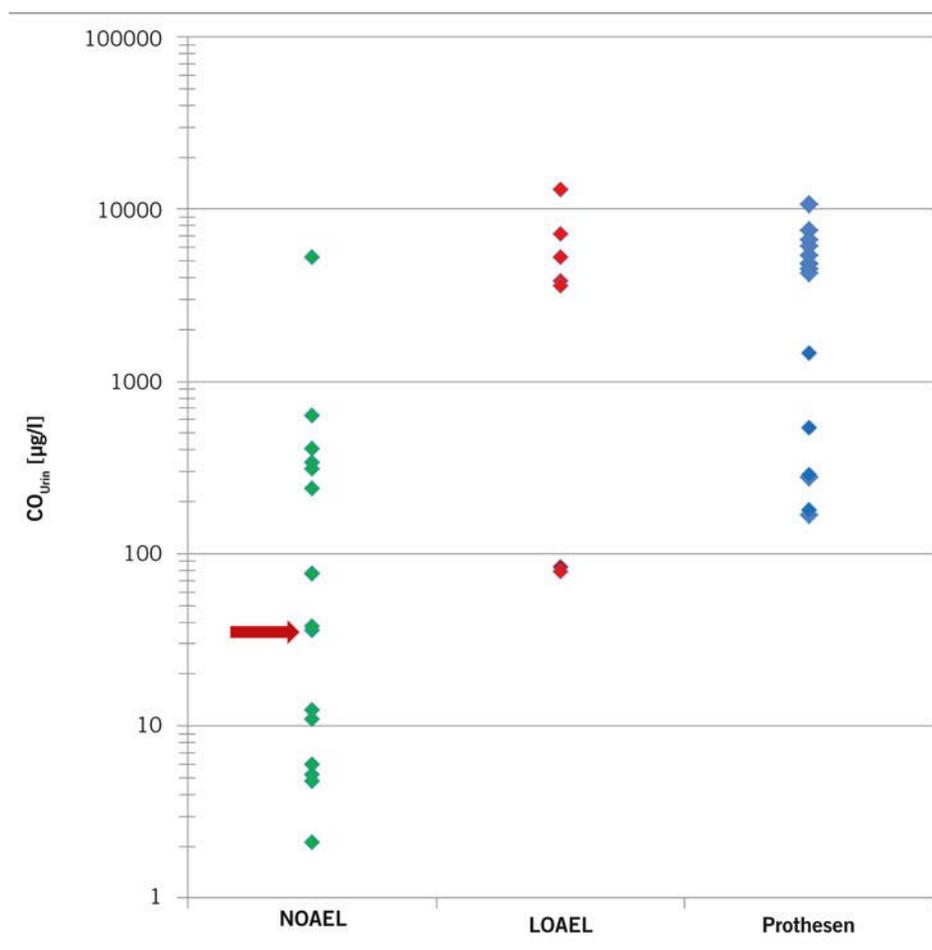


Abb. 1: NOAEL und LOAEL der Cobaltkonzentrationen im Urin bei beruflich bedingter Cobaltbelastung sowie Cobaltkonzentrationen im Urin von symptomatischen Erkrankten nach Implantation Cobalt-haltiger Prothesen (nach Schmitz-Spanke et al. 2018) sowie der an der Kardiotoxizität abgeleitete BLW in Höhe von 35 µg Cobalt/l Urin (roter Pfeil)

Registrierung den Zugang zu verfügbaren Biomonitoring-Untersuchungsparametern, Analysemethoden für diese Parameter (einschließlich Angeboten zur externen Qualitätssicherung von Biomonitoring-Analysen durch Ringversuche) sowie entsprechenden Beurteilungswerten für die Bewertung der Biomonitoring-Untersuchungsergebnisse. Derzeit sind regelmäßig und bei Neuerungen auch zeitnah aktualisierte Informationen für das Biomonitoring von über 1000 Gefahrstoffen und Gefahrstoffgruppen im System enthalten, die jeweils durch Angabe und überwiegend auch direkte Verlinkung zu den Originalquellenangaben belegt sind.

Beurteilungswerte in biologischem Material für Cobalt

Expositionen gegenüber Cobalt und Cobaltverbindungen bestanden und beste-

hen durch den Einsatz unter anderem als Farbstoff, in Legierungen für Magnete, Maschinenbauteile und zusammen mit Wolframcarbid in Hart- und Sintermetallen für Schneidwerkzeuge, als Katalysator, Trockner, in Batterien und Akkumulatoren, aber auch in Prothesen und als Stabilisator in Bierschaum. In der Metallindustrie kann ein direkter Kontakt zu Cobalt-haltigen Metallen und Metallstäuben sowie gebrauchten Schneidölen oder Schmier- und Kühlschmiermitteln bestehen. Als Bestandteil von Vitamin B₁₂ ist Cobalt für den Menschen lebensnotwendig. In höheren Konzentrationen wirkt es jedoch toxisch. Zum Schutz exponierter Personen wurden wissenschaftlich begründete Beurteilungswerte in biologischem Material abgeleitet. Von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe wurden Cobalt und Cobaltverbindungen in



Beispiel für eine Cobalt-Verbindung: Cobalt(II)-chlorid (wasserfrei)

die Kanzerogenitätskategorie 2 als krebserzeugend beim Menschen eingestuft, weil durch hinreichende Ergebnisse aus Langzeit-Tierversuchen oder Hinweise aus Tierversuchen und epidemiologischen Untersuchungen davon auszugehen ist, dass sie einen Beitrag zum Krebsrisiko leisten. Diese Einstufung erlaubt keine Ableitung eines BAT-Werts, so dass die verfügbaren wissenschaftlichen Studien hinsichtlich der Möglichkeit der Ableitung eines BLW überprüft wurden. Basierend auf diesen Studien listet **Abb. 1** die NOAEL (No-Observed-Adverse-Effect-Level), die LOAEL (Low-Observed-Adverse-Effect-Level) und die Cobaltkonzentrationen symptomatischer Erkrankter im Urin nach Prothesenimplantation auf.

Kritische systemische Endpunkte der Cobalttoxizität sind unter anderem das Herz, die Lunge, die Schilddrüse und die Blutbildung. Die niedrigsten LOAELs wurden bei Beschäftigten in der Cobaltraffinerie und in der Herstellung von Diamantkreissägen gemessen. Die adversen Effekte waren Hypothyreose und restriktive Ventilationsstörung. Für die Ableitung eines Beurteilungswerts an der systemischen Toxizität sah die Kommission die kardiotoxische Wirkung von Cobalt und Cobaltverbindungen als kritischen Endpunkt an. Bei Beschäftigten aus der finnischen Cobaltproduktion wurden bei einer Konzentration von ca. 36 µg Cobalt/l Urin echokardiographisch keine eindeutigen kardiotoxischen Effekte beobachtet und daher ein BLW für

Cobalt und Cobaltverbindungen von 35 µg Cobalt/l Urin abgeleitet. Zum Vergleich sei angemerkt, dass nach einer Implantation von cobalthaltigen Prothesen symptomatische Erkrankte mit Kardiomyopathie, Hypothyreose, Hörverlust, visuellen und/oder neurologischen Effekten Cobaltkonzentrationen von 163 bis 4783 µg/l Urin aufwiesen. Der BLW von 35 µg Cobalt/l Urin wurde gesundheitsbasiert an den nichtkanzerogenen, nichtsensibilisierenden, systemischen Wirkungen des Cobalts abgeleitet, schützt aber nicht vor dem Auftreten von Lungenkarzinomen oder cobaltinduziertem Asthma. Befunde durch Koexpositionen von Beschäftigten aus der Hartmetallindustrie zu Wolfram, das eine entscheidende Rolle in der Genese der Lungenfibrose hat, wurden nicht berücksichtigt.

Zur Abschätzung des Ausmaßes der beruflichen Exposition wurde aus den Daten zur Hintergrundbelastung der beruflich nicht gegenüber Cobalt exponierten Allgemeinbevölkerung in Deutschland ein BAR von 1,5 µg Cobalt/l Urin abgeleitet, der gegebenenfalls auch geogene Einflussfaktoren berücksichtigt. Für berufliche Expositionen gegenüber Cobalt und Cobaltverbindungen in Höhe von 0,005 bis 0,5 mg/m³ in der Luft am Arbeitsplatz wurden EKA evaluiert, die die innere Belastung bei ausschließlich inhalativer Stoffaufnahme angeben (**Tab. 1**). Die Probenahme sollte jeweils bei Langzeitexposition am Schichtende nach mehreren vorangegangenen Schichten erfolgen (Schmitz-Spanke et al. 2018).

Cobalt	
Luft [mg/m ³]	Urin [µg/l]
0,005	3
0,010	6
0,025	15
0,050	30
0,100	60
0,500	300

Tab. 1: Expositionsäquivalente für kanzerogene Arbeitsstoffe (EKA), Korrelation zwischen äußerer und innerer Belastung für Cobalt und Cobaltverbindungen

Der AGS hat auf der Grundlage von Tierversuchen an Ratten und Mäusen, die Cobaltsulfat inhalierten, eine Expositions-Risiko-Beziehung für metallisches Cobalt, anorganische Cobaltverbindungen und Cobalt-haltiges Hartmetall abgeleitet. Diese abgeleiteten Konzentrationen beziehen sich ausdrücklich auch auf Hartmetall-Expositionen, die in der Bewertung der DFG wegen ihrer lungenfibrotischen Wirkung nicht berücksichtigt werden. Für ein Risiko von 4:1000 (Toleranzrisiko) wurde eine Luftkonzentration von 5 µg Cobalt/m³ (bezogen auf einen Cobalt-Langzeit-Mittelwert bei 40 Jahren Arbeitsplatzexposition), für ein Risiko von 4:10.000 (Akzeptanzrisiko) wurden 0,5 µg Cobalt/m³ festgesetzt. Dabei liegt der Wert für das Akzeptanzrisiko bereits im Bereich der allgemeinen Hintergrundbelastung. Mit dem Multistage-Cancer-Modell wurde als Point-of-Departure ein Wert von 125 µg Cobalt/m³ abgeleitet. Ein AGW-analoger Wert wurde nicht abgeleitet (TRGS 910).

Fazit

Beurteilungswerte in biologischem Material der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG (BAT-Werte, BLW, BAR und EKA) und des AGS (Äquivalenzwerte zu ERB und zu AGW-analogen Werten) werden auch für kanzerogene Arbeitsstoffe abgeleitet und dienen dem Schutz der Gesundheit am Arbeitsplatz, beispielsweise im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge. Sie ermöglichen aber auch die Einschätzung einer inne-

ren Belastung und des daraus resultierenden Risikos von außerberuflich zum Beispiel gegen Cobalt und Cobaltverbindungen exponierten Personen.

Interessenskonflikt: Die Autorenschaft gibt an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt. Frau Prof. Schmitz-Spanke und Herr Prof. Drexler sind Mitglieder der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG. Herr Prof. Drexler ist Leiter der Arbeitsgruppe „Aufstellung von Grenzwerten in biologischem Material“, Frau Prof. Schmitz-Spanke ist Mitglied dieser Arbeitsgruppe, Frau Dr. Weistenhöfer arbeitet im wissenschaftlichen Sekretariat der Arbeitsgruppe. ■

Literatur

DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft: *The MAK Collection of Occupational Health and Safety* 2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/3527600418>

Schmitz-Spanke S, Drexler H, Hartwig A, MAK Commission: *Addendum zu Cobalt und Cobaltverbindungen [BAT Value Documentation in German language]*, 2018). *MAK Collect Occup Health Saf* 2018; 3: 1546–1570.

WEITERE INFOS



ArbMedVV – Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vom 18.12.2008 (BGBl. I S. 2768), zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 23.10.2013 (BGBl. I S. 3882) <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbmedvv/gesamt.pdf>



AfAMed – Ausschuss für Arbeitsmedizin: Bekanntmachung von Arbeitsmedizinischen Regeln. AMR 6.2 „Biomonitoring“. Bek. d. BMAS v. 11.06.2013 – III b1 – 36628 – 15/1. GMBI 2013; 32: 623 https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/pdf/AMR-6-2.pdf?__blob=publicationFile&v=2



https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-903.pdf?__blob=publicationFile&v=11



AGS – Ausschuss für Gefahrstoffe: Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen. TRGS 910, Ausgabe: Februar 2014, GMBI 2014, S. 258–270, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2019: 120 https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-910.pdf?__blob=publicationFile&v=4



BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Biomonitoring-Auskunftssystem 2020 https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/Biomonitoring/Biomonitoring-Auskunftssystem/Biomonitoring-Auskunftssystem_node.html

Anzeige

FACTBOOK IMPFSTOFFE: Alles Wissenswerte auf den Punkt gebracht

Ganz frisch ist jetzt die aktuelle dritte Auflage des FACTBOOK erschienen. Dieser Ratgeber verschafft allen Arbeitsmedizinern schnell einen Überblick aller Impfstoffe.



Die Veröffentlichung ist ein Service der Schloss Apotheke aus Bergisch Gladbach. Deren Team um Markus Kerckhoff ist Spezialist für die Versorgung mit Impfstoffen. Mit über 20 Jahren Erfahrung als bundesweit tätige Versandapotheke mit höchsten Qualitäts- und Sicherheitsansprüchen bietet sie arbeitsmedizinischen Diensten einen

Komplettservice rund ums Impfen. Dies beinhaltet unter anderem ein umfassendes Angebot an Arzneimitteln für den Arbeitsplatz, die Übernahme der Sortimentspflege sowie das Controlling der Bestellungen.

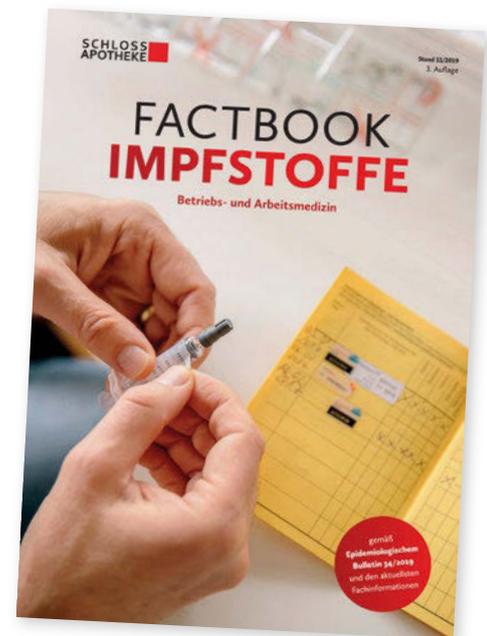
Klar strukturierte Tabellen

Herzstück des 28-seitigen Nachschlagewerks sind die drei Impfstofftabellen, die auf aktuellem Stand gemäß dem Epidemiologischen Bulletin 34/2019 und den Fachinformationen sind. In der Übersicht bekommen Arbeitsmediziner einen Überblick über den Impfstoffmarkt nach Hersteller, Indikation und Produkt. Weiter geht es mit allem Wissenswerten zu Impfstoffen in der Tabelle „Details“, beispielsweise zu Darreichungsform, Impfzeitpunkten, optimaler Aufbewahrung und

Stabilität außerhalb der Kühlkette. Die dritte Tabelle „Zusätze“ informiert den Leser darüber, was in den Impfstoffen noch enthalten ist. Ebenfalls praktisch: Der im FACTBOOK abgebildete Impfkalendar Standardimpfungen (STIKO) für Säuglinge, Kinder, Jugendliche und Erwachsene – damit die Arbeitsmediziner schnell ersehen, wann welche Impfung sinnvoll ist.

Kernthema: Die pharmazeutische Kühlkette

Neben den Impftabellen bekommen die Arbeitsmediziner Informationen zu den Leistungen und Services der Schloss Apotheke. Dabei sticht vor allem die lückenlose Einhaltung der pharmazeutischen Kühlkette hervor, die weit über die gesetzlichen Anforderungen hinausgeht. Denn: Viele Impfstoffe sind schon nach wenigen Stunden außerhalb des vorgesehenen Temperaturkorridors wirkungslos. Die Anwendung von fehlgelagerten oder fehltransportierten Impfstoffen ist eine Gefährdung des Patienten als Verbraucher – und die Schloss Apotheke nimmt die Verantwortung gegenüber dem Patienten sehr ernst. Die Qualitätssicherung beginnt schon beim Einkauf. Alle Impfstoffe werden von den Originalherstellern bezogen. Das heißt kein Graumarkt, keine Importe, keine Impfstoffe unklarer Herkunft. Weiter erhält jede Arzneimittelpackung beim Wareneingang eine individuelle Seriennummer, mit der ihr Transport und ihre Lagerung lückenlos dokumentiert sind. Die Schloss Apotheke erfasst im 5-Minuten-Rhythmus die aktuelle Umgebungs-Temperatur. Das verwendete System ist international anerkannt (in den USA von der



Arzneimittelaufsichtsbehörde FDA) sowie manipulationssicher. Letzter Baustein für die lückenlose Einhaltung ist der Transport. Die Lieferung der Impfstoffe in die Arztpraxen erfolgt ausschließlich in Fahrzeugen mit „aktiver Kühlung“, das heißt unter permanenter Temperaturüberwachung und Dokumentation.

Mit der Schloss Apotheke sind Sie auf dem sicheren Pfad!

Arbeitsmediziner können das Factbook per Mail unter info@schloss-impfstoffe.de oder telefonisch unter 02204 – 30885 122 bestellen.

Arbeitsplatzmessungen

Messtechnische Ermittlung der inhalativen Belastungen gegenüber krebserzeugenden Stoffen am Arbeitsplatz

GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG Die inhalative Exposition der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen kann mit Arbeitsplatzmessungen ermittelt und beurteilt werden. Durch die in der TRGS 402 vereinheitlichte Vorgehensweise soll sichergestellt werden, dass vergleichbare Ergebnisse erzielt werden – unabhängig davon, wer die Arbeitsplatzmessungen durchführt. In dem Beitrag wird die Vorgehensweise bei Probenahme, Analytik und Beurteilung der Messergebnisse näher beschrieben. **Ralph Hebisch**

Einleitung

Bei vielen Tätigkeiten sind die Beschäftigten Belastungen durch Gefahrstoffe ausgesetzt. Dies kann durch den direkten Umgang mit den Gefahrstoffen erfolgen, zum Beispiel beim Abfüllen in Gebinde oder bei Reinigungsarbeiten, aber ebenso auf indirekte Weise, wenn die Gefahrstoffe erst verfahrensbedingt gebildet und in die Arbeitsplatzluft freigesetzt werden. Verfahrensbedingt ist das beispielsweise der Fall bei der Holzbearbeitung oder beim Betrieb von Verbrennungsmotoren, wobei Holzstaub beziehungsweise diverse Abgaskomponenten (u.a. Kohlenmonoxid, Stickoxide, Dieselrußpartikel) in den Arbeitsbereich der Beschäftigten freigesetzt werden. Die Gefahrstoffe können sowohl als Gase oder Dämpfe als auch partikulär in Form von Stäuben und Rauchen sowie Tröpfchen auftreten.

Rechtliche Grundlagen

Die Pflicht zur Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Belastungen der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen obliegt entsprechend der Gefahrstoffverordnung grundsätzlich dem Betrieb. Dieser muss jedoch nicht zwingend die Ermittlung und Beurteilung selbst durchführen, sondern kann externe Stellen damit beauftragen, die über die entsprechende Sachkunde und die erforderlichen technischen und personellen Möglichkeiten verfügen. Wenn die Ermittlung durch eine Messstelle erfolgt, so muss diese nicht akkreditiert sein. Eine Akkreditierung kann jedoch als qualitätssichernde Maßnahme dahingehend angesehen wer-

den, dass die ermittelten Messergebnisse zutreffend sind.

Vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) wurde die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 402 (s. „Weitere Infos“) verabschiedet, die beschreibt, wie die Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Belastungen erfolgen soll. Bei der in dieser TRGS beschriebenen Vorgehensweise werden keine Unterschiede dahingehend gemacht, ob ein Stoff krebserzeugend ist oder nicht.¹ Allerdings gibt es bezüglich der Beurteilung und des resultierenden Befunds durchaus Unterschiede, worauf später noch eingegangen wird.

Die letzte umfangreiche Überarbeitung der TRGS 402 im Jahre 2008 war mit einem Paradigmenwechsel verbunden. War es früher ausreichend, den Befund der (dauerhaft sicheren) Einhaltung eines Luftgrenzwerts abzuleiten, so ist es nun erforderlich, die Schutzmaßnahmen mit dem Ziel eines Befunds „Schutzmaßnahmen ausreichend“ zu beurteilen. Um diesen Befund zu erreichen, müssen einerseits Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) oder andere Beurteilungsmaßstäbe eingehalten werden; andererseits muss aber auch die Wirksamkeit der entsprechenden Schutzmaßnahmen beurteilt werden.

Die TRGS 402 ermöglicht auch die Ableitung des Befunds „Schutzmaßnahmen ausreichend“ für Tätigkeiten mit Stoffen, die keinen AGW oder einen anderen Beurteilungsmaßstab besitzen. Hier können dann

¹ Aus diesem Grunde wird in diesem Text der Begriff „Gefahrstoffe“ ohne den Zusatz „krebserzeugend“ verwendet.



Foto: BAuA

AUTOR

Dr. rer. nat. Ralph Hebisch
 Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
 Friedrich-Henkel-Weg 1–25
 44149 Dortmund
 hebisch.ralph@baua.bund.de

beispielsweise der Stand der Technik oder branchen- und tätigkeitsspezifische Hilfestellungen (Beschreibung einer sicheren Arbeitsweise) sowie auch arbeitsmedizinische Erkenntnisse herangezogen werden.

Für krebserzeugende Stoffe mit Akzeptanz- und Toleranzkonzentration gemäß TRGS 910 (s. „Weitere Infos“) kann dagegen nur ein Befund „Toleranzkonzentration eingehalten“ oder „Akzeptanzkonzentration eingehalten“ abgeleitet werden. Solange bei krebserzeugenden Stoffen die Akzeptanzkonzentration nicht eingehalten wird, ist ein entsprechendes Maßnahmenkonzept nach TRGS 910 mit dem Ziel der Einhaltung der Akzeptanzkonzentration zu erstellen. Beispielhaft ist die diesbezügliche Vorgehensweise für Benzo[a]pyren beim Bahnschwellenrecycling und der thermischen Bodensanierung dargestellt (Hagmann et al. 2017). Eine Ausnahme bei den krebserzeugenden Stoffen stellen gegenwärtig Formaldehyd und Dieselmotoremissionen dar, für die ein AGW abgeleitet wurde, so dass

bei dessen Einhaltung ebenso ein Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ resultieren kann.

Die einheitliche Vorgehensweise bei der Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition soll sicherstellen, dass unabhängig davon, wer dies durchführt, vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

Ermittlung der inhalativen Exposition

Die inhalative Exposition kann durch messtechnische und nichtmesstechnische Verfahren ermittelt werden. Gemäß TRGS 402 sollte dabei nichtmesstechnischen Verfahren der Vorrang gegeben werden. Dazu gehören etwa die Übertragung von Ergebnissen vergleichbarer Arbeitsplätze oder die Anwendung geeigneter Rechenmodelle. Neben den verfahrens- und stoffspezifischen Kriterien (VSK) nach TRGS 420 sind Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und den damit einhergehenden Expositionen und erforderlichen Schutzmaßnahmen zum Beispiel in den Empfehlungen zur Gefährdungsbeurteilung der Unfallversicherungsträger (EGU) und in Handlungsanleitungen zur guten Arbeitspraxis beschrieben.

Neben den Arbeitsplatzmessungen zählen Übersichts- und Worst-case-Messungen, die Dauerüberwachung mittels direkt anzeigender Messgeräte, Messungen an der Emissionsquelle sowie Kontrollmessungen und Messungen technischer Parameter zur Befundunsicherheit zu den messtechnischen Ermittlungsmethoden.

Ziel all dieser Verfahren ist die Ermittlung von Art, Ausmaß und Dauer der inhalativen Exposition.

Arbeitsplatzmessungen

Arbeitsplatzmessungen können mit unterschiedlichen Zielstellungen durchgeführt werden. So dienen sie einer messtechnischen Ermittlung der inhalativen Exposition im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung, können aber genauso zur Charakterisierung der Exposition und der Wirksamkeitsprüfung von Schutzmaßnahmen bei einer speziellen Tätigkeit oder in einer Branche zum Einsatz kommen. Des Weiteren sind auch Sondermessungen beispielsweise im Rahmen von Berufskrankheitenverfahren üblich.

Die grundsätzliche Vorgehensweise bei Arbeitsplatzmessungen ist unabhängig davon, ob Gase oder Dämpfe, Stäube oder



Foto: BAUA

Abb. 1: Personengetragene Arbeitsplatzmessung bei der Kesseldruckimprägnierung von Holz

Rauche oder Partikel/Dampfgemische am Arbeitsplatz gemessen werden sollen. Bei allen Arbeitsplatzmessungen soll repräsentativ die Exposition der Beschäftigten bei ihren Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ermittelt werden. Dabei ist bevorzugt eine personengetragene Messung an den Beschäftigten durchzuführen (→ Abb. 1). Sofern dies nicht möglich ist, können auch ortsfeste Messungen erfolgen (→ Abb. 2). Der Ort dieser Messung ist möglichst so zu wählen, dass die Exposition der Beschäftigten in ihrem unmittelbaren Tätigkeitsbereich beschrieben werden kann, so dass die Messung als personenbezogen beurteilbar ist. Sollen mögliche Gefahrstoffkonzentrationen in Arbeitsbereichen ermittelt werden, in denen sich die Beschäftigten nicht dauerhaft aufhalten, weil dort keine ständigen Arbeitsplätze sind, so liefern hier ortsfeste Messungen wertvolle Hinweise. Dies ist zum Beispiel bei Rundgängen in Müllverbrennungsanlagen der Fall. Eine personengetragene Probenahme kann dabei infolge der sehr kurzen Probenahmedauer ganz schnell an die Grenzen ihres Leistungsvermögens stoßen. Die ortsfeste Probenahme liefert dagegen eine Aussage

zur möglichen Expositionshöhe während der Tätigkeit in diesem Arbeitsbereich.

Arbeitsplatzmessungen umfassen immer die Probenahme bei den zu beurteilenden Tätigkeiten, die analytische Bestimmung der relevanten Stoffe und die Ableitung eines Befunds mit der zugehörigen Beurteilung der Wirksamkeit der vorhandenen Schutzmaßnahmen und der Empfehlung erforderlichenfalls notwendiger weiterer Schutzmaßnahmen. Bevor Arbeitsplatzmessungen durchgeführt werden, empfiehlt sich immer eine Prüfung dahingehend, ob bereits vorab Defizite bei den vorhandenen Schutzmaßnahmen bestehen. In diesem Fall sollte erst auf die Umsetzung der erforderlichen Schutzmaßnahmen gedrungen werden und dann eine Messung zu deren Wirksamkeitsprüfung erfolgen. So werden gegebenenfalls die Kosten einer Messung eingespart, die sowieso nur Handlungsbedarf anzeigen würde.

Zur Vorbereitung der Arbeitsplatzmessungen wird vorab eine Begehung des Betriebs und der zu beurteilenden Arbeitsbereiche empfohlen. Dabei können die Gegebenheiten der Arbeitsplätze, Informationen zu den Beschäftigten, die Über-

sicht über technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen sowie aus dem Gefahrstoffverzeichnis die Informationen zu voraussichtlich relevanten Stoffen bei der Messung zusammengestellt werden. Weiterhin unterstützt dies die Festlegung der durchzuführenden Probenahmen hinsichtlich Ort, Dauer und an welchen Beschäftigten bei welchen Tätigkeiten diese erfolgen sollen. Bereits bei dieser Vorabbegehung wird eine fotografische Dokumentation empfohlen.

Von Vorteil ist es, wenn Probenahme, analytische Bestimmung und die Ableitung des Befunds in einer Hand liegen. Da dies nicht immer möglich ist, sollte die Beurteilung der Messergebnisse durch dieselbe Person erfolgen, die auch die Probenahme im Betrieb durchgeführt hat. Für die Probenahme setzt das voraus, dass diese verantwortliche Person sich während der gesamten Probenahmedauer vor Ort aufhält, um beurteilungsrelevante Parameter zu erfassen. Die analytische Bestimmung kann dann durch eine innerbetriebliche Messstelle oder ein geeignetes Auftragslabor erfolgen.

Auswahl der Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen

Für Arbeitsplatzmessungen sind bevorzugt geeignete Messverfahren einzusetzen, die die Anforderungen der europäischen Norm DIN EN 482 erfüllen. Eine Zusammenstellung dieser Messverfahren liefert der AGS unter www.baua.de/dok/8592142 (→ **Tabelle 1**). Dort wird für alle Stoffe, die in Deutschland einen Beurteilungsmaßstab aufweisen, aufgeführt, ob es geeignete oder bedingt geeignete Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen gibt. Im Gegensatz zu den geeigneten Messverfahren, erfüllen bedingt geeignete Messverfahren nicht alle normativen Anforderungen. Auch bei diesen ist jedoch sichergestellt, dass die Bestimmungsgrenze unterhalb des Beurteilungsmaßstabs des zu messenden Stoffes liegt. Es gibt in dieser Übersicht jedoch noch viele weiße Flecken, das heißt, es existiert in Deutschland kein publiziertes validiertes Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen. Wer für solche Stoffe Arbeitsplatzmessungen durchführen will, muss daher gegebenenfalls ein eigenes Messverfahren entwickeln. Alternativ besteht natürlich die Möglichkeit, anstelle der Arbeitsplatz-



Foto: BAUA

Abb. 2: Stationäre Probenahme bei der Materialaufgabe in einem Papierrecyclingbetrieb

messungen auf nichtmesstechnische Verfahren zurückzugreifen.

Probenahme

Auf der Grundlage der Festlegung der bei der Probenahme zu sammelnden Stoffe werden die Sammelvorrichtungen ausgewählt, die für die – bevorzugt personengetragenen – Probenahmen zum Einsatz kommen sollen. Bei deren Auswahl ist gleichzeitig zu berücksichtigen, mit welchem Bestimmungsverfahren anschließend im analytischen Labor die Quantifizierung erfolgen soll. Probenahme- und Bestimmungsverfahren müssen einander entsprechen; insbesondere muss sichergestellt sein, dass die Bestimmungsgrenze des Messverfahrens unterhalb des Beurteilungsmaßstabes liegt. Gegebenenfalls ist bereits vorab sicherzustellen, dass die Probenahmedauer auch entsprechend lange gewählt werden kann, um diese Bedingung zu erfüllen (Breuer et al. 2017).

Bei der Probenahme von Stäuben und Rauchen (Hebisch et al. 2005) ist zu klären, ob diese als alveolengängige oder einatembare Staubfraktion (A-Staub bzw. E-Staub) zu erfassen sind. Als personen-

tragbare Sammelumpen für die Staubfraktionen werden solche mit einem Volumenstrom von 10 l/min empfohlen. Diese ermöglichen auch bei beispielsweise zweistündiger Probenahme die gravimetrische Bestimmung von alveolengängigen Staubkonzentrationen unterhalb des allgemeinen Staubgrenzwerts von 1,25 mg/m³. Ebenso sind mit solchen Pumpen gravimetrische Bestimmungen der Kurzzeitwerte als 15-Minuten-Messwerte für beide Staubfraktionen möglich. Bei der Auswahl geeigneter Filtermaterialien für die Staubprobenahme ist gleichzeitig zu berücksichtigen, dass erforderlichenfalls auch relevante Inhaltsstoffe zu bestimmen sind, die über stoffspezifische Beurteilungsmaßstäbe verfügen. In der Praxis kann es bei Staubmessungen durchaus vorkommen, dass trotz gravimetrisch nicht bestimmbarer Konzentrationen beider Staubfraktionen aufgrund des Leistungsvermögens zum Beispiel atomspektrometrischer Verfahren dennoch Inhaltsstoffe in den Staubfraktionen bestimmbar sein können.

Für die Bestimmung von Gasen an Arbeitsplätzen kommen mittlerweile immer häufiger direkt anzeigende Messgeräte

Tabelle 1: Übersicht über Messverfahren für Arbeitsplatzmessungen (Auszug)

Gefahrstoff	CAS-Nr.	Messverfahren	Ausgabe	Probenahme	Analytik	Bestimmungsgrenze/Nachweisgrenze	Beurteilungsmaßstab	Quelle	Eignung des Messverfahrens zur Überwachung des Beurteilungsmaßstabes nach TRGS 402
1,1,2-Trichlorethan	79-00-5	DGUV Information 213-565 Chlorierte Kohlenwasserstoffe, Methode 2	2014	Aktivkohle	GC/FID nach Lösemittel-desorption	BG = 0,04 mg/m ³ (25 l Probeluft)	AGW: 55 mg/m ³	TRGS 900	Für AGW geeignet: BG ≤ 0,1 AGW
Trichloressigsäure	76-03-9	Kein empfohlenes Messverfahren verfügbar	–	–	–	–	AGW: 1,4 mg/m ³ ; 1(l)	TRGS 900	–
Trichlorethen	79-01-6	DGUV Information 213-565 Chlorierte Kohlenwasserstoffe, Methode 2	2014	Aktivkohle	GC/FID nach Lösemittel-desorption	BG = 0,04 mg/m ³ (25 l Probeluft)	AK/TK: 33 mg/m ³ ; 8	TRGS 910	Für AK und TK geeignet: BG ≤ AK
Trichlorethen	79-01-6	DGUV Information 213-565 Chlorierte Kohlenwasserstoffe, Methode 3	2014	Chromosorb 106	GC/FID nach Thermo-desorption	BG = 0,85 mg/m ³ (0,2 l Probeluft)	AK/TK: 33 mg/m ³ ; 8	TRGS 910	Für AK und TK geeignet: BG ≤ AK

zum Einsatz (z.B. mit elektrochemischen Sensoren für Kohlenmonoxid). Derartige Messgeräte sind vor der Durchführung der Messungen zu kalibrieren und bezüglich der Querempfindlichkeiten gegenüber anderen Stoffen zu prüfen, die an den zu untersuchenden Arbeitsplätzen auftreten können.

Bei der Probenahme von Lösemitteldämpfen (Hebisch et al. 2007) sind ebenfalls geeignete Sammelphasen einzusetzen. Dazu sollte geprüft werden, ob möglicherweise anstelle der Sammelröhrchen, die im analytischen Labor mittels Lösemitteldesorption aufgearbeitet werden (z. B. bei Aktivkohle oder Silicagel als Sammelphase), so genannte Thermodesorptionsröhrchen eingesetzt werden können. Diese tragen insbesondere auch zum Arbeitsschutz im analytischen Labor bei, da dadurch Tätigkeiten mit Lösemitteln entfallen können. Neben dieser Sammlung durch Adsorption kann es auch erforderlich sein, etwa bei der Sammlung von Aldehyden, dass ein Derivatisierungsreagenz auf der Sammelphase erforderlich ist, um eine quantitative Erfassung der zu bestimmenden Stoffe zu gewährleisten.

Bei einer Reihe von Stoffen wird in der TRGS 900 und in der TRGS 910 mittlerweile darauf hingewiesen, dass diese als Partikel/

Dampf-Gemische am Arbeitsplatz auftreten können. Dies erfordert den Einsatz von Sammelsystemen, die eine gleichzeitige Erfassung der Partikel- und der Dampfphase ermöglichen, um eine korrekte Beurteilung der Exposition bei den durchgeführten Tätigkeiten vorzunehmen (Breuer et al. 2018). Schwierigkeiten bestehen gegenwärtig bei der simultanen Sammlung solcher Stoffe, für die ein Beurteilungsmaßstab für die Dampfphase und die alveolengängige Staubfraktion aufgestellt wurde. Derartige Sammelsysteme sind bisher nicht verfügbar. Hier muss ein Kompromiss eingegangen und auf Sammelsysteme zurückgegriffen werden, die neben der Dampfphase die einatembare Staubfraktion erfassen. Dies führt zwar im Regelfall zu höheren Expositionsergebnissen, ist aber konform mit der TRGS 402.

Probentransport und -lagerung

Zwischen der Probenahme und der analytischen Bestimmung können oftmals Tage oder auch Wochen liegen. Daher muss gewährleistet werden, dass sowohl beim Transport der gesammelten Proben vom Betrieb ins analytische Labor als auch bei der Probenlagerung keine Kontaminationen, Probenverluste, Beschädigungen usw. auftreten. Je nach Probenart können unterschiedliche Transport- und Lagerbedingungen notwen-

dig sein. So sollte stets sichergestellt sein, dass erforderlichenfalls ein gekühlter oder abgedunkelter Transport oder eine entsprechende Lagerung erfolgt. Ebenso kann es notwendig sein, die gesammelten Proben bereits vor dem Transport ins Labor zu bearbeiten, um Verluste zu vermeiden.

Analytische Bestimmung

Für die analytische Bestimmung der am Arbeitsplatz gesammelten Stoffe kommen unterschiedliche Analysenverfahren zum Einsatz. Wichtig ist, dass die konkrete Auswahl des Analysenverfahrens bereits vor der Probenahme erfolgte, um sicherzustellen, dass die Quantifizierung zur Expositionsbeurteilung möglich ist.

Die Proben von Partikelprobenahmen werden üblicherweise entweder als alveolengängige oder einatembare Staubfraktion gravimetrisch bestimmt. Erforderlichenfalls werden dann noch Inhaltsstoffe bestimmt, die einen stoffspezifischen Beurteilungsmaßstab besitzen. Dies ist in zunehmendem Maße für einige Metalle relevant, die aufgrund ihrer krebserzeugenden Wirkung mittlerweile sehr niedrige Beurteilungsmaßstäbe gemäß TRGS 910 oder TRGS 561 besitzen.

Proben mit gesammelten Lösemitteldämpfen oder von Partikel/Dampf-Gemischen werden am häufigsten mit chro-

matographischen Trennverfahren in ihre Einzelkomponenten zerlegt und dann stoffspezifisch mit einem nachgeschalteten Detektor quantifiziert.

Sollen Stoffe analytisch bestimmt werden, die sowohl in der Partikel- als auch der Dampfphase am Arbeitsplatz auftreten, so ist immer zu klären, ob eine gemeinsame Bestimmung beider Phasen als Summe oder aber der Einzelphasen erforderlich ist. Bei der Bestimmung der Einzelphase ist der Arbeitsaufwand deutlich größer infolge der doppelten Probenanzahl, aber auch aufgrund der oftmals in einer dieser Phasen deutlich niedrigeren Konzentration. Sollen konkrete Schutzmaßnahmen anhand derartiger Messungen abgeleitet werden, so kann die getrennte Bestimmung von Partikel- und Dampfphase bei einer Tätigkeit sehr detaillierte Aussagen zur Art der erforderlichen Schutzmaßnahmen ermöglichen.

Alle hier aufgeführten Bestimmungsverfahren bedürfen einer Kalibrierung. Ebenso sind Blindproben zu untersuchen, die möglichst eine vergleichbare Behandlung erfahren haben wie die gesammelten Arbeitsplatzproben. Diese Blindproben – ob als Sammelröhrchen oder Filter – sollten daher stets bei der Planung berücksichtigt und zur Probenahme in die Betriebe mitgenommen werden.

Beurteilung der Messergebnisse

Die durch die analytische Bestimmung ermittelten Stoffe werden unter Berücksichtigung der bei der Probenahme im Betrieb dokumentierten Probenahmedauer und des Volumenstroms der Probenahme in Luftkonzentrationen umgerechnet. Im Gegensatz zu partikulär auftretenden Stoffen müssen für Gase und Dämpfe die Konzentrationen erforderlichenfalls auf Standardbedingungen umgerechnet werden (20 °C, 1013 hPa; AK Messtechnik 2019), wenn die Arbeitsplatzmessungen zum Beispiel in Kühlhäusern, an Heiarbeitsplätzen oder in Orten mit Höhenlagen über 500 m durchgeführt werden. Diese Luftkonzentrationen sind dann mit den entsprechenden Beurteilungsmaßstäben zu vergleichen.

Wurden bei den Arbeitsplatzmessungen mehrere Stoffe messtechnisch bestimmt, so sind für diese die Stoffindices als Quotient aus dem Messergebnis und dem AGW zu berechnen. Diese Stoffindices sind anschlie-



Foto: BAUA

Personengetragene Arbeitsplatzmessungen bei Reinigungsarbeiten im Textilrecycling

ßend zum Bewertungsindex zu addieren. Als AGW für Stoffgemische gilt ein Bewertungsindex 1. Von dieser Addition kann abgewichen werden, wenn dies arbeitsmedizinisch oder toxikologisch begründbar ist. Aus diesem Grunde ist bei der Gefährdungsbeurteilung die Einbeziehung eines Arbeitsmediziners sehr zu empfehlen.

Krebserzeugende Stoffe werden nicht in den Bewertungsindex einbezogen. Diese werden ausschließlich einzeln beurteilt. Der Befund lautet hier „Toleranzkonzentration eingehalten“ oder „Akzeptanzkonzentration eingehalten“. Bei einem Messergebnis

oberhalb der Akzeptanzkonzentration ist entsprechend TRGS 910 ein Maßnahmenplan zu erstellen, der dem Ziel dient, perspektivisch die Akzeptanzkonzentration einzuhalten.

Messergebnisse für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion werden ebenfalls nicht in den Bewertungsindex eingerechnet. Inhaltsstoffe in diesen Staubfraktionen mit einem stoffspezifischen AGW sind dagegen im Bewertungsindex zu berücksichtigen. Eine weitere Ausnahme stellen partikuläre Dieselmotoremissionen sowie Stickstoffmonoxid und -dioxid dar,

insofern sie ursächlich auf den Betrieb von Dieselmotoren zurückzuführen sind. Sie werden ebenfalls nicht im Bewertungsindex für die Stoffgemische berücksichtigt. Sind andere Tätigkeiten, wie zum Beispiel Schweißarbeiten, Quelle der Stickoxide, so sind die darauf zurückführbaren Expositionen nach TRGS 900 im Bewertungsindex zu erfassen.

Wenn bei den Arbeitsplatzmessungen kurzzeitig höhere Expositionen gemessen wurden, sind diese anhand der Kurzzeitwerte nach TRGS 900 zu beurteilen. Bei Kurzzeitwerten werden ausschließlich Einzelstoffe betrachtet; einen Bewertungsindex für Kurzzeitwerte gibt es nicht.

Bei Einhaltung der Beurteilungsmaßstäbe – sowohl als Schichtmittel- als auch als Kurzzeitwerte – ist zusätzlich die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu beurteilen. Werden diese als wirksam beurteilt, kann entsprechend TRGS 402 der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ abgeleitet werden.

Fazit

Zur Durchführung von Arbeitsplatzmessungen sind Kenntnisse über die erforderlichen Messverfahren, die betrieblichen Gegebenheiten und die ausgeführten Tätigkeiten so-

wie das technische Regelwerk erforderlich. Letzteres gibt eine klare Linie vor, wie die inhalative Exposition bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen zu ermitteln und zu beurteilen ist. Durch diese einheitliche Vorgehensweise soll erreicht werden, dass Messergebnisse keine Zufallsprodukte und vergleichbar sind.

Arbeitsplatzmessungen krebserzeugender Gefahrstoffe unterscheiden sich in der Vorgehensweise nicht von den Arbeitsplatzmessungen der anderen Gefahrstoffe. Aufgrund der als Toleranz- und Akzeptanzkonzentration abgeleiteten oftmals sehr niedrigen Beurteilungsmaßstäbe stellen sie jedoch in der Regel deutlich höhere Anforderungen an die Messverfahren. ■

Interessenkonflikt: Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Literatur

Breuer D, Hebisch R: Möglichkeiten zur Verbesserung der Bestimmungsgrenze und des Arbeitsbereiches eines Messverfahrens – Mitteilungen aus dem Arbeitskreis „Messtechnik/Messstrategie“ des Unterausschusses I beim Ausschuss für Gefahrstoffe. *Gefahrst Reinhalt Luft* 2017; 77: 11–13.

Breuer D, Dragan C, Hebisch R, Bartsch R, Giesen Y, Krämer W, Nitschke L, Nitz G, Pannwitz K-H, Tschickardt M, Hartwig A, MAK Commission: Probe-

nahme und Analyse von Stoffen und Stoffgemischen, die gleichzeitig als Dampf und Partikel in der Luft am Arbeitsplatz vorkommen können [Air Monitoring Methods in German language, 2018]. *The MAK Collection for Occupational Health and Safety* 2018; 3: 319–355.

DIN EN 482: „Exposition am Arbeitsplatz – Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe (Deutsche Fassung)“. Berlin: Beuth, 2015.

Hagmann M, Hebisch R, Baumgärtel A, Beelte S, Karmann J, Krug M, Prott U, Sondermann J, Weßler S, Wilms L, Wolf T, Weiß T: Die betriebliche Umsetzung des Risikokonzepts für krebserzeugende Gefahrstoffe – Belastung durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe beim Recycling von Bahnschwellen und der Aufarbeitung kontaminierter Böden. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 2017; 52: 670–681.

Hebisch R, Fricke H-H, Hahn J-U, Lahamatis M, Maschmeier C-P, Mattenkloß M: Probenahme und Bestimmung von Aerosolen und deren Inhaltsstoffen. In: Greim H (Hrsg.): *Deutsche Forschungsgemeinschaft – Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Luftanalysen*. Weinheim: Wiley-VCH, 14. Lieferung, 2005, S. 1–40.

Hebisch R, Breuer D, Krämer W, Maschmeier C-P, Tschickardt M: Probenahme und analytische Bestimmung von Gasen und Dämpfen. In: Greim H (Hrsg.): *Deutsche Forschungsgemeinschaft – Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Luftanalysen*. Weinheim: Wiley-VCH, 15. Lieferung, 2007, S. 1–37.

Mitteilung aus dem Arbeitskreis „Messtechnik/Messstrategie“ des Unterausschusses I beim Ausschuss für Gefahrstoffe: Empfehlung für die Berücksichtigung klimatischer Bedingungen bei Arbeitsplatzmessungen. *Gefahrst Reinhalt Luft* 2019; 79: 34.

WEITERE INFOS

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS): Technische Regel für Gefahrstoffe 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“. TRGS 402. *GMBI* 2010, S. 231–253 [Nr. 12] (v. 25.02.2010, zuletzt geändert und ergänzt: *GMBI* 2016, S. 843–846 v. 21.10.2016 [Nr. 43]

https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-402.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS): Technische Regel für Gefahrstoffe 420 „Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition“. TRGS 420. *GMBI* 2014, S. 997–1002 [Nr. 48] v. 11.09.2014, zuletzt geändert

und ergänzt: *GMBI* 2019, S. 6 [Nr. 1] v. 25.01.2019

https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-420.pdf?__blob=publicationFile&v=7

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS): Technische Regel für Gefahrstoffe 561 „Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen“. TRGS 561. *GMBI* 2017, S. 786–812 [Nr. 43] v. 17.10.2017

https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-561.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS): Technische Regel für Gefahrstoffe 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“. TRGS 900. *BarBI*. Heft 1/2006, S. 41–55, zuletzt

geändert und ergänzt: *GMBI* 2019, S. 117–119 [Nr. 7] v. 29.03.2019

https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf?__blob=publicationFile&v=13

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS): Technische Regel für Gefahrstoffe 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“. TRGS 910. *GMBI* 2014, S. 258–270 [Nr. 12] v. 2.4.2014, zuletzt geändert und ergänzt: *GMBI* 2019, S. 120 [Nr. 7] v. 29.03.2019

https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-910.pdf?__blob=publicationFile&v=10

Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung

Auf gewundenen Straßen zum verbindlichen Arbeitsplatzgrenzwert

ARBEITSPLATZGRENZWERTE „Streit um giftige Asphalt-Dämpfe“ titelte eine auflagenstarke Gazette Ende 2019. Eine seriösere überregionale Tageszeitung aus dem Hessischen befürchtete: „Der Straßenbau droht gestoppt zu werden“. Die imminente Pflicht zur Nachrüstung von „Teermaschinen“, die pro Gerät eine halbe Million kosten sollte, wurde von einem Wochenmagazin problematisiert, wobei von einem „Brandbrief“ der Bauwirtschaft die Rede war. Hintergrund der Debatte ist der neue deutsche Arbeitsplatzgrenzwert für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung. **Eberhard Nies**

Teer, Bitumen, Asphalt: Begriffliches

Inzwischen ist hinlänglich bekannt, dass Bitumen kein Teer ist. Teer bildet sich durch „Verschmelzung“ von Kohle oder anderen organischen Materialien unter Sauerstoffabschluss. Seine Verwendung im öffentlichen Straßenbau ist obsolet.

Bitumen ist hingegen ein Destillationsrückstand aus Erdöl. Es besteht aus hochmolekularen Kohlenwasserstoffen mit schwankenden Schwefel-, Sauerstoff- und Stickstoffanteilen sowie zumeist niedrigen Metallgehalten. Das bei hohen Temperaturen aufgeschmolzene Destillations- oder „Straight-Run“-Bitumen kann mittels Einblasen von Luft unter kontrollierten Bedingungen modifiziert werden. Hierbei entstehen durch Dehydrierungsreaktionen neben Wasserdampf stärker vernetzte Moleküle und damit härtere und beständigere Bitumensorten. Je nach Intensität dieses Oxidationsprozesses entsteht schwach „angeblasenes“ („air rectified“) Bitumen oder aber das „vollgeblasene“ („fully blown“) Oxidationsbitumen.

Verwendet werden Destillations- und angeblasene Bitumina überwiegend im Straßenbau, wobei die üblichen Mischungen aus Bitumen und Mineralstoffen (Sand, feinkörniger Schotter, Splitt) als „Asphalt“ bezeichnet werden. Oxidationsbitumina finden sich beispielsweise in Vergussmassen, die auch zur Abdichtung von Verkehrsflächen eingesetzt werden (Fugenverguss), sowie in Dach- und Dichtungsbahnen. Weitere wich-

tige Einsatzgebiete für Bitumen sind Estriche, Isolieranstriche, Kleber für Schaumglasdämmstoffe oder auch Antidröhnmatte für Kraftfahrzeugkarosserien.

Vorgeschichte

Die DFG-Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe („MAK-Kommission“) stufte im Jahr 2001 Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung als nachgewiesene Tierkanzerogene ein und stellte keinen MAK-Wert auf. Eine Technische Richtkonzentration des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) in Höhe von 10 mg/m³ verschwand 2004/2005 mit der Abschaffung technikbasierter Luftgrenzwerte aus den deutschen Grenzwertlisten¹.

Seit den 1990er Jahren gab es in Deutschland vielfältige Bestrebungen, die Exposition gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen am Arbeitsplatz kontinuierlich zu reduzieren. Besonders hervorzuheben sind die Aktivitäten des sozialpartnerschaftlich organisierten „Gesprächskreises Bitumen“

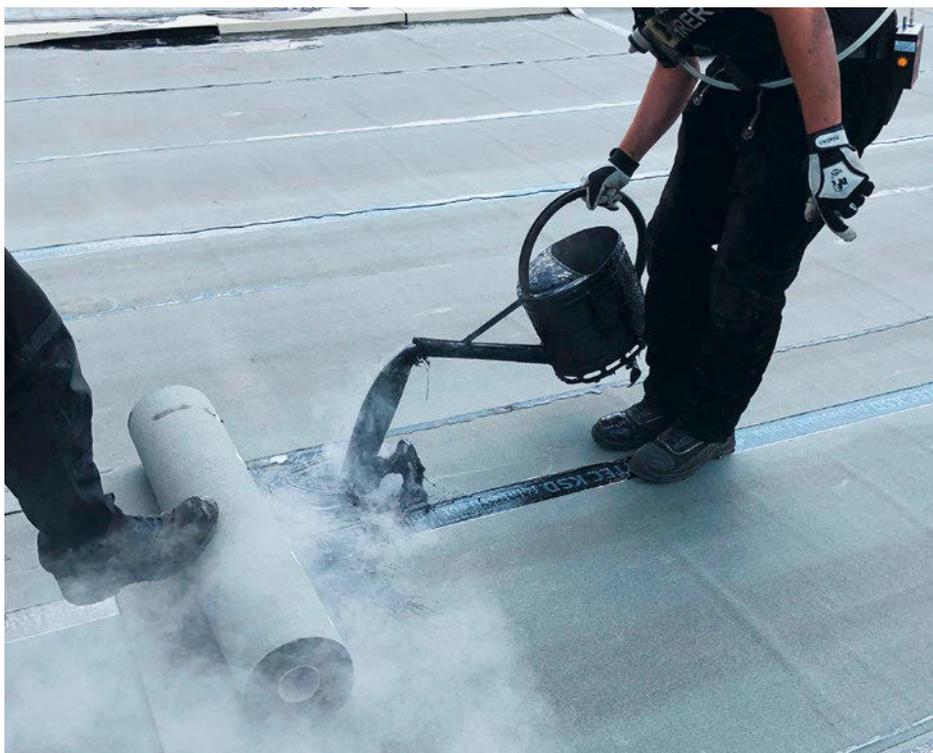
1 Zur quantitativen Bestimmung wurde ein Mineralölstandard verwendet. Mittlerweile hat sich ein Bitumenkondensatstandard durchgesetzt, auf den die im weiteren Text genannten Grenzwerte (Derived No Effect Level – DNEL, Maximale Arbeitsplatzkonzentration – MAK, aktueller Arbeitsplatzgrenzwert – AGW) bezogen sind. Da der Umrechnungsfaktor rund 1,5 beträgt, entsprechen 10 mg/m³ mit Mineralölstandard ungefähr 15 mg/m³ mit Kondensatstandard.

AUTOR

Dipl.-Biol. Dr. rer. nat. Eberhard Nies
Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin
eberhard.nies@dguv.de

unter der Obmannschaft der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU). Dieser propagiert schon lange den Einsatz von Asphaltmodifikationen, die bei niedrigeren Temperaturen verarbeitet werden können. Ermöglicht wird dies durch eine Veränderung der Mischtechnik, den Zusatz viskositätsmindernder Wachse, oberflächenaktiver Netzhaftmittel oder mineralischer Zeolithe. Die einfache Formel lautet: geringere Verarbeitungstemperatur = geringere Arbeitsplatzexposition. Eine Absenkung der Verarbeitungstemperatur hat aber auch Grenzen, die den technischen Anforderungen und der Haltbarkeit der Produkte geschuldet sind.

Beflügelt wurden diese Bemühungen zur Emissionsminderung durch die Veröffentlichung des Hersteller-DNEL (Derived No Effect Level) von 2,9 mg/m³ für Bitumen-Aerosole und Dämpfe im Rahmen der europäischen REACH-Verordnung. Nach dem in Deutschland geltenden technischen Regeln



Verkleben von Dichtungsbahnen

können DNEL in Abwesenheit verbindlicher Arbeitsplatzgrenzwerte oder MAK-Werte zur Expositionsbeurteilung herangezogen werden. Von der BG BAU kam das Angebot einer engmaschigen arbeitsmedizinischen Überwachung hoch exponierter Beschäftigter.

Die Industrie beteiligt sich nicht nur durch die Identifizierung geeigneter Baustellen für Messkampagnen und die Unterstützung bei der Erstellung von Expositionsbeschreibungen typischer Arbeitsplätze, sondern auch an der Finanzierung wissenschaftlicher Projekte zur Erforschung gesundheitlicher Wirkungen von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bei der Heißverarbeitung.

In den vergangenen beiden Dekaden sind entscheidende neue Erkenntnisse zur Toxikologie von Bitumen gewonnen worden. Hinzu kommt, dass die Internationale Krebsforschungsagentur IARC im Jahr 2013 eine umfangreiche Monografie vorlegte, in der sie eine differenzierende Perspektive einnahm: Expositionen gegen oxidierte Bitumina und deren Emissionen bei Dacharbeiten wurden in die Gruppe 2A krebserzeugender Stoffe („probably carcinogenic to humans“) eingestuft, während „Hartbitumina“ und deren Emissionen bei Gussasphaltarbeiten sowie „Straight-Run-Bitumina“ und deren Emissionen im Stra-

ßenbau der Gruppe 3 („possibly carcinogenic to humans“) zugeordnet wurden.

Neubewertung durch die MAK-Kommission

Die beschriebenen Entwicklungen veranlassten die MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die neuen Daten zu sichten und eine Aktualisierung ihres Begründungspapiers vom Anfang des Jahrhunderts in Angriff zu nehmen. Bezüglich der Einstufung folgte sie im Wesentlichen dem IARC-Vorschlag: Insbesondere auf der Grundlage von Hautpinselungsstudien an Mäusen mit Kondensaten aus Oxidationsbitumen, die zu lokalen Tumoren geführt hatten, entschied sich die Kommission für einen Verbleib von Oxidationsbitumen in der Kategorie 2 krebserzeugender Stoffe nach den Einstufungskriterien der DFG-Kommission („hinreichende Ergebnisse aus Langzeit-Tierversuchen“).

Vor einigen Jahren war in Hannover eine aufwändige Zweijahres-Ratten-Inhalationsstudie mit Kondensaten aus einem handelsüblichen Straßenbaumaterial abgeschlossen worden, das sich aus Destillations- und Air-Rectified-Bitumen zusammensetzte. Eine gegenüber der Kontrolle signifikant erhöhte Tumorrates konnte nicht beobachtet werden.

Dieser Befund bewog die MAK-Kommission in Zusammenschau mit negativen Ergebnissen nach dermalen Applikation und unterstützenden Daten zur Genotoxizität, nicht geblasenes und angeblasenes Bitumen aus der Kanzerogenitätskategorie 2 herauszunehmen.

Gleichwohl heißt es im Begründungspapier: „Wegen der großen Spannweite in der chemischen Zusammensetzung von Destillationsbitumen bleiben jedoch Verdachtsmomente bestehen. Folglich können schädigende Emissionen kanzerogener und mutagener Substanzen nicht vollständig ausgeschlossen werden.“ Unter anderem wurde dabei an polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe gedacht, deren Konzentration in Bitumen zwar um Größenordnungen niedriger ist als beispielsweise im Steinkohlenteer, für deren krebserzeugende Wirkung aber keine toxikologische Schwelle angegeben werden kann. Daher wurden bei der Heißverarbeitung von Destillationsbitumen und Air-Rectified-Bitumen entstehende Dämpfe und Aerosole in die Verdachts-Kategorie 3B nach dem DFG-Klassifizierungsschema für krebserzeugende Stoffe eingestuft („zur endgültigen Entscheidung sind weitere Untersuchungen erforderlich“).

Die erwähnte Hannoveraner Inhalationsstudie versetzte die Kommission auch in die Lage, einen MAK-Wert für Destillations- und Air-Rectified-Bitumen abzuleiten. Ausgehend von einer „No Observed Adverse Effect Concentration“ von 6 mg/m^3 für Entzündungszellen im nasalen Epithel sowie vermehrtes Auftreten einer bronchioalveolären Hyperplasie ergab sich unter Verwendung der etablierten Umrechnungsfaktoren zur Überbrückung toxikokinetischer und -dynamischer Unterschiede zwischen ruhendem Versuchstier und dem arbeitenden Menschen eine maximale Arbeitsplatzkonzentration von $1,5 \text{ mg/m}^3$. Sie ist zu verstehen als Summe der Dämpfe und Aerosole aus Bitumen in der Atemluft, bezogen auf einen Kondensatstandard. Dieser Wert wird gestützt durch die Resultate einer neueren, breit angelegten und gut dokumentierten deutschen „Humanstudie Bitumen“, mit der auch präklinische gesundheitliche Endpunkte an den Atemwegen von mit Gussasphalt Arbeitenden in Abhängigkeit von deren Expositionssituation erfasst worden waren.

Der MAK-Wert-Vorschlag wurde im Sommer 2018 offiziell bekannt gegeben. Gemäß den Gepflogenheiten der DFG-Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher

INFO

- Bitumen ist ein Destillationsrückstand aus Erdöl.
- Teer wird durch Pyrolyse von Kohle oder anderem organischem Material gewonnen und ist im Straßenbau verboten.
- Der Gehalt an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Bitumen ist erheblich geringer als bei Teerprodukten.
- Destillationsbitumen wird überwiegend im Straßenbau verwendet.
- Durch kurzzeitiges Einblasen von Luft bei hohen Temperaturen können härtere und beständigere Bitumensorten erzeugt werden.
- Abhängig von den Reaktionsbedingungen entstehen so durch Luftzuführung „angeblasenes“ („air rectified“) Bitumen oder aber Oxidationsbitumen.
- Asphalt ist eine Mischung aus Gesteinskörnungen und dem Bindemittel Bitumen.



Foto: Dieter Höber, BG Bau

Asphaltfertiger im Straßenbau

Arbeitsstoffe ist damit eine Einladung an die interessierte Öffentlichkeit verknüpft, innerhalb eines halben Jahres wissenschaftlich fundierte Stellungnahmen abzugeben. Auf Anfrage wird zu diesem Zweck das Manuskript des zugehörigen Begründungsdokuments von der Kommission zur Verfügung gestellt. Im Falle der Bitumen-Neubewertung wurde von dieser Möglichkeit rege Gebrauch gemacht: Drei Konsortien reichten fristgerecht ihre Anmerkungen und Änderungswünsche ein, die eine intensive Beschäftigung der externen Expertinnen und Experten mit dem Begründungstext erkennen ließen. Die Kommentare bezogen sich überwiegend auf die technische Terminologie oder Systematik und enthielten Korrekturen redaktioneller Art sowie Anregungen zur Präzisierung einiger missverständlicher Formulierungen in dem über hundert Druckseiten umfassenden Papier. Der von der Kommission eingeschlagene Ableitungsweg zur Aufstellung eines MAK-Werts wurde nicht beanstandet. Inzwischen ist das Begründungspapier unter Berücksichtigung der Eingaben überarbeitet und publiziert worden. Die Einstufungen und der MAK-Wert blieben unverändert.

Beschlüsse des Ausschusses für Gefahrstoffe

Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) ist ein Beratungsgremium des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales in Bonn und

Berlin. Er setzt sich zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern der Sozialpartner, Arbeitsschutzbehörden und gesetzlicher Unfallversicherung sowie unabhängigen Sachverständigen. Neben zahlreichen weiteren Aufgaben erarbeitet er Empfehlungen zur Neuaufnahme oder Änderung von Luftgrenzwerten und Einstufungen für Arbeitsstoffe in das untergesetzliche Regelwerk.

Sein Unterausschuss III „Gefahrstoffbewertung“ prüft unter anderem Grenzwertvorschläge von dritter Seite unter toxikologisch-arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten. In diesem Kontext gelangte auch das MAK-Begründungspapier für Bitumen auf die Tagesordnung des Unterausschusses. Nach kurzer Diskussion wurde Konsens darüber erzielt, dass es aus fachlicher Sicht keine Einwände gegen eine Übernahme des MAK-Werts in die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) Nr. 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ gibt. Eine entsprechende Vorlage wurde dem Hauptausschuss zugestellt. Gleichzeitig wurde aber zu Protokoll gegeben, dass es speziell bei Asphaltierarbeiten zu erheblichen Problemen kommen werde, diesen Grenzwert einzuhalten.

Somit war der übergeordnete AGS im Zugzwang. Im Vorfeld seiner turnusgemäßen Zusammenkunft im November 2019 erreichten ihn fünf Anträge auf ein Moratorium. Das ist zwar ungewöhnlich, aber völlig legitim: Im Gegensatz zur MAK-Kommission

kann der AGS in begründeten Fällen auch sozioökonomische Aspekte oder technische Hindernisse in Betracht ziehen und Übergangs- oder Ausnahmeregelungen aushandeln. Des ebenfalls vor der entscheidenden AGS-Sitzung an drei Bundesministerien verschickten pressewirksamen „Brandbriefs“ der Bauwirtschaft hätte es also zu diesem Zeitpunkt nicht bedurft.

Der AGS empfahl schließlich dem Arbeitsministerium, im deutschen Regelwerk einen Arbeitsplatzgrenzwert von 1,5 mg/m³ für Dämpfe und Aerosole aus Destillations- und Air-Rectified-Bitumen festzuschreiben. Den Anträgen für eine Übergangsfrist wurde insofern entsprochen, als dieser Grenzwert für die Bereiche Walz- und Gussasphalt sowie für Bitumen- und Polymerbitumenbahnen bis Ende 2024 ausgesetzt werden soll. Weiter wurde vereinbart, dass Baugewerbe und Bauindustrie zusammen mit der BG BAU konkrete Lösungsansätze erarbeiten, um die Unternehmen bei der Optimierung der Arbeitsschutzstandards zu unterstützen. Für Mai 2022 erwartet der AGS einen Zwischenbericht zum Umsetzungsstand und zur Wirksamkeit der eingeleiteten Maßnahmen.

Was ist zu tun?

Nach den verfügbaren Informationen liegen die Expositionen gegen Dämpfe und Aerosole aus heißem Bitumen in vielen Anwendungsbereichen nicht oder nur geringfügig



Absaugung am Fertiger

über dem neuen Arbeitsplatzgrenzwert. Es gibt aber kritische und sehr kritische Branchen, wobei zuallererst der Asphalteinbau in den Blick genommen werden muss. Nach Schätzungen betrifft dies mehrere Tausend Beschäftigte.

Hier ist ein ganzes Maßnahmenbündel erforderlich, um eine deutliche Absenkung der notorisch hohen Konzentrationen in der Arbeitsplatzluft zu erreichen. Persönliche Schutzausrüstung wie etwa gebläseunterstützter Atemschutz darf nur die Ultima Ratio sein. Solche Vorrichtungen sind eine Belastung für die Arbeitenden, und das eingeschränkte Sichtfeld beim Tragen fremdbelüfteter Helme kann gerade auf Autobahnbaustellen zusätzliche Gefahren hervorbringen.

Bei der Neuanschaffung von Fertigermaschinen zum Einbau von Asphalt auf Straßen sollten Geräte gewählt werden, die über eine Bohlenabsaugung verfügen. Das ist Stand der Technik. Über die Förderschnecken der Bohle wird das Mischgut gleichmäßig auf die Straßenoberfläche verteilt. Die hinter dem Fertiger arbeitenden Bohlenführer sind

hoch exponiert. Auch über eine Nachrüstung bereits vorhandener Geräte sollte deshalb nachgedacht werden. Die dafür notwendigen Investitionen sind sicher nicht leicht zu stemmen. Allerdings betragen sie nur einen Bruchteil der von Focus-Online am 19.11.2019 kolportierten 500.000 Euro pro modernisiertem Gerät – hier wurden offenbar die Kosten für die Nachrüstung mit dem Neupreis eines kompletten Fertigers verwechselt.

Die Industrie hat in der Vergangenheit bewiesen, dass sie die Verantwortung für die Gesundheit ihrer Beschäftigten ernst nimmt. Es ist

zu hoffen, dass die bewährte sozialpartnerschaftliche Zusammenarbeit in der Tradition des „Gesprächskreises Bitumen“ konstruktiv und zielorientiert fortgesetzt wird.

Die Hersteller bitumenhaltiger Dach- und Dichtungsbahnen bieten längst auch Produkte an, die frei von krebserzeugendem Oxidationsbitumen sind. Während der vom AGS gewährten Übergangsfrist soll der Umstellungsprozess vollzogen und repräsentative Arbeitsplatzmessungen verwirklicht werden.

Auch die öffentlichen Auftraggeber müssen in die Pflicht genommen werden und bei Ausschreibungen die Verwendung von temperaturabgesenktem Asphalt begünstigen. Die zuständigen Behörden sollten das Regelwerk entsprechend anpassen und die technische Prüfung der Eigenschaften von temperaturabgesenktem Asphalt zum Abschluss bringen.

Es sei nicht verschwiegen, dass die Erfolgskontrolle mit besonderen messtechnischen Herausforderungen verbunden ist. Bitumen ist ein komplexes Naturprodukt von variabler Zusammensetzung, weswe-

gen es eine spezifische chemische Nachweismethode für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen nicht geben kann. Gemessen werden Molekülschwingungen an Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen mittels Infrarot-Spektroskopie. Dieses Verfahren erfasst aber ebenso andere organische Stoffe, seien es Emissionen aus dem Straßenverkehr oder von Lösemitteln, wie sie als Verdünner oder Trennmittel nicht selten auf Baustellen eingesetzt werden. Auf eine sorgsame Beurteilung dieser Störfaktoren muss bei jeder Messung unbedingt geachtet werden, um nutzlose Analysenwerte zu vermeiden, denen dann fälschlich das Etikett „Bitumen“ angeheftet wird. ■

Interessenkonflikt: Als Mitglied verschiedener nationaler regulatorischer Gremien war der Autor selbst an der beschriebenen Neueinstufung von Bitumen sowie der Ableitung und Verabschiedung der Luftgrenzwerte beteiligt.

WEITERE INFOS



Deutsche Forschungsgemeinschaft, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe: Bitumen (Dampf und Aerosol bei der Heißverarbeitung), Nachtrag 2019
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/3527600418.mb805242d0067>



International Agency for Research on Cancer: Bitumen and bitumen emissions, and some N- and S-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans Nr. 103, 2013
<https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono103.pdf>



Welge et al: Aktuelle Bewertung von Bitumen in regulatorischen Gremien. IPA-Journal 3/2019
https://www.ipa-dguv.de/medien/ipa/publikationen/ipa-journale/ipa-journale2019/documents/ipa_journal_1903_bitumen.pdf



Gesprächskreis Bitumen
<https://www.bgbau.de/die-bgbau/ueber-uns/netzwerk-und-koooperationen/gespraechskreis-bitumen/>

Biomonitoring in der Gefährdungsbeurteilung

GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG Am Beispiel des 1,3-Butadiens wird gezeigt, dass die Ergebnisse von Biomonitoring-Untersuchungen in die Gefährdungsbeurteilung des Unternehmens einfließen sollten, damit dieses in Zusammenarbeit mit dem betriebsärztlichen Dienst die Möglichkeit hat, die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen für definierte Tätigkeiten überprüfen zu können. **Gabriele Leng et al.**

Einleitung

1,3-Butadien (CAS-Nr. 106-99-0) wird technisch unter anderem aus Erdöl mittels Steamcracking gewonnen. Es ist ein farbloses Gas, das bei der Herstellung von Synthesekautschuk eingesetzt wird, zum Beispiel des Styrol-Butadien-Rubbers (SBR).

1,3-Butadien ist nach CLP-Verordnung in die Kanzerogenitätskategorie 1A (Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen) sowie in die Mutagenitätskategorie 1B eingestuft (GESTIS, CLP). Bei einer beruflichen Exposition gegenüber mehr als 5 mg/m³ (2 ppm, Toleranzrisiko-Konzentration gemäß TRGS 910) über einen Zeitraum von 40 Jahren besteht ein Risiko von 4 zu 1000, Non-Hodgkin-Lymphome zu entwickeln (TRGS 910).

Für 1,3-Butadien gilt, dass nach ArbmedVV wegen seiner krebserzeugenden und keimzellmutagenen Wirkung eine Angebotsvorsorge anzubieten ist. Darüber hinaus sollte den Beschäftigten ein Biomonitoring angeboten werden, da sowohl ein anerkanntes Analysenverfahren vorliegt als auch Werte zur Beurteilung zur Verfügung stehen (ArbmedVV §6 (2) und AMR 6.2).

1,3-Butadien-Biomonitoring

Als Biomarker einer 1,3-Butadien-Belastung wird die 3,4-Dihydroxybutylmerkaptursäure (DHBMA) im Urin nach Schicht bestimmt. DHBMA ist mit 97% der Hauptmetabolit des 1,3-Butadiens. Es liegt eine Hintergrundbelastung bezüglich 1,3-Butadien vor, so dass ein Biologischer Arbeitsstoffreferenzwert (BAR) von 0,4 mg/g Kreatinin abgeleitet werden konnte (Göen 2014). Der Äquivalenzwert zum Akzeptanzrisiko beträgt 0,6 mg/g Kreatinin (zusätzliches Lebenszeit-Krebsrisiko 4:10.000), der zum Toleranzrisiko 2,9 mg/g Kreatinin (zusätzliches Lebenszeit-Krebsrisiko 4:1000) nach TRGS 910. Weitere Informationen zur Hintergrundbelastung und Beurteilungswerte für 1,3-Butadien und der Merkaptursäure sind in **➔ Tabelle 1** zusammengefasst.

Ergibt eine Auswertung der Biomonitoring-Befunde Anhaltspunkte für unzureichende Schutzmaßnahmen, so hat die Ärztin oder der Arzt dies nach §6 Absatz 4 ArbMedVV (AMR 6.4) dem Betrieb mitzuteilen und Schutzmaßnahmen vorzuschlagen. Die Erkenntnisse können unter Wahrung der ärztlichen Schweigepflicht in die



FÜR DIE AUTORENSCHAFT

Prof. Dr. med. Gabriele Leng
Currenta GmbH & Co. OHG
CUR-SER-GS-Institut für Biomonitoring
51368 Leverkusen

gabriele.leng@currenta.de

Foto: Currenta

Gefährdungsbeurteilung des Betriebs einfließen.

Am Beispiel des 1,3-Butadiens soll im Folgenden gezeigt werden, wie wichtig das Biomonitoring zur Wirksamkeitskontrolle der getroffenen Schutzmaßnahmen ist.

Kollektiv und Methode

Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge wurde bei 200 männlichen Chemiefacharbeitern, die in der Herstellung von synthetischem Kautschuk beschäftigt sind, ein Biomonitoring zur Objektivierung einer potenziellen Exposition gegenüber 1,3-Butadien durchgeführt.

Tabelle 1: 1,3-Butadien Quellen außerhalb des Arbeitsplatzes, toxikologische Infos und Beurteilungswerte

Quellen	Toxikologische Infos	Beurteilungswerte Luft*	Beurteilungswerte DHBMA im Urin*
Rauchen: bis 75 µg pro Zigarette; im Raucherraum bis 20 µg/m ³	Humankarzinogen Kategorie 1 Non-Hodgkin-Lymphome		0,4 mg/g Kreatinin (BAR)
Stadtluft 1–20 µg/m ³	Keimzellmutagen Kategorie 2	0,5 mg/m ³ (0,2 ppm) (Akzeptanzkonzentration; Risiko 4:10.000)	0,6 mg/g Kreatinin (Äquivalenzwert zum Akzeptanzrisiko; Risiko 4:10.000)
Pro gefahrenen Kilometer emittiert ein PKW ca. 6 mg		5 mg/m ³ (2 ppm) (Toleranzkonzentration; Risiko 4:1000)	2,9 mg/g Kreatinin (Äquivalenzwert zum Gefahrenrisiko; Risiko 4:1000)

*Nach TRGS 910

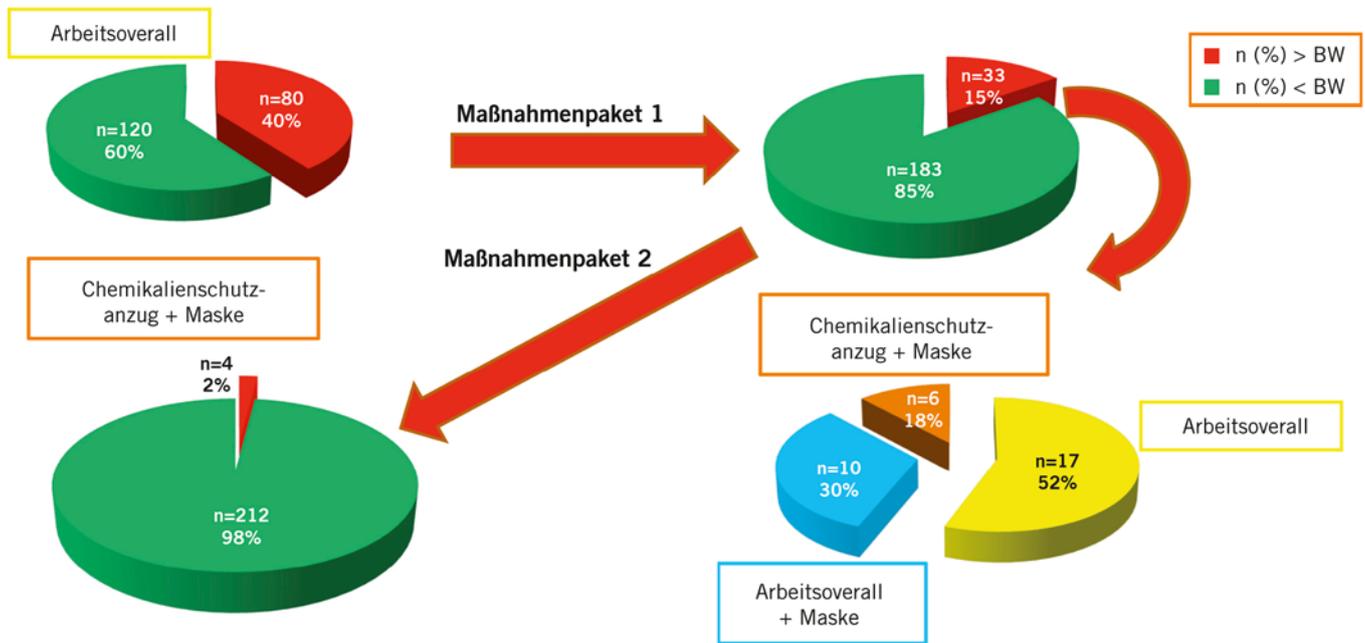


Abb. 1: Anzahl (%) der DHBMA-Werte oberhalb des Beurteilungswertes von 2,9 mg/g Kreatinin vor und nach verschiedenen Schutzmaßnahmenpaketen

tadien durchgeführt. Die Urinsammlung erfolgte nach Schicht (5-Schicht-Betrieb). In den Urinproben wurde der 1,3-Butadienmetabolit DHBMA mittels LC-MS/MS analog der Methode von Eckert et al. (2016) analysiert. Personenbezogene Luftmessungen wurden im Betrieb mit dem in der DGUV Information 213-526 beschriebenen Messverfahren ebenfalls durchgeführt.

Als Arbeitsschutzmaßnahme für alle Tätigkeiten war das Tragen eines Arbeitsoveralls vorgeschrieben, weil die Gefährdungsbeurteilung ergeben hat, dass kein offener Umgang besteht.

Ergebnisse

Ausgangslage

Das Ergebnis der Biomonitoring-Untersuchungen in 200 Urinproben auf den 1,3-Butadien-Metaboliten DHBMA im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge war, dass bei 40% der Beschäftigten der Äquivalenzwert zum Toleranzrisiko von 2,9 mg/g Kreatinin überschritten war (→ Abb. 1). Die Konzentration des 1,3-Butadiens in der Luft am Arbeitsplatz lag hingegen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Biomonitoringwerte nach Maßnahmenpaket 1

Dieses unerwartete Ergebnis führte dazu, dass von Seiten des Betriebs in Zusammen-

arbeit mit der Betriebsärztin/dem Betriebsarzt und dem Betriebsrat sofort technische Maßnahmen geplant und vorbereitet wurden. Als kurzfristig umsetzbare Maßnahmen erfolgten Schulungen der Beschäftigten und eine Überarbeitung des Konzepts zur Auswahl und Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung (PSA). In der Gefährdungsbeurteilung wurden nun verschiedene Tätigkeiten definiert, die in insgesamt drei unterschiedlichen Arbeitsbereichen im Betrieb routinemäßig ausgeführt werden. Zu diesen Bereichen wurde das im Folgenden dargelegte PSA-Konzept hinterlegt:

1. Arbeitsbereich: für Tätigkeiten, die in diesem Bereich durchzuführen sind, wird ein Arbeitsoverall getragen.
2. Arbeitsbereich: zusätzlich zum Arbeitsoverall müssen Atemschutzmasken mit AX-Filter getragen werden.
3. Arbeitsbereich: Chemikalienschutzanzug Tychem F von DuPont und Atemschutzmasken mit AX-Filter sind hier vorgeschrieben.

Der Belegschaft wurde die Notwendigkeit der Anpassung des PSA-Konzepts in Schulungen (in Anwesenheit von Betriebsleitung, dem Betriebsrat sowie der Betriebsärztin bzw. dem Betriebsarzt) dargelegt. Es wurde

insbesondere hervorgehoben, dass 1,3-Butadien ein humankarzinogener Stoff ist und dass eine arbeitstägliche Belastung mit diesem Stoff oberhalb des Äquivalenzwertes zum Akzeptanzrisiko und erst recht zum Toleranzrisiko vermieden werden muss. Es wurde betont, dass das neue PSA-Konzept dem Schutz der Gesundheit des einzelnen Beschäftigten dient. Ferner wurde der Belegschaft die Wichtigkeit, jetzt an den Biomonitoring-Untersuchungen als Wirksamkeitskontrolle teilzunehmen, erklärt.

Die Schulungen führten dazu, dass alle Beschäftigten an der nachfolgenden Biomonitoring-Untersuchung teilnahmen – 16 Personen mehr als in der Erstuntersuchung. Das Ergebnis der 216 Urinproben auf DHBMA zeigte, dass nun nur noch bei 33 Personen (15%) die DHBMA-Werte oberhalb von 2,9 mg/g Kreatinin lagen (s. Abb. 1). Unterteilt in die drei Arbeitsbereiche, wurden 52% der Überschreitungen bei Tätigkeiten mit Arbeitsoverall, 30% bei den definierten Tätigkeiten mit Arbeitsoverall und Atemschutzmaske und 18% bei den definierten Tätigkeiten mit Chemikalienschutzanzug und Atemschutzmasken beobachtet (s. Abb. 1).

Um den Einfluss der Arbeitshygiene näher zu untersuchen, wurden die auffälligen Werte in dem nächsten Schritt den einzelnen Schichtgruppen zugeordnet. Der Betrieb hat



Foto: AdamGregor/Getty Images

Beim Umgang mit kanzerogenen Stoffen wie 1,3-Butadien ist das Tragen eines Chemikalienschutzanzugs und einer Atemschutzmaske unabdingbar

ein 5-Schicht-Modell mit jeweils vergleichbarer Beschäftigtenzahl.

Biomonitoringwerte nach Maßnahmenpaket 1 schichtspezifisch

In **➔ Tabelle 2** sind die für jede Schicht und Tätigkeitsbereich ermittelten prozentualen Häufigkeiten der Überschreitungen des Äquivalenzwertes zum Toleranzrisiko (BW 2,9 mg/g Kreatinin) sowie die Maximalwerte dargestellt. Es ist ersichtlich, dass zwischen den Schichtmannschaften erhebliche Unterschiede sowohl bezüglich der Häufung von Auffälligkeiten als

auch hinsichtlich der Höhe der Maximalwerte bestanden. Beschäftigte der Schicht 1 hatten am seltensten eine nicht tolerable 1,3-Butadienbelastung (DHBMA >2,9 mg/g Kreatinin), die Beschäftigten der Schicht 4 demgegenüber am häufigsten. Auch die Höhe der Belastung variierte stark zwischen den Schichten (von leicht oberhalb des BW bis zu einer fast 20fachen Überschreitung des BW).

Das Maßnahmenpaket 1 führte zwar zu einer Verbesserung der Belastungssituation der Beschäftigten, das Ergebnis war jedoch noch nicht zufriedenstellend. Daher wurde

beschlossen, sämtliche definierten Tätigkeiten, unabhängig vom Arbeitsbereich, mit Chemikalienschutzanzug und Atemschutzmaske durchführen zu lassen.

Biomonitoringwerte nach Maßnahmenpaket 2

Das Ergebnis der erneut abgegebenen 216 Urinproben auf DHBMA zeigte nun nur noch 2 % Überschreitungen des Äquivalenzwertes zum Toleranzrisiko von 2,9 mg/g Kreatinin (s. Abb. 1). Die vier Überschreitungen betrafen ausnahmslos die Schicht 4.

Tabelle 2: Wirksamkeitskontrolle nach Umsetzung des Maßnahmenpaketes 1 mittels Biomonitoring (DHBMA im Urin als Marker einer 1,3-Butadienbelastung*)

Schicht 1–5 n = 216 Personen	1. Tätigkeitsbereich PSA: Overall n = 67 Personen	2. Tätigkeitsbereich PSA: Overall + Maske n = 88 Personen	3. Tätigkeitsbereich PSA: Maske + Chemikalienschutzanzug n = 61 Personen
Schicht 1 n = 39	17% > BW Maximalwert: 3,5 mg/g Kreatinin	6% > BW Maximalwert: 3 mg /g Kreatinin	0%
Schicht 3 n = 38	10% > BW Maximalwert: 17 mg/g Kreatinin	6% > BW Maximalwert: 5 mg/g Kreatinin	8% > BW Maximalwert: 3,3 mg/g Kreatinin
Schicht 2 n = 43	29% > BW Maximalwert: 14 mg/g Kreatinin	12% > BW Maximalwert: 21 mg/g Kreatinin	8% > BW Maximalwert: 3,5 mg/g Kreatinin
Schicht 5 n = 45	29% > BW Maximalwert: 7,5 mg/g Kreatinin	12% > BW Maximalwert: 7 mg/g Kreatinin	14% > BW Maximalwert: 12 mg/g Kreatinin
Schicht 4 n = 51	35% > BW Maximalwert: 56 mg/g Kreatinin	19% > BW Maximalwert: 16 mg/g Kreatinin	15% > BW Maximalwert: 5 mg/g Kreatinin

*Nach TRGS 910 1,3-Butadien BW (DHBMA) = 2,9 mg/g Kreatinin

KOAUTOREN

Mitautoren des Beitrags sind Dr. Christoph Schmidtkunz und Dr. Michael Held (Gesundheitsschutz – Institut für Biomonitoring, Leverkusen).

Ein direkter Stoffkontakt ist durch das Tragen eines Chemikalienschutzanzuges sowie einer Atemschutzmaske ausgeschlossen. Somit ist die Belastung durch diese Tätigkeiten nur erklärbar durch nicht optimale Arbeitshygiene.

Diskussion

Durch das Biomonitoring wurden Lücken im persönlichen Arbeits- und Gesundheitsschutz sichtbar gemacht und konnten adressiert werden. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse von Biomonitoring-Untersuchungen in die Gefährdungsbeurteilung des Betriebs einfließen sollten, um die Wirksamkeit von

Schutzmaßnahmen für definierte Tätigkeiten überprüfen zu können. Es wurden während des hier dargestellten Untersuchungszeitraums von Seiten des Unternehmens in Zusammenarbeit mit Betriebsärztin/Betriebsarzt und Betriebsrat zwar sofort technische Maßnahmen in die Wege geleitet, deren Umsetzung aber nicht zeitnah erfolgen konnte. Daher wurde als Interimslösung auf organisatorische Maßnahmen in Hinblick auf Schulungen als auch auf Veränderungen in der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) zurückgegriffen.

Aus arbeitsmedizinischer Sicht war auffällig, dass obwohl in allen Schichten dieselben Maßnahmen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz ergriffen wurden, in einer der Schichtmannschaften häufigere und höhere Überschreitungen des Beurteilungswertes beobachtet wurden. Es zeigte sich bei den Schulungen, dass die Relevanz der Maßnahmenumsetzungen den Beschäftigten vorgelebt werden muss, beispielsweise vom Schichtmeister. Darüber hinaus erfor-

dert es eine kontinuierliche betriebsärztliche Betreuung und auch wiederholte Biomonitoring-Untersuchungen, um nachhaltig eine Stoffbelastung in einem Betrieb zu reduzieren. Über die Relevanz des Biomonitorings für die Verbesserung der Arbeitshygiene wurde am Beispiel der Isocyanate bereits berichtet (Leng 2013). ■

Interessenkonflikt: Die Autorenschaft gibt an, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

Literatur

DGLIV Information 213-526, Verfahren zur Bestimmung von 1,3-Butadien, September 2018.

Eckert E, Göen T, Hartwig A, MAK Commission: Mercaptursäuren des 2-Chloroprens, des Epichlorhydrins und des 1,3-Butadiens in Urin, The MAK Collection for Occupational Health and Safety 2016, Vol 1, No 3.

Leng G et al: Biomonitoring im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung G 27 am Beispiel von Hexamethylen-1,6-Diisocyanat (HDI). *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 2013; 48: 392–396.

WEITERE INFOS

Arbeitsmedizinische Vorsorge nach der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV), Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Stand Juli 2019
<https://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/a453-arbeitsmedizinischen-vorsorge.html>



Arbeitsmedizinische Regel Biomonitoring (AMR 6.2), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Stand Februar 2014
https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/pdf/AMR-6-2.pdf?__blob=publicationFile&v=2



Arbeitsmedizinische Regel Biomonitoring (AMR 6.4), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Stand Juni 2014
https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/pdf/AMR-6-4.pdf?__blob=publicationFile&v=2



Begründung zu Expositions-Risiko-Beziehung für 1,3-Butadien in BekGS 910, BAuA
https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/910/910-1-3-butadien.pdf?__blob=publicationFile&v=2



CLP-Regulation classification, labelling and packaging of substances and mixtures, (EC) No 1272/2008
<https://echa.europa.eu/de/regulations/clp/legislation>



GESTIS-Stoffdatenbank 1,3-Butadien, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
https://www.google.de/search?ei=I9ONXoWfEILhkgXr7zgBw&q=gestis+stoffdatenbank&oq=GESTIS&gs_l=psy-ab.1.1.0i10.23649.25317..27468...0.3..0.94.503.6.....0....1.gws-wiz.....0i71j0i131i67j0i67j0i131j0i10.UzMattK5ZAE#spf=1577967021575



Göen T, Hartwig A, MAK Commission: Addendum zu 1,3-Butadien [BAT Value Documentation in German language (2013), Documentation and Methods, The MAK Collection for Occupational Health and Safety 2013
<https://doi.org/10.1002/3527600418.bb10699d0020>



TRGS 910 Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-910.html>



Der Allostatic Load Index

Messinstrument für Folgen psychosozialer Belastungen

ALLOSTATIC-LOAD-KONZEPT Menschen sind während des Arbeitslebens besonders anfällig für vorzeitiges Altern und gesundheitliche Folgen psychosozialer Belastungen. Es stellt sich die Frage, ob und wie diese Folgen gemessen werden und in einer praktikablen Kennzahl operationalisiert werden können. Das Allostatic-Load-Konzept scheint hierfür einen geeigneten Ansatz zu liefern. **Daniel Mauss**

Einleitung

Eine gesunde Belegschaft stellt eine wichtige Ressource für Unternehmen dar und wird auch in den nächsten Jahren ein zentrales personalpolitisches Thema sein. Besonders vor dem Hintergrund einer sich verändernden Arbeitswelt (z.B. durch Globalisierung, Komplexität, Arbeitsverdichtung, ständige Erreichbarkeit) und den Folgen des demografischen Wandels (z.B. ältere Belegschaften, Fachkräftemangel) gewinnt diese Ressource immer mehr an Bedeutung. Arbeitsbedingter Stress ist ein Thema, das auf der einen Seite zunimmt, auf der anderen Seite zu gravierenden gesundheitlichen Beschwerden führen kann. Die europäische ESENER-Umfrage hat festgestellt, dass arbeitsbedingter Stress zukünftig eine der wichtigsten Herausforderungen für Unternehmen darstellen wird (s. „Weitere Infos“).

Die physischen und psychischen Auswirkungen von psychosozialen Stress können abhängig von individueller Resilienz und Ressourcen teilweise sehr unterschiedlich ausfallen. Um diese unterschiedliche Vulnerabilität bei Beschäftigten frühzeitig messen zu können, werden praxisrelevante Instrumente benötigt. Der Allostatic Load Index, ein Summenindex kumulativer physischer Folgen von chronischem Stress, stellt hierfür eine gute Möglichkeit dar.

Das Allostatic-Load-Konzept

McEwen und Stellar haben 1993 das Konzept der **Allotase** entwickelt. Hierbei sollen sich Körperfunktionen an chronische Belastungen anpassen, um das körperliche Gleichgewicht (**Homöostase**) aufrecht zu erhalten. Die Folge dieser allostatistischen Anpassung ist physischer und psychischer



AUTOR

Priv.-Doz. Dr. med. Daniel Mauss
Mannheimer Institut für Public Health, Sozial- und Präventivmedizin
Leiter Gesundheitsmanagement, Porsche AG
daniel.mauss@porsche.de

Foto: privat

Verschleiß sowie vorzeitiges Altern, was als „allostatic load“ bezeichnet wird.

Es wird dabei zwischen Primärmediatoren, Sekundär- und Tertiärfolgen unterschieden. Primärmediatoren wie zum Beispiel Stresshormone können dem Körper in akuten Belastungssituationen helfen, die

Homöostase aufrecht zu erhalten. Die vermehrte Ausschüttung von Primärmediatoren begünstigt einen „allostatic overload“ und „Sekundärfolgen“ wie beispielsweise subklinische Störungen von kardiovaskulären, metabolischen und entzündlichen Biomarkern. Durch eine chronische, stressbedingte Fehlregulation entstehen letztendlich manifeste klinische Störungen – die Tertiärfolgen. Diese Tertiärfolgen können durch Extremwerte der Sekundärfolgen und Primärmediatoren vorhergesagt werden (➔ **Abb. 1**).



Abb. 1: Stressregulierende Prozesse auf dem Weg zu Beanspruchungsfolgen

Der Allostatic Load Index

Vereinfacht gesagt beschreibt der „allostatic load“ die durch psychosoziale Belastungen verursachten Abnutzungserscheinungen verschiedener Organsysteme und trifft damit eine Aussage über mangelnde Resilienz und erhöhte Anfälligkeit für stressbedingte Erkrankungen. Durch den Allostatic Load Index (ALI) wurde die Idee operationalisiert, physische Auswirkungen von psychischen Belastungen in einem Summenscore abzubilden. Seeman und Kollegen haben 1997 den Allostatic Load Index entwickelt. Der Originalindex basiert auf zehn Variablen, bestehend aus sechs Sekundärfolgen (systolischer und diastolischer Blutdruck, Gesamtcholesterin, HDL [High-Density Lipoprotein], HbA1c [Glykohämoglobin], Bauch-Hüft-Verhältnis) sowie vier Primärmediatoren (DHEA-S [Dehydroeioandrosteronsulfat] im Blut sowie Adrenalin, Noradrenalin und Kortisol im Urin). Aus diesen Variablen wird ein Summenscore gebildet, der jeweils auf der statistischen Verteilung in der untersuchten Gruppe beruht. Die teilnehmenden Personen im jeweils höchsten Risikoquartil erhalten dabei einen Indexpunkt (niedrigstes Quartil bei DHEA-S und HDL, höchstes Quartil bei allen anderen Parametern), alle anderen erhalten keinen Punkt. Der Allostatic Load Index kann somit Werte zwischen 0 und 10 annehmen.

Entwicklung des kurzen ALI

Leider ist dieser Originalindex nicht sehr praktikabel, hat aber auch nie den Anspruch auf einen Goldstandard erhoben. Die meisten Variablen sind zum einen aufwändig und teuer zu messen, zum anderen beruhen sie auf der statistischen Verteilung in der Untersuchungsgruppe. Ziel war es deshalb, einen einfachen und kurzen Index zu entwickeln, der sich an vordefinierten subklinischen Grenzwerten orientiert. Beschäftigte, die aufgrund ihrer individuellen Situation ein höheres Risiko für die Entwicklung von stressbedingten Folgeerkrankungen haben, sollten somit einfach und kostenbewusst erkannt werden, um sie passenden Präventivmaßnahmen zuzuführen (Mauss et al. 2016).

Die praktische betriebsärztliche Anwendung sollte gewährleistet werden, indem für jeden einzelnen Parameter subklinische Grenzwerte vordefiniert wurden

Tabelle 1: Vordefinierte subklinische Grenzwerte zur Berechnung des Allostatic Load Index

	Männer	Frauen
Diastolischer Blutdruck	≥85 mmHg	≥85 mmHg
Bauchumfang	≥94 cm	≥80 cm
HbA1c	≥5,7%	≥5,7%
LDL	≥130 mg/dl	≥130 mg/dl
HRV (RMSSD)	<30 msec	<30 msec

(→ **Tabelle 1**). Überschreitet eine Testperson diesen Wert (oder unterschreitet ihn im Fall der Herzfrequenzvariabilität [HRV]), erhält sie einen ALI-Indexpunkt. Es sind bis zu fünf Indexpunkte erreichbar. Je höher der Summenwert, desto größer ist die körperliche Abnutzung.

Praktische Anwendung

Aus den Ergebnissen lassen sich Konsequenzen für das betriebliche Gesundheitsmanagement ableiten. Äußere Einflüsse scheinen sich im Arbeitsalter stärker auf die Gesundheit auszuwirken als im Rentenalter. Im Zeitraum des Arbeitslebens werden also die Weichen für vorzeitiges Altern gestellt. Es zeigt sich ein Handlungsfenster zwischen dem 20. und 60. Lebensjahr, um Gesundheit positiv zu beeinflussen (Crimmins et al. 2003). Ein regelmäßiges Screening von vermeintlich gesunden jüngeren Erwachsenen erscheint demnach wichtig, um körperliche Folgen psychosozialer Belastungen zu erkennen, vorzeitiges Altern zu vermeiden und gezielte Maßnahmen zur individuellen Gesundheitsförderung einzuleiten. Handlungsbedarf besteht mindestens bei Personen mit einem Indexpunkt von 4 oder 5. Der Allostatic Load Index liefert somit einen wichtigen und innovativen Beitrag zur Versorgungsforschung und Präventivmedizin.

Ausblick

Selbstverständlich existieren aus praktischer Sicht verschiedene Möglichkeiten, um das Instrument zu verbessern. Beim Messen der fünf Variablen stellt bisher die Bestimmung der HRV die größte Herausforderung dar. Obwohl das Ziel der HRV-Messung die Bestimmung der Vagusaktivität als so genannte „Stressbremse“ ist und dies üblicherweise eine Langzeitmessung unter Einschluss der Nacht bedarf, lässt eine Ultrakurzmessung

der HRV über 60 Sekunden wohl dennoch eine zuverlässige Bestimmung der RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences = HRV-Wert der Erholungsfähigkeit) zu (Shaffer u. Ginsberg 2017). Bei der subklinischen Grenzwertdefinition der RMSSD (derzeit 30 ms) wären zudem altersbezogene Werte sinnvoll, da die HRV mit zunehmenden Alter abnimmt. ■

Interessenkonflikt: Der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Literatur

- Crimmins EM, Johnston M, Hayward M, Seeman T: Age differences in allostatic load: an index of physiological dysregulation. *Exp Gerontol* 2003; 38: 731–734.
- Mauss D, Jarczok MN, Fischer JE: The streamlined Allostatic Load Index: a replication of study results. *Stress* 2016; 19: 553–558.
- McEwen BS, Stellar E: Stress and the individual. Mechanisms leading to disease. *Arch Intern Med* 1993; 153: 2093–2101.
- Seeman TE, Singer BH, Rowe JW, Horwitz RI, McEwen BS: Price of adaptation – allostatic load and its health consequences. *MacArthur studies of successful aging. Arch Intern Med* 1997; 157: 2259–2268.
- Shaffer F, Ginsberg JP: An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front Public Health* 2017; 5: 258.

WEITERE INFOS

González ER: *ESENER – European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks: Managing safety and health at work*. 2010

<https://osha.europa.eu/en/publications/european-survey-enterprises-new-and-emerging-risks-managing-safety-and-health-work/view>



FÜR SIE REFERIERT

Sind Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren noch tolerabel?

ÜBERSICHT

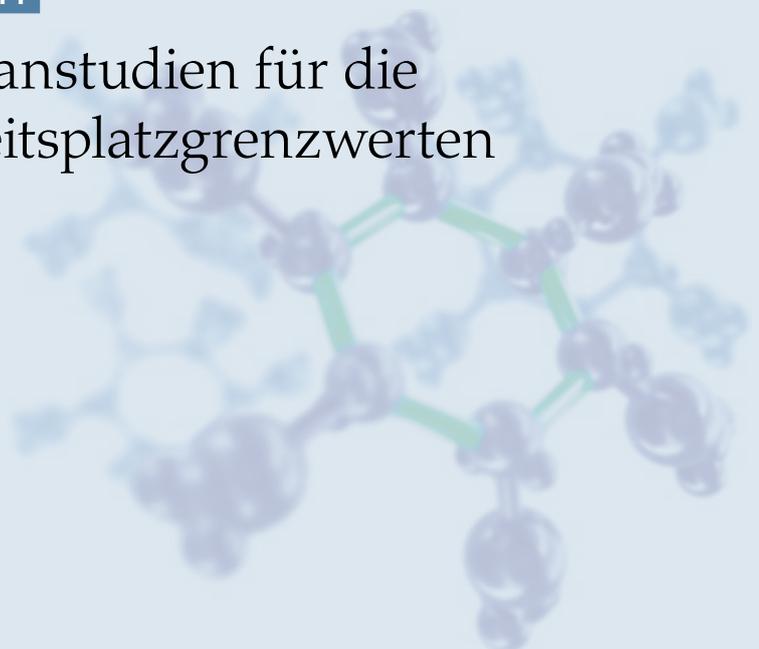
Blaulichtgefährdung der Augen durch Lichtemittierende Dioden (LED)?

ORIGINALIA

Betriebliches Eingliederungsmanagement aus der Beschäftigtenperspektive

AKTUELLES AUS DER WISSENSCHAFT

Relevanz von Humanstudien für die Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten



Sind Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren noch tolerabel?¹

H. Greim

Institut für Toxikologie und Umwelthygiene, Technische Universität München

(eingegangen am 15.10.2019, angenommen am 21.11.2019)

ABSTRACT / ZUSAMMENFASSUNG

Are vehicles with diesel engines still acceptable?

Emissions from diesel engines are made up of hundreds of components, some in the form of particles and some gaseous. In 2002, the IARC classed diesel engine exhaust as carcinogenic to humans. Research in the workplace and studies on test persons showed inflammatory responses in the lungs, asthmatic responses and cardiovascular effects. The health implications of emissions have been in the public spotlight since the diesel scandal of 2015 and have called into question the acceptance of diesel engine technology. The optimisation of combustion processes in engines and exhaust gas treatment systems have nevertheless made it possible to reduce substantially the substances in exhaust over the last 20 years. In addition, the new test cycles are a practical way of monitoring emissions. The EURO 6 standard means that there is now virtually no difference between the emissions from diesel and petrol engines in newly registered vehicles, although diesel engines consume 15-20% less fuel than petrol engines.

Schlüsselwörter: diesel engines – emissions – carcinogenicity – diesel scandal

Sind Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren noch tolerabel?

Emissionen aus Dieselmotoren bestehen aus hunderten von Komponenten, die teils in Form von Partikeln, teils gasförmig vorliegen. Im Jahr 2002 stufte die IARC Dieselmotorabgase als krebserzeugend für den Menschen ein. Erfahrungen am Arbeitsplatz und Studien an Testpersonen ergaben entzündliche Reaktionen der Lunge, asthmatische Reaktionen und kardiovaskuläre Effekte. Die gesundheitlichen Konsequenzen der Emissionen sind seit dem Dieselskandal im Jahr 2015 ins öffentliche Interesse gerückt und haben die Akzeptanz der Dieselmotortechnologie in Frage gestellt. Durch Optimierung der Verbrennungsvorgänge in den Motoren und der Abgasreinigungsverfahren konnten im Laufe der letzten 20 Jahre Inhaltsstoffe der Abgase jedoch stark vermindert werden. Dazu kommt, dass die neuen Testzyklen die Emissionen praxisnah überprüfen. Mit EURO 6 wurde erreicht, dass sich die Emissionen von Diesel- und Benzinmotoren in neu zugelassenen Kraftfahrzeugen praktisch nicht mehr unterscheiden, Dieselmotoren aber 15–20% weniger Kraftstoff verbrauchen als Benzinmotoren.

Schlüsselwörter: Dieselmotoren – Emissionen – Kanzerogenität – Dieselskandal

¹ Der Autor dankt Herrn Prof. Dr. Thomas Koch, Karlsruher Institut für Technologie, für die Bearbeitung der Verfahren zur Emissionsminderung.

Einleitung

Die Zusammensetzung der Emissionen von Dieselmotoren in Kraftfahrzeugen hat sich im Laufe der letzten 25 Jahre erheblich verändert. Die Konzentrationen der Inhaltsstoffe sind deutlich minimiert worden, so dass für eine gesundheitliche Bewertung zwischen traditioneller und neuer Dieselmotortechnologie unterschieden werden kann. Dabei entspricht die alte Technologie dem EURO 2 Emissionsstandard, die neue ab 2000 dem EURO 3. Die gesundheitlichen Wirkungen der Emissionen alter Technologie bestehen vor allem in entzündlichen Reaktionen in der Lunge, die auf Reizgase und Kohlenstoffpartikel mit daran adsorbierten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) zurückgeführt werden. Bei der neuen Dieseltechnologie sind es vor allem die gasförmigen Reizstoffe, insbesondere Stickoxide, die zu entzündlichen Reaktionen der Lunge führen. Kohlenstoffpartikel sind praktisch nicht mehr enthalten. Zusammensetzung und Toxikologie alter und neuer Dieselmotortechnologien sind mit allen Einzelheiten wiederholt zusammengestellt worden (siehe z.B. Greim 2008; IARC 2014; NEG/DECOS 2016). Der vorliegende Artikel stützt sich auf die Übersichtsarbeit von Greim (2019) und stellt die regulatorischen und technischen Maßnahmen zur Emissionsminderung sowie eine Bewertung der gesundheitlichen Relevanz der Emissionen und der abgeleiteten Grenzwerte dar.

Zusammensetzung der Abgase

Die Zusammensetzung der Abgase von Dieselmotoren wird wie bei Benzinmotoren von der Motortechnologie, dem verwendeten Treibstoff und der Abgasreinigungstechnologie bestimmt. Wichtige Inhaltsstoffe der Gasphase sind Stickstoff, Kohlendioxid (CO₂), Sauerstoff und Wasser. Stickoxide und Kohlenmonoxid entstehen durch unvollständige Verbrennung. Weiterhin sind im Abgas kleinere Mengen von Schwefeldioxid und organischen Verbindungen wie Alkane, Alkene, Carbonylverbindungen, Carbonsäuren, Aromaten und ihre nitrierten Derivate enthalten. Die Partikelphase besteht vornehmlich aus elementarem Kohlenstoff mit adsorbierten organischen Verbindungen wie polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH), oxidierten PAH, Nitro-PAH, Sulfaten, Metallen und anderen Spurenelementen. Die Partikelgröße beträgt zwischen 0,03 und 2,5 µm und beinhaltet damit auch Nanopartikel mit einem Durchmesser von weniger als 0,1 µm. Seit 1992 sind die Emissionen von Kraftfahrzeugen sowohl mit Diesel- als auch mit Benzinmotoren zunehmend streng reguliert (→ **Tabelle 1**) und müssen für Neufahrzeuge eingehalten werden.

Wie Tabelle 1 zeigt, betrifft die Regulierung die wichtigsten Komponenten der Abgase Kohlenmonoxid (CO), Gesamtkohlenwasserstoffe (KW), Stickoxide (NO_x), die Menge an KW + NO_x, Partikelmasse und Partikelzahl.

Tabelle 1: EU Emissionsstandards seit 1992 für die Zulassung neuer Fahrzeuge

Table 1: EU emission standards for the registration of new vehicles since 1992

	Jahr	CO*	KW*	KW+NO _x *	NO _x *		PZ**
Benzin							
EURO 1	1992	2,72	–	0,97	–	–	–
EURO 2	1996	2,2	–	0,5	–	–	–
EURO 3	2000	2,3	0,2	–	0,15	–	–
EURO 4	2005	1,0	0,1	–	0,08	–	–
EURO 5	2009	1,0	0,1	–	0,06	0,005	–
EURO 6	2014	1,0	0,1	–	0,06	0,005	6x10 ¹¹
Diesel							
EURO 1	1992	2,72	–	0,97	–	–	–
EURO 2, IDI	1996	1,0	–	0,7	–	0,08	–
EURO 2, DI	1996	1,0	–	0,9	–	0,10	–
EURO 3	2000	0,64	–	0,56	0,5	0,05	–
EURO 4	2005	0,5	–	0,3	0,25	0,025	–
EURO 5a	2009	0,5	–	0,23	0,18	0,005	–
EURO 5b	2011	0,5	–	0,23	0,18	0,005	6x10 ¹¹
EURO 6	2014	0,5	–	0,17	0,08	0,005	6x10 ¹¹

*g/km, **Partikelzahl/km. CO: Kohlenmonoxid; KW: Kohlenwasserstoffe; NO_x: Stickoxide; PM: Partikelmasse; PZ: Partikelzahl

mit EURO 5 wurde durch einen speziellen Diesel-Partikelfilter (DPF) erreicht, der in Kombination mit einem Diesel-Oxidations-Katalysator (DOC) die kohlenstoffhaltigen Partikel zu CO_2 verbrennt. Die Oxidation des filtrierte Rußes mit NO_2 verhinderte eine noch schnellere Rußbelastung des Filters, weshalb die Oxidationskatalysatoren die NO_x -Emissionen zu NO_2 konvertierten. Dies führte zu einem erhöhten Bedarf an NO_x und zu einem hohen Anteil an NO_2 durch den DOC. EURO 5 hatte dadurch nur noch geringe Partikelemissionen mit dem Nachteil hoher NO_x -Emissionen, die den Standard des neuen europäischen Fahrzyklus (New European Driving Cycle: NEDC) von 180 mg/km überstiegen. Zur Lösung des Problems ergaben sich zwei Möglichkeiten. Ein legales Verfahren wäre die Reduktion der Verbrennungstemperatur gewesen, die aber zur Erhöhung der Partikelemission geführt hätte, oder zusätzliche Technologien zur Verminderung der NO_x -Emissionen. Einige Fahrzeughersteller wählten einen illegalen Weg und bauten eine Software ein, die den Testzyklus erkannte und für etwa 20 Minuten zu niedrigen NO_x -Emissionen führte. Im September 2015 kam es zum „Dieselskandal“, als die US Environmental Protection Agency (EPA) bei VW-Kraftfahrzeugen diese Software entdeckte und die Firma zugeben musste, dass diese Software weltweit in etwa 10 Millionen Fahrzeuge, davon 8,5 Millionen in Europa und 600 000 in den USA, verwendet worden war. In den folgenden Jahren stellte sich heraus, dass auch andere Automobilhersteller betroffen waren.

Die erhöhten NO_x -Emissionen können durch den SCR (Selective Catalytic Reduction)-Katalysator reduziert werden. Dabei wird NO_x durch Ammoniak (NH_3) bei Temperaturen oberhalb von etwa 200 °C reduziert. Da Ammoniak nicht in den Abgasen enthalten ist, wird eine Harnstofflösung (AddBlue®) zugesetzt. Aus dem Harnstoff entsteht im Katalysator Ammoniak, der mit NO_x zu Stickstoff und Wasser reagiert. Da je nach Motorkalibration etwa 0,1–0,3 Liter und mehr der Lösung pro 100 km verbraucht werden, sind zur Vermeidung häufiger Nachfüllungen, d. h. Werkstattbesuchen, große Tanks für die Harnstofflösung erforderlich. Die illegal eingebaute Software reduzierte den Harnstoffverbrauch, da sich der SCR-Katalysator nur bei bestimmten Fahrzyklen einschließlich der Testphase einschaltete. Der SCR kann mit einem Oxidationskatalysator kombiniert werden, um auch Kohlenmonoxid zu CO_2 zu oxidieren sowie überschüssigen Ammoniak zu Stickstoff. Damit werden auch die strengen Abgasnormen des EURO 6 eingehalten.

Zur praxisnahen Kontrolle der Emissionen wurde am 1. September 2017 die „World Wide Harmonised Light Vehicle Test Procedure“ (WLTP) eingeführt, die die Emissionen bei den unterschiedlichen Fahrsituationen erfasst. Seit September 2018 müssen alle neuen Fahrzeuge die WLTP- CO_2 -Werte einhalten. Weiterhin wurde 2015 der Flottendurchschnitt der CO_2 -Emissionen auf 130 g/km begrenzt, 2020 müssen 95 % aller Fahrzeuge 95 g/km einhalten und ab 2021 100 %, was zu einem Kraftstoffverbrauch von 4,1 Liter Benzin und 3,6 Liter Diesel führt (siehe EU Richtlinie 2019/631).

Toxikologie der Dieselmotoremissionen

Epidemiologische Studien insbesondere an hoch belasteten Arbeitern weisen auf eine Assoziation zwischen (alten) Dieselmotoremissionen und Lungenkrebs hin. Die Studien von Silverman et al. (2012) bei Bergarbeitern ergaben ein Odds Ratio von 2,8 (1,3–6,3) für die hoch

exponierte Gruppe ($\geq 563 \mu\text{g}$ elementarer Kohlenstoff/ $\text{m}^3 \times \text{Jahr}$), im Vergleich mit $< 3 \mu\text{g}$ elementarem Kohlenstoff/ $\text{m}^3 \times \text{Jahr}$ im niedrigsten Quartil. Die Studie wurde in mehreren Publikationen kritisiert, woraufhin Silverman und Attfield (2012) dazu Stellung nahmen. Schließlich wurde das Ergebnis der über mehrere Jahre laufenden Auseinandersetzung von Möhner und Wendt (2017) wie folgt zusammengefasst:

“Our review shows that most studies cannot add evidence for a causal link between DE (Diesel Exhaust) exposure and lung cancer risk. Therefore, a reliable derivation of a quantitative exposure-response relationship is not possible at present. In view of the results from animal studies and the fact that a threshold model cannot be ruled out, a conservative lower bound for a possible threshold value should be determined. Such a value could be derived by the German cohort study among potash miners. An upper bound for a cumulative exposure of 2.5 mg/ m^3 -years REC seems to be sufficient to prevent a detectable increase of lung cancer risk. This value corresponds to an average annual value of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ REC (Respirable Elemental Carbon) assuming a working life of 45 years. Unless a re-analysis of the DEMS (Diesel Exhaust in Miners Study) yields considerably higher values, this value could be recommended as threshold value for occupational safety.”

In Tierversuchen konnte die krebserzeugende Wirkung von (alten) Dieselmotoremissionen eindeutig nachgewiesen werden (Einzelheiten siehe z. B. Greim 2008; IARC 2014; NEG/DECOS 2016). Emissionen neuer Dieselmotoren enthalten dagegen weit geringere Partikelkonzentrationen und daran gebundene mutagene Substanzen. Dementsprechend ergaben eine 1-Jahres-Studie in den USA mit Emissionen eines Fahrzeugs, das in etwa dem EURO 5 entspricht – also praktisch partikelfrei ist – an Mäusen, sowie eine umfangreiche 2-Jahres-Studie an F344-Ratten keinen Hinweis auf Genotoxizität oder Kanzerogenität (Hallberg et al. 2014; McDonald et al. 2015). Bei der höchsten NO_2 -Konzentration von 4,2 ppm traten Reizerscheinungen in der Lunge auf, die NOAEC betrug 0,8 ppm ($\sim 1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dies weist darauf hin, dass NO_2 bei neuen Dieselmotoren die wichtigste Komponente für die entzündlichen Reaktionen in der Lunge darstellt.

Partikel

In Tierversuchen führen hohe Konzentrationen von Dieselmotorabgasen mit hohem Partikelgehalt eindeutig zu kanzerogenen Wirkungen in der Lunge. Da jedoch der Anteil der an die Partikel adsorbierten kanzerogenen Substanzen relativ niedrig ist, geht z. B. der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) davon aus, dass die Kanzerogenität auf den Partikeleffekten und den dadurch ausgelösten entzündlichen Reaktionen beruht, für die unwirksame Konzentrationen definiert werden können. Daher wurde ein Arbeitsplatzgrenzwert von 50 μg Kohlenstoffpartikel/ m^3 festgelegt (BAuA 2017). Für Emissionen neuer Dieselmotoren sind die Grenzwerte der übrigen relevanten Inhaltsstoffe wie NO_2 , NO , SO_2 oder Formaldehyd einzuhalten.

Stickstoffdioxid (NO_2)

Dieselmotorabgase enthalten NO_x , d. h. vornehmlich NO und NO_2 . Da NO in der Luft rasch zu NO_2 oxidiert wird, werden die NO_x -Emis-

sionen anhand der NO_2 -Konzentrationen bewertet. Für Arbeitsplätze gilt in Deutschland und Europa aufgrund epidemiologischer Studien sowie Untersuchungen an Testpersonen ein Grenzwert von 0,5 ppm ($950 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Als Umweltstandard übernahm die Europäische Kommission den von der WHO (2018) vorgeschlagenen tolerablen Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und den 1-Stunden-Richtwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Diese Werte wurden vor allem von Studien an asthmatischen Kindern abgeleitet. Sie sind jedoch umstritten, zumal die US-amerikanische EPA am 6. April 2018 das Ergebnis einer erneuten Bewertung der vorhandenen Datenlage veröffentlichte (US EPA 2018). In der Veröffentlichung wird betont, dass die eingehende Überprüfung der Datenlage ergeben hat, dass kein Anlass besteht, den gegenwärtig geltenden Jahresdurchschnittswert für NO_2 von 53 ppb ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und den 1-Stunden-Wert von 100 ppb ($188 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zu ändern.

Die gesundheitliche Bedeutung der an den vorhandenen Messstationen ermittelten Werte

Die in Europa und damit auch in Deutschland geltenden Immissionsgrenzwerte für NO_2 müssen zum Schutz der Bevölkerung eingehalten werden. Da die Werte an mehreren Messstellen vor allem in Städten mit dichtem Verkehr überschritten werden, wurden mehrere Kommunen aufgrund gerichtlicher Entscheidungen veranlasst, Maßnahmen zur Reduzierung der Konzentrationen einzuleiten. Allerdings stammen die Werte zumeist von Messstellen, die unmittelbar an dicht befahrenen Straßen positioniert sind (z.B. Neckartor in Stuttgart). Die direkte Nutzung der an solchen Messstellen erhobenen Werte für die Beurteilung ihrer gesundheitlichen Relevanz entspricht jedoch nicht der Europäischen Richtlinie 2008/50/EC Annex III. Diese besagt, dass die erhobenen Messwerte für die Beurteilung einer Langzeitbelastung der Bevölkerung geeignet sein müssen, was für die an hoch exponierten Stellen aufgestellten Messstellen nicht zutrifft. Diese Werte eignen sich nur zur Beurteilung der langfristigen Trends der Konzentrationen. Vielmehr sollten nach der Richtlinie die Messstellen so positioniert werden, dass sie Informationen über die tatsächliche Belastung der Bevölkerung liefern. Dies ist insofern sinnvoll, da in der Nähe dieser Messstellen Personen nur kurzfristig, wenn überhaupt, exponiert sind, und die Konzentrationen der Schadstoffe innerhalb weniger Meter und mit zunehmender Entfernung kontinuierlich absinken.

Dem hat allerdings der Court of Justice der Europäischen Kommission in seiner Entscheidung vom 26. Juni 2019 (C-723/17) widersprochen. Das Urteil besagt, dass Konzentrationen, die an Messstellen an dicht befahrenen Straßen bestimmt werden und die EU-Grenzwerte übersteigen, die EU-Regelungen verletzen, denn sie seien gesundheitsschädlich. Durchschnittswerte einer Messstelle seien für eine Bewertung der gesundheitlichen Relevanz der Werte ungeeignet. Diese Entscheidung widerspricht nicht nur der EU-Direktive, sondern ignoriert auch die Definition der Grenzwerte für Luftverunreinigungen, die als Dauerbelastung der Bevölkerung mit zulässigen Spitzenwerten ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1-Stunden-Richtwert) definiert sind.

Bei der Diskussion über notwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen aus dem Automobilverkehr ist schließlich zu berücksichtigen, dass in Deutschland die Konzentrationen an verkehrsnahen Messstellen z.B. von NO_2 und PM10 im Lauf der Jahre abgenommen haben. So sind zwischen 1995 und 2016 die durch-

schnittlichen NO_2 -Konzentrationen von über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf unter $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und die NO_2 -Gesamtimmissionen um nahezu 60 % gesunken (UBA 2018). Die PM10-Immissionen im verkehrsnahen Bereich stammen vor allem aus Emissionen von Dieselmotoren, Reifenabrieb und durch den Verkehr aufgewirbeltem Staub. Diese PM10-Konzentrationen verminderten sich zwischen 1995 und 2016 von etwa $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $15\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die PM10-Gesamtimmissionen in Deutschland in dieser Zeit um 38% (UBA 2018).

Kraftstoffverbrauch von Diesel- und Benzinmotoren

Die vom Kraftfahrzeugbundesamt für neu zugelassene Kraftfahrzeuge verschiedener Hersteller Ende 2018 veröffentlichten Emissionswerte für CO_2 und Kohlenstoff sind noch etwa doppelt so hoch wie die für 2021 angestrebten Werte (Greim 2019). Sie zeigen jedoch, dass Dieselmotoren um 15–20 % weniger CO_2 und Kohlenstoff pro km emittieren.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Dieselmotorabgase enthalten mehrere hundert chemische Verbindungen, die teils gasförmig, teils als Partikel vorliegen. Durch ständige Verbesserung der Verbrennungstechnologie der Motoren und der Abgasreinigungsverfahren veränderten sich Zusammensetzung und Konzentrationen der Inhaltsstoffe im Vergleich zu den vor etwa 20 Jahren verwendeten Technologien. Während die Emissionen früherer Motoren zumindest anhand der Tierversuche im Verdacht stehen, auch beim Menschen krebserzeugend zu sein, ergeben Langzeit-Inhalationsversuche an Ratten mit den Emissionen neuerer Dieselmotoren mit verbesserter Abgasreinigungstechnologie keine Hinweise auf eine krebserzeugende Wirkung. Die bei hoher Exposition aufgetretenen Veränderungen bestehen in entzündlichen Reaktionen in der Lunge, die vor allem auf NO_2 bei Konzentrationen von 4,2 ppm ($\sim 8400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zurückgeführt werden.

Seit Einführung der Regelung des EURO 3 verminderten sich Inhaltsstoffe und ihre Konzentrationen in den Abgasen weiter, und mit EURO 5 konnten die kohlenstoffhaltigen Partikel durch höhere Verbrennungstemperaturen nahezu vollständig eliminiert werden. Die erhöhten Temperaturen führten jedoch zu höheren NO_x -Emissionen, die durch zusätzliche Maßnahmen vermindert werden müssen. Mehrere Hersteller umgingen dies, indem sie eine Software einbauten, die den Testzyklus erkannte, was während des Testzyklus zu geringeren NO_x -Emissionen als in der Praxis führte. Die Aufdeckung dieses Verfahrens führte zu dem „Dieselskandal“. Mit der Einführung des EURO 6 und der Überprüfung der Emissionen durch praxisnahe Prüfzyklen wird schließlich erreicht, dass sich die Emissionen von Fahrzeugen mit Dieselmotoren nicht mehr von denen mit Benzinmotoren unterscheiden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass Dieselmotoren bei gleicher Fahrleistung 15–20 % weniger Treibstoff verbrauchen als Benzinmotoren.

Daraus ergeben sich folgende Schlüsse:

- Das seit Ende 2017 geltende weltweit harmonisierte Testverfahren für Personenkraftfahrzeuge (WLTP) berücksichtigt die unterschiedlichen Fahrbedingungen und führt daher im Gegensatz zu früheren Verfahren zu einer praxisnahen Prüfung der aktuellen Emissionen.

- Verbote für Personenwagen mit Dieselmotoren aufgrund von Messungen direkt an verkehrsreichen Straßen sind nicht gerechtfertigt, da die Messdaten für die langfristige Exposition der Bevölkerung nicht relevant sind. Dies entspricht insbesondere der Richtlinie 2008/50/EC der Europäischen Kommission mit der klaren Aussage, dass solche Daten für die Bewertung der gesundheitlichen Relevanz ungeeignet sind. Dagegen geht der Europäische Gerichtshof in seiner Entscheidung 2019 davon aus, dass Überschreitungen der tolerierbaren Langzeitwerte an diesen Messstellen nicht akzeptabel sind, was nicht nur dem Konzept der Grenzwertsetzung für die Langzeitexposition der Bevölkerung widerspricht, sondern auch dem Annex III der Richtlinie 2008/50/EC.
- Im Gegensatz zu Emissionen alter Dieselfahrzeuge sind die Abgase neuer Dieselmotoren aufgrund verbesserter Verbrennungstechnik und Abgasreinigungsverfahren nicht krebserzeugend. Die in Tierversuchen bei hohen Konzentrationen aufgetretenen entzündlichen Reaktionen in der Lunge lassen sich vornehmlich auf Stickoxide, d. h. NO₂, zurückführen. Als Konzentration ohne Wirkung (NOAEC) wurden für NO₂ 0,8 ppm (~1600 µg/m³) ermittelt. Diese NOAEC wurde anhand von Studien an Freiwilligen bestätigt. Damit ist das Auftreten von Gesundheitsschäden bei kurzfristiger Exposition gegenüber Werten über 40 µg/m³ nicht plausibel. Dies entspricht auch den Aussagen der US EPA, die nach erneuter Überprüfung der Datenlage den geltenden Mittelwert für die jährliche Exposition von 100 µg/m³ und den Kurzzeitwert von 188 µg/m³ im April 2018 bestätigte.

Interessenkonflikt: Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Literatur

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): Dieselmotoremissionen. 2017 (https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/900/900-dieselmotorenemissionen-dme-russpartikel-als-ec.pdf?__blob=publicationFile&v=5).

Greim H (Hrsg.): Diesel engine emissions, MAK Value Documentation. In: The MAK Collection for Occupational Health and Safety. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

Greim H: Diesel engine emissions: are they no longer tolerable? *Arch Toxicol* 2019; 9: 2483–2490.

Hallberg LM, Parks J, Hernandez C, Ward JB, Ameredes BT, Norton C, Zaas S, Wickliffe JK: Genotoxicity of diesel exhaust from 2007 –compliant diesel engines: final results of the 12- and 24-month exposures of rats from the aces study. *Health Effects Institute 2014 Annual Conference May 4–6, 2014, Alexandria, VA, USA* (<http://www.healtheffects.org/Pubs/AnnualConferenceBook2014.pdf>).

IARC (International Agency for Research on Cancer): Diesel and gasoline engine exhausts. In: Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 105. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2014, S. 39–486 (<https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol105/mono105.pdf>).

McDonald JD, Doyle-Eisele M, Seagrave J, Gigliotti AP, Chow J, Zielinska B, Mauderly JL, Seilkop SK, Miller RA, HEI Health Review Committee: Part 1. Assessment of carcinogenicity and biologic responses in rats after lifetime inhalation of new-technology diesel exhaust in the ACES bioassay. *Res Rep Health Eff Inst* 2015; 184: 9–44; discussion 141–171.

Möhner M, Wendt A: A critical review of the relationship between occupational exposure to diesel emissions and lung cancer risk. *Crit Rev Toxicol* 2017; 47: 185–224.

NEG/DECOS (Nordic Expert Group/Dutch Expert Committee on Occupational Safety): Diesel engine exhaust. Eds.: Taxell P, Santonen T, The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals and the Dutch Expert Committee on Occupational Safety. *Arbete och Hälsa Volume 2016; 49(6)*.

Silverman DT, Samanic CM, Lubin JH, Blair AE, Stewart PA, Vermeulen R, Coble JB, Rothman N, Schleiff PL, Travis WD, Ziegler RG, Wacholder S, Attfield MD: The diesel exhaust in miners study: a nested case-control study of lung cancer and diesel exhaust. *J Natl Cancer Inst* 2012; 104: 85–868.

Silverman DT, Attfield MD: Response. *J Natl Cancer Inst* 2012; 104: 1848–1849.

UBA (Umweltbundesamt): Trend summary (2018_02_14_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_luft_v1.o.xlsx).

US EPA (US Environmental Protection Agency): Federal Register: Review of the Primary National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Nitrogen. Rule by the Environmental Protection Agency on 04/18/2018 (<https://www.federalregister.gov/documents/2018/04/18/2018-07741/review-of-the-primary-national-ambient-air-quality-standards-for-oxides-of-nitrogen>).

WHO (World Health Organization): WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005 (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1).

WHO (World Health Organization): Ambient (outdoor) air quality and health. Fact Sheet, 2 May 2018 ([https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)).

Autor

Prof. Dr. med. Helmut Greim

Technische Universität München
Institut für Toxikologie und Umwelthygiene
Hohenbachernstraße 15–17
85350 Freising-Weihenstephan

Blaulichtgefährdung der Augen durch Lichtemittierende Dioden (LED)?

Y. König
C. Huchzermeyer
H. Drexler

Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der
Universität Erlangen-Nürnberg (Direktor: Prof. Dr. med. Hans Drexler)

(eingegangen am 07.08.2019, angenommen am 08.01.2020)

ABSTRACT / ZUSAMMENFASSUNG

Blue light from light-emitting diodes (LED): a risk to the eyes?

Background: In occupational and domestic environments people are increasingly exposed to artificial light from light-emitting diodes (LEDs). LEDs have peak emission in the blue range. In this review, we summarise the current knowledge of the possible effects of blue light exposure on ocular health. Effects of blue light on the regulation of physiological functions will be considered elsewhere.

Methods: We performed a narrative review. We included preclinical data as well as epidemiological studies. We searched MEDLINE, Pubmed, the Cochrane Library and International Standard Randomised Controlled Trial Number (ISRCTN)-Register clinical trial registers from 01 January 2014 to 31 May 2019.

Results: The accumulated experimental evidence obtained from different experimental models has indicated that excessive exposure to blue light can induce damage in the retinal pigment epithelium (RPE), in photoreceptors and ganglion cells. Previous epidemiological findings are equivocal regarding any causal links between blue light exposure and the development of macular degeneration (AMD). In vitro and in vivo evidence suggests that blue light exposure may influence the progression of uveal melanoma.

Conclusions: Long-term effects of LEDs on ocular health cannot be definitively assessed on the basis of current knowledge. Susceptibility to blue light damage varies among the different species. The severity of light-induced retinal damage changes with the time of the day and depends on the diet and genetic background. Additional studies on the safety of long-term exposure to low levels of blue light are needed to determine the safety of LEDs for ocular health.

Keywords: blue light – light-emitting diode – macular degeneration – uveal melanoma

Blaulichtgefährdung der Augen durch Lichtemittierende Dioden (LED)?

Hintergrund: Sowohl im beruflichen als auch im privaten Umfeld werden die Menschen immer mehr künstlichem Licht aus lichtemittierenden Dioden (LED) ausgesetzt. Da sie einen höheren Anteil an energiereichem blauem Licht haben, stellt sich immer wieder die Frage nach der Blaulichtgefährdung der Augen durch LEDs. Diese Übersichtarbeit fasst die aktuellen Erkenntnisse auf dem Gebiet zusammen. Auf die Effekte des Blaulichts für die weiteren physiologischen Prozesse des Menschen wird nicht eingegangen.

Methode: Es erfolgte eine selektive Literaturrecherche in MEDLINE, Pubmed, Cochrane Library und im International Standard Randomised Controlled Trial Number (ISRCTN)-Register von 01.01.2014 bis 31.05.2019. Sowohl experimentelle Daten als auch Daten aus epidemiologischen Studien wurden evaluiert.

Ergebnisse: Zahlreiche tier- und zellexperimentelle Studien belegen eine Schädigung der retinalen Pigmentepitheliumzellen, Photorezeptoren und Ganglienzellen durch übermäßige Blaulichtexposition. In epidemiologischen Studien finden sich bislang widersprüchliche Resultate bezüglich des Zusammenhangs zwischen Lichtexposition und Makuladegeneration. In vitro sowie in vivo gibt es Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Blaulichtexposition und der Entwicklung eines malignen Melanoms der Aderhaut.

Schlussfolgerung: Langzeitwirkungen des blauen Lichtanteils von LEDs können gemäß aktuellem Wissensstand nicht abschließend beurteilt werden. Die Effekte der Lichteinwirkung auf die Retina variieren zwischen verschiedenen Spezies und sind Einflüssen wie der Tageszeit, der Ernährung und dem genetischen Hintergrund unterworfen. Weitere Studien über Langzeitexpositionen von Blaulicht im Niedrigdosisbereich sind notwendig, um die photobiologische Sicherheit von LED-Licht zu beurteilen.

Schlüsselwörter: Blaulicht – lichtemittierende Dioden – Makuladegeneration – Uveamelanom

Einleitung

Künstliche Lichtquellen tragen zunehmend zur Gesamtlichtexposition des modernen Menschen bei. Bei der Beleuchtung im beruflichen und im privaten Umfeld wird die konventionelle künstliche Beleuchtung immer mehr durch Beleuchtung mit lichtemittierenden Dioden (LED) abgelöst. LEDs sind energieeffizient und haben eine lange Lebensdauer. Aus technischen Gründen weist das Spektrum des LED-Lichts meist einen höheren Anteil an energiereichem blauem Licht auf. LEDs findet nicht nur Anwendung als Innen- und Außenbeleuchtung, sondern auch in Smartphones und PCs, in Spielzeugen, in OP-Leuchten oder in der Automobilindustrie. Die mögliche Gefährdung durch eine solche Exposition wird in Fachkreisen und mittlerweile auch in der Allgemeinheit zunehmend diskutiert.

Unter Blaulichtgefährdung („blue light hazard“) versteht man die Gefährdung der Netzhaut durch Strahlung im sichtbaren Spektralbereich zwischen 400 und 500 nm (Maximum bei 440 nm). Eine Reihe von Studien und Stellungnahmen der letzten Jahre hat sich mit unterschiedlichen Aspekten nach der Frage der photobiologischen Sicherheit von LED befasst. Diese Übersichtarbeit fasst die aktuellen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Blaulichtgefährdung für die Augen zusammen. Auf die Effekte des Blaulichts für die weiteren physiologischen Prozesse des Menschen wird aufgrund des Umfangs der Thematik nicht eingegangen.

Methode

Es erfolgte eine selektive Literaturrecherche in MEDLINE, Pubmed, Cochrane Library und im International Standard Randomised Controlled Trial Number (ISRCTN)-Register von 01.01.2014 bis 31.05.2019. Zunächst wurden die Suchbegriffe „blue light“ AND „review“ eingegeben. Von den 181 Treffern wurden die Arbeiten ausgeschlossen, die entweder keinen Bezug zum Auge haben oder die Thematik „zirkadianer Rhythmus“ behandelten. Von 15 Übersichtsarbeiten wurden danach zwei nichtenglischsprachige Artikel ausgeschlossen. Basierend auf den 13 übrigen Übersichtsarbeiten wurden die Themen Makuladegeneration und malignes Melanom definiert. Es erfolgte die selektive Literaturrecherche zu diesen Themen in obigen Datenbanken nach Originalarbeiten ohne Einschränkung nach Datum. Sowohl experimentelle Daten als auch Daten aus epidemiologischen Studien wurden evaluiert.

Ergebnisse und Diskussion

Lichtemittierende Dioden (LED)

Um mit LEDs weißes Licht zu erzeugen, wird meist eine blaue LED mit einem oder mehreren fluoreszierenden Leuchtstoffen (Phos-

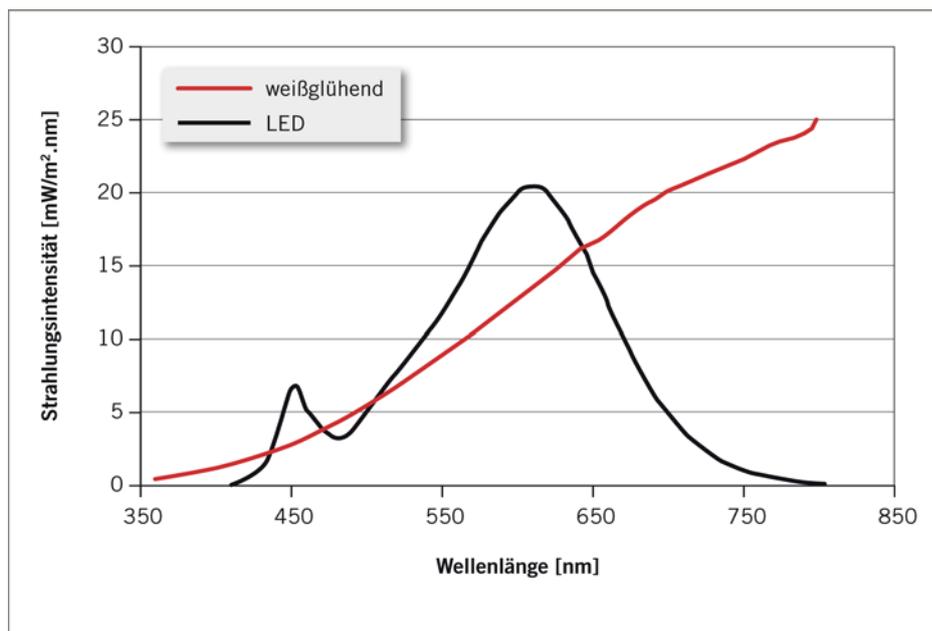


Abb. 1: Emissionsspektrum von LEDs (schwarze Kurve) im Vergleich zur Glühbirne (rote Kurve) (nach O'Hagan et al. 2016)

Fig. 1: Emission spectrum from a LED lamp (black curve) compared with an incandescent lamp (red curve) (based on O'Hagan et al. 2016)

phoren) beschichtet. Für Menschen entsteht der Gesamteindruck von weißem Licht (Spivey 2011). Dennoch haben weiße LEDs im kurzwelligigen Bereich (450–470 nm) eine deutlich höhere Intensität als andere Lichtquellen (➔ **Abb. 1**).

Um eine akute Gesundheitsgefährdung durch auf die Netzhaut fallende blaue Lichtstrahlung zu verhindern, hat die internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) Grenzwerte empfohlen (➔ **Abb. 2**, ICNIRP 2013). O'Hagan et al. (2016) konnten bei verschiedenen LEDs, Computerbildschirmen, Tablets, Laptops und Smartphones keine Überschreitung der Blaulichtgefährdungsgrenze von ICNIRP bei Nutzungsdauer von drei Stunden feststellen. Die internationale Beleuchtungskommission (2019) erachtet die Kurzzeitexposition von künstlichen Lichtquellen für unbedenklich. Dennoch sollte eine Exposition vom blaulichtreichen künstlichen Licht besonders bei Kindern über einen längeren Zeitraum vermieden werden.

Heßling et al. (2019) berechneten die relative Blaulichtnetzhautgefährdung verschiedener Lichtquellen bei angenommener gleicher Helligkeit. Kaltweiße LED kommt dabei auf den Faktor 2,36 im Vergleich zum Halogenleuchtmittel (Faktor 1), Ipad Mini 2-LED-Display auf den Faktor 2,59 und mittägliches Sonnenlicht auf den Faktor 2,60. Anderen Untersuchungen zufolge würde die tägliche zulässige Expositionszeit nach ICNIRP beim direkten Blick in handelsübliche blaue LEDs nach 3–4 s überschritten sein, bei kaltweißen LEDs nach 40–100 s (Behar-Cohen et al. 2011). Reidenbach et al. (2005) haben in Untersuchungen gezeigt, dass nur 23 % der Probanden innerhalb von 0,25 s mit einem Lidschlussreflex als Vermeidungsreaktion reagiert haben. Zusätzlich können Medikamente, Drogen oder Krankheiten zur Verzögerung der Auslösung des Lidschlussreflexes führen.

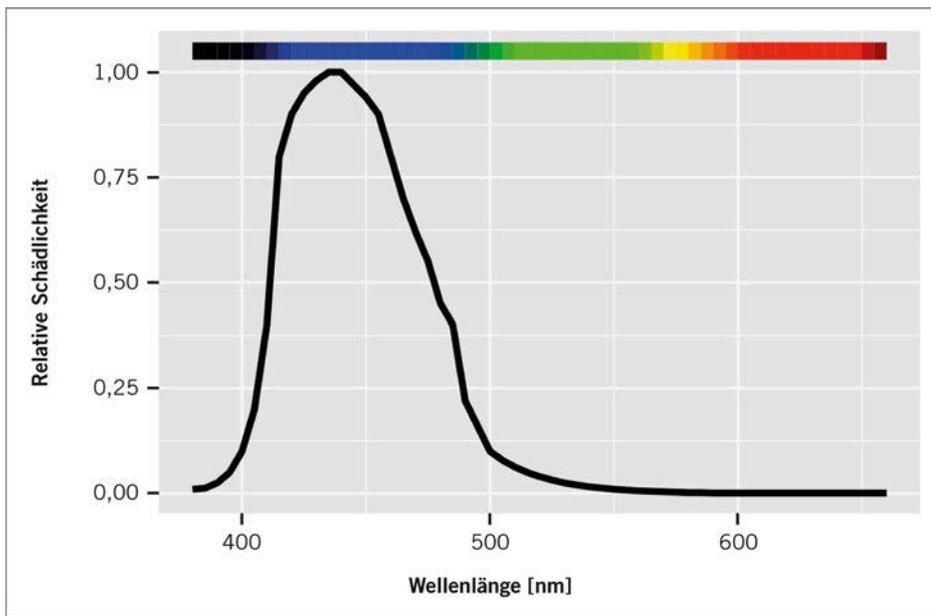


Abb. 2: Die Blaulichtgefährdungskurve zeigt die Fähigkeit von Licht, eine photochemische Schädigung an der Netzhaut hervorzurufen, als eine Funktion der Wellenlänge (modifiziert nach ICNIRP 2013). Allerdings ist zu beachten, dass die gezeigte Kurve nicht ganz auf 0 geht. Das relative Risiko liegt bei 0,01 bei 300 nm und bei 0,001 bei 700 nm

Fig. 2: Blue light hazard action spectrum shows the wavelength dependence of photoretinopathy (modified on the basis of ICNIRP 2013). It must be noted that the curve does not reach zero. There is a relative risk of 0.01 at 300 nm and of 0.001 at 700 nm

Wirkungsmechanismen optischer Strahlung

Die biologische Wirkung optischer Strahlung wird hauptsächlich durch thermische und photochemische, jedoch kaum durch photomechanische Effekte vermittelt. Photomechanische Schädigungen entstehen durch mechanische Kompression oder Zugkraft infolge eines rapiden hohen Energieanstiegs (Yousseff et al. 2011). Thermische Effekte überwiegen im langwelligen Teil des sichtbaren Spektrums und im Infrarotbereich, wenn in der Retina und im retinalen Pigmentepithel (RPE) eine Temperaturerhöhung von $>10^{\circ}\text{C}$ erreicht wird (Yousseff et al. 2011). Im energiereichen UV- und kurzwelligen sichtbaren Spektralbereich dominieren die photochemischen Effekte.

Photooxidativer Stress

Bei der photochemischen Reaktion wird zunächst ein Chromophor (lichtabsorbierender Teil eines Moleküls) durch die absorbierte Photonenenergie angeregt. Es kommt zur chemischen Transformation des Chromophors und/oder Interaktion mit anderen Molekülen. Chromophore, die nach Photoanregung freie Radikale und reaktive Sauerstoffspezies bilden, werden als Photosensitizer bezeichnet. Die Retina und das retinale Pigmentepithel enthalten verschiedene endogene Photosensitizer wie Rhodopsin, Lipofuszin und Melanin (Margrain et al. 2004). Mitochondriale Atmungskettenenzyme wie Flavine und Cytochromoxidasen sind ebenfalls fähig, Licht zwischen 440 und 450 nm zu absorbieren und reaktive Sauerstoffspezies zu bilden (Margrain et al. 2004; Lascaratos et al. 2007). Die reaktiven Sauerstoffspezies sind toxisch und können zu Lipid-Peroxidation, Protein-Peroxidation und zur Apoptose (Behar-Cohen et al. 2011) führen. Die Tatsache, dass Antioxidanzien eine Reduktion der Zell-

schädigung bewirken können, deutet auf eine Assoziation zwischen oxidativen Prozessen und Schädigungsmechanismus hin (Lascaratos et al. 2007).

Experimentelle Ergebnisse zur lichtinduzierten Schädigung der Retina und des retinalen Pigmentepithels (RPE)

Die Lichtempfindlichkeit der Retina variiert beträchtlich zwischen den Spezies. Nachtaktive Nager haben weniger Zapfen als Menschen und besitzen keine zapfenreiche Region wie die menschliche Fovea (Organisciak u. Vaughan 2010). Zusätzlich haben Primaten einen UV-Filter in der Linse, Ratten und Mäuse hingegen besitzen keine Linse (Lei u. Yao 2006).

Bei der photochemischen Netzhautschädigung scheint die Wellenlänge ein entscheidender Faktor zu sein. Bei gleicher Intensität induziert blaues LED-Licht in experimentellen Studien mehr Zellschäden als weißes oder grünes LED-Licht (Kuse et al. 2014). Morphologische Veränderungen der Photorezeptoren zeigten sich bei Albinomäusen bereits nach zwei Stunden Bestrahlung mit blauem LED-Licht (Nakamura et al. 2017).

Einige Studien untersuchten den kumulativen Effekt der Lichtexposition. Lawwill et al. (1977) zeigten bei Rhesusaffen, dass fraktionierte Bestrahlung die gleiche Wirkung hat wie eine entsprechend lange Einwirkung am Stück. Kurzwelliges Licht (457,9 nm) verursacht dabei früher retinale Schäden in der Histologie (ab $2\text{ mW}/\text{cm}^2$) im Vergleich zu längerwelligem Licht (514,5 bzw. 590 nm, ab $10\text{ mW}/\text{cm}^2$). Lin et al. (2017) imitierten mit periodischem blauem LED-Licht den Smartphonebildschirm (460 nm, 150 Lux [lx]). Sie zeigten bei Ratten retinale Photorezeptoren- und RPE-Zellschädigungen nach 28 Tagen, bei einer Bestrahlungsdauer von 1–3 Stunden/Tag.

Des Weiteren scheint der Schweregrad der lichtinduzierten Retinaschäden von nachtaktiven Nagern vom Zeitpunkt im Tagesverlauf abzuhängen. Ratten scheinen nachts um ein Vielfaches anfälliger für Photorezeptorschäden zu sein als tagsüber (Vaughan et al. 2002).

Neovaskularisationen in der Netzhaut kommen bei verschiedenen pathologischen Netzhauterkrankungen, wie der feuchten Makuladegeneration oder der Melanomentwicklung, vor. Blaulicht könnte eine Rolle bei der Entstehung einer Neovaskularisation spielen. In kultivierten RPE-Zellen konnte die durch Weißlicht induzierte Produktion von vaskulären endothelialen Wachstumsfaktoren (VEGF) durch Blockierung des Blauanteils inhibiert werden (Hui et al. 2009).

Die meisten experimentellen Studien sind akute Expositionsstudien. Nur wenige Studien evaluierten die Langzeiteffekte von LED-Licht im Niedrigdosisbereich unter häuslichen Beleuchtungsbedingungen. Krigel et al. (2016) zeigten retinale Schädigung bei Albinoratten nach einmonatiger Exposition mit weißem LED-Licht bei 500 lx. Unter blauem LED-Licht zeigten sich Netzhautschäden bereits nach einer Woche. Bei pigmentierten Ratten wurden nur funktionelle Veränderungen im Elektroretinogramm, aber keine morphologische

Retinaveränderungen beobachtet. Suzuki et al. (2012) beobachteten eine verstärkte Phospholipidoxidation bei älteren Mäusen nach Exposition mit blauem LED-Licht. Eine niederschwellige Blaulichtexposition (500 lx) jeden zweiten Tag führte in 50 % der Fälle zur Entwicklung von choroidaler Neovaskularisationen (ähnlich der feuchten Makuladegeneration bei Menschen) nach 4–6 Monaten.

Insgesamt zeigen zahlreiche tier- und zelleperimentelle Studien, dass Exposition mit Blaulicht zu Radikalbildungen und daraus resultierenden Schädigungen der REP-Zellen, Photorezeptoren und Ganglienzellen führt.

Blaulichtexposition und altersbedingte Makuladegeneration (AMD)

Die Makula ist die Stelle des schärfsten Sehens mit der größten Dichte von Photorezeptoren innerhalb der Netzhaut. Die Makulapigmente Lutein und Zeaxanthin sind effektive Antioxidanzien. Sie filtern das blaue Licht und geben der Makula die gelbliche Farbe (Loane et al. 2008). Die Makulapigmentdichte ist individuell sehr unterschiedlich. Mit zunehmendem Alter nimmt die Makulapigmentdichte in der Netzhaut ab.

Pathogenese der AMD

Die altersbedingte Makuladegeneration gilt als führende Erblindungsursache im höheren Lebensalter (>60 Jahre) in den Industrienationen. Bei dieser multifaktoriell verursachten Erkrankung spielen vor allem genetische und Umweltfaktoren (z.B. Rauchen) wichtige Rollen (Cai u. McGinnis 2012). In den letzten Jahren wurde aufgrund verschiedener experimenteller Studien und epidemiologischer Untersuchungen diskutiert, inwieweit der energiereiche blaue Anteil des Lichts durch Induktion von oxidativem Stress die Netzhaut schädigt und gegebenenfalls das Auftreten oder die Progression einer AMD fördern kann (Boulton et al. 2001). Lichtexposition kann das Fortschreiten von präexistierenden Retinopathien negativ beeinflussen (Paskowitz et al. 2006). Retinales Gewebe reagiert im Alter sensitiver auf Phototoxizität, wahrscheinlich durch die erhöhte Lipofuszinkonzentration und reduzierte Antioxidanzienaktivitäten (Algvere et al. 2006).

Die Anhäufung von Lipofuszin ist assoziiert mit RPE-Atrophie bei einer Vielzahl von retinalen Erkrankungen, unter anderem auch bei der AMD (Brunk u. Terman 2002). Besonders der Bestandteil A2E des Lipofuszins kann blaues Licht absorbieren und reaktive Sauerstoffspezies produzieren. Diese schädigen wichtige zelluläre Funktionen sowie beschleunigen die Apoptose und die Nekrose der Pigmentepithelzellen (Lu et al. 2017).

Linse und AMD

Durch zunehmende Linsentrübung entwickelt sich im Laufe des Lebens ein lenticulärer Blaulichtfilter. So beträgt die Transmissionsrate von Licht zwischen 400 und 500 nm bei Kindern 80–90 %, bei 70-Jährigen jedoch weniger als 25 % (Dillon et al. 2004). In einer Metaanalyse aus 14 Studien zeigten Sui et al. (2013), dass Menschen mit hoher Sonnenlichtexposition ein signifikant erhöhtes AMD-Risiko haben.

Durch die in den Industrieländern relativ häufige Kataraktoperation steigt die Exposition der Netzhaut mit blauem Licht im Alter. In der Blue Mountain Eye Study (Cugati et al. 2006) und der Beaver Dam Eye Study (Klein et al. 2012) zeigten sich eine höhere Inzidenz der AMD nach Kataraktextraktion. In der AREDS-Studie

(Chew et al. 2009), in der etwa 8000 Augen mit früher AMD im Schnitt neun Jahre kontrolliert wurden, zeigte sich jedoch keine statistisch signifikante Assoziation zwischen Kataraktoperation und der Ausbildung einer AMD. In einer prospektiven Longitudinalstudie aus Australien (CSAMD Study) zeigte sich ebenfalls kein erhöhtes Risiko für AMD 4–5 Jahre nach einer Kataraktoperation (Wang et al. 2016).

Der Zusammenhang zwischen Intraokularlinsen (IOL) ohne Blaulichtfilter und AMD-Risiko wird in zahlreichen epidemiologischen und experimentellen Untersuchungen diskutiert (Margrain et al. 2004). Die Schwierigkeit liegt in einer genauen retrospektiven Schätzung der Lichtexposition sowie in den unterschiedlichen individuellen genetischen Voraussetzungen. Der Nutzen einer Blaulichtfilter-IOL hinsichtlich der AMD-Entwicklung oder -Progression konnte in einer aktuell durchgeführten Cochrane-Analyse jedoch nicht eindeutig belegt werden (Downie et al. 2018).

Blaulichtexposition und malignes Melanom der Aderhaut

Das maligne Melanom der Aderhaut ist der häufigste maligne primär intraokuläre Tumor und besitzt eine hohe Mortalität. In epidemiologischen und genetischen Studien zeigte sich bisher keine eindeutige Assoziation zwischen Sonnenlichtexposition und Entwicklung eines uvealen Melanoms (Singh et al. 2011). Blaulicht könnte jedoch eine Rolle spielen. Blaulicht kann mitochondriale (Godley et al. 2005) und nukleäre DNA-Schädigung (Chamorro et al. 2013) auslösen und somit zur Tumorgenese beitragen. Es steigert die Mitoserate von humanen Uveamelanomzellen *in vitro* und *in vivo* (Di Cesare et al. 2009). Manning et al. (2004) induzierten die Bildung eines okulären Melanoms bei einer pigmentierten Ratte durch Blaulichtexposition und Verabreichung eines Kalziumkanalblockers. Eine hohe Anzahl von pigmentierten Nävi ist ein unabhängiger phänotypischer Marker für stark erhöhtes Risiko der Entwicklung von kutanen und uvealen malignen Melanomen (Smith et al. 2007). In neonatalen Blaulichttherapiestudien im Rahmen der Therapie des Neugeborenenikterus wurde über ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung dysplastischer Nävi an der Haut und in den Augen berichtet (Oláh et al. 2013). Die gleichen Ergebnisse zeigten sich in einer Studie an monozygoten und heterozygoten Zwillingen, bei denen jeweils ein Zwillingkind die neonatale Blaulichttherapie bekommen hatte (Csoma et al. 2011).

Zusammenfassend deuten einige Untersuchungen auf eine positive Assoziation zwischen der Bildung von uvealem Melanom und der Blaulichtexposition hin. Epidemiologische Studien fehlen jedoch, um diese Theorie zu untermauern.

Schlussfolgerung

In der modernen Welt ist der Mensch rund um die Uhr heller künstlicher Beleuchtung ausgesetzt. Zusätzlich werden signifikante Anteile des Tages und der Nacht vor digitalen Geräten verbracht. Limitiert durch den Umfang der Thematik kann diese selektive Übersichtsarbeit nur einen Überblick über die aktuellen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Blaulichtgefährdung für die Augen liefern.

Zahlreiche zell- und tierexperimentelle Studien deuten darauf hin, dass der Blaulichtanteil von LEDs ein Risikofaktor für die Entwicklung einer AMD oder anderer retinaler Pathologien darstellt. In epidemiologischen Studien finden sich bislang widersprüchliche Resultate.

Derzeitige Grenzwerte für Blaulichtgefährdung basieren auf akuten Expositionsstudien und sollen akute Gesundheitsgefährdungen verhindern. Die Expositionsgrenzwerte gelten nicht für überdurchschnittlich photosensitive Personen, wie Kinder, aphake Personen oder Personen mit künstlichen Augenlinsen. Ein erhöhtes Risiko tragen auch Patienten mit erblichen Netzhauterkrankungen und Personen, die photosensibilisierenden Substanzen (Antibiotika, Psychopharmaka, Psoralene) ausgesetzt sind. Die mögliche Gefährdung für diese Personengruppen wird in keiner Studie eindeutig beurteilt. Ob sukzessive transiente Schädigungen zur Langzeittoxizität führen, lässt sich aufgrund der heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht beurteilen. Die absolute Zeitdauer der Einwirkung von LED-Licht kann schwer unter experimentellen Bedingungen nachgeahmt werden. Die Kenntnisse aus tierexperimentellen Studien können wegen der Unterschieden zwischen den Spezies nicht vollständig auf chronische Expositionen bei Kindern oder älteren Menschen übertragen werden. Weitere Studien über die Langzeitexposition mit Blaulicht im Niedrigdosisbereich sind notwendig, um die photobiologische Sicherheit von LED-Licht zu beurteilen.

Interessenkonflikt: Die Autorenschaft gibt an, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

Literatur

- Algere PV, Marshall J, Seregard S: Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmol Scand* 2006; 84: 4–15.
- Behar-Cohen F, Martinsons C, Viénot F et al.: Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? *Prog Retin Eye Res* 2011; 30: 239–257.
- Boulton M, Rozanowska M, Rozanowski B: Retinal photodamage. *J Photochem Photobiol B* 2001; 64: 144–161.
- Brunk UT, Terman A: Lipofuscin: mechanisms of age-related accumulation and influence on cell function. *Free Radic Biol Med* 2002; 33: 611–619.
- Cai X, McGinnis JF: Oxidative stress: The achilles' heel of neurodegenerative diseases of the retina. *Front Biosci* 2012; 17: 1976–1995.
- Chamorro E, Bonnin-Arias C, Perez-Carrasco MJ, Munoz de Luna J, Vázquez D, Sánchez-Ramos C: Effects of light-emitting diode radiations on human retinal pigment epithelial cells in vitro. *Photochem Photobiol* 2013; 89: 468–473.
- Chew EY, Sperduto RD, Milton RC et al.: Risk of advanced age-related macular degeneration after cataract surgery in the Age-Related Eye Disease Study: AREDS report 25. *Ophthalmology* 2009; 116: 297–303.
- Csoma Z, Tóth-Molnár E, Balogh K et al.: Neonatal blue light phototherapy and melanocytic nevi: a twin study. *Pediatrics* 2011; 128: e856–e864.
- Cugati S, Mitchell P, Rochtchina E, Tan AG, Smith W, Wang JJ: Cataract surgery and the 10-year incidence of age-related maculopathy: the Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology* 2006; 113: 2020–2025.
- Di Cesare S, Maloney S, Fernandes BF et al.: The effect of blue light exposure in an ocular melanoma animal model. *J Exp Clin Cancer Res* 2009; 28: 48.
- Dillon J, Zheng L, Merriam JC, Gaillard ER: Transmission of light to the aging human retina: possible implications for age related macular degeneration. *Exp Eye Res* 2004; 79: 753–759.
- Downie LE, Busija L, Keller PR: Blue-light filtering intraocular lenses (IOLs) for protecting macular health. *Cochrane Database Syst Rev* 2018; 5:CD011977.
- Godley BF, Shamsi FA, Liang FQ, Jarrett SG, Davies S, Boulton M: Blue light induces mitochondrial DNA damage and free radical production in epithelial cells. *J Biol Chem* 2005; 280: 21061–21066.
- Heßling M, Kölbl PS, Singh P et al.: Gefahr durch LED-Licht? *Ophthalmologie* 2019; 116: 625.
- Hui S, Yi L, Fengling QL: Effects of light exposure and use of intraocular lens on retinal pigment epithel cells in vitro. *Photochem Photobiol* 2009; 85: 966–969.
- ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Phys* 2013; 105: 74–96.
- Internationale Beleuchtungskommission: Position statement on the blue light hazard (<http://www.cie.co.at/publications/position-statement-blue-light-hazard-april-23-2019>).
- Klein BE, Howard KP, Lee KE, Iyengar SK, Sivakumaran TA, Klein R: The relationship of cataract and cataract extraction to age-related macular degeneration: the Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology* 2012; 119: 1628–1633.
- Krigel A, Berdugo M, Picard E et al.: Light induced retinal damage using different light sources, protocols and rat strains reveals LED phototoxicity. *Neuroscience* 2016; 339: 296–307.
- Kuse Y, Ogawa K, Tsuruma K, Shimazawa M, Hara H: Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Sci Rep* 2014; 4: 5223.
- Lascaratos G, Ji D, Wood JP, Osborne NN: Visible light affects mitochondrial function and induces neuronal death in retinal cell cultures. *Vision Res* 2007; 47: 1191–1201.
- Lawwill T, Crockett S, Currier G: Retinal damage secondary to chronic light exposure, thresholds and mechanisms. *Doc Ophthalmol* 1977; 44: 379–402.
- Lei B, Yao G: Spectral attenuation of the mouse, rat, pig and human lenses from wavelengths 360 nm to 1020 nm. *Exp Eye Res* 2006; 83: 610–614.
- Lin CH, Wu MR, Li CH et al.: Periodic exposure to smartphone-mimic low-luminance blue light induces retina damage through Bcl-2/BAX-dependent apoptosis. *Toxicol Sci* 2017; 157: 196–210.
- Loane E, Kelliher C, Beatty S, Nolan JM: The rationale and evidence base for a protective role of macular pigment in age-related maculopathy. *Br J Ophthalmol* 2008; 92: 1163–1168.
- Lu B, Zhang PF, Zhou MW et al.: Involvement of XBP1s in blue light-induced A2E-containing retinal pigment epithelium cell death. *Ophthalmic Res* 2017; 57: 252–262.
- Manning WS Jr, Greenlee PG, Norton JN: Ocular melanoma in a Long Evans rat. *Contemp Top Lab Anim Sci* 2004; 43: 44–46.
- Margrain TH, Boulton M, Marshall J, Sliney DH: Do blue light filters confer protection against age-related macular degeneration? *Prog Retin Eye Res* 2004; 23: 523–531.
- Nakamura M, Kuse Y, Tsuruma K, Shimazawa M, Hara H: The involvement of the oxidative stress in murine blue LED light-induced retinal damage model. *Biol Pharm Bull* 2017; 40: 1219–1225.
- O'Hagan JB, Khazova M, Price LLA: Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye* 2016; 30: 230–233.
- Oláh J, Tóth-Molnár E, Kemény L, Csoma Z: Long-term hazards of neonatal blue-light phototherapy. *Br J Dermatol* 2013; 169: 243–249.
- Organisciak DT, Vaughan DK: Retinal light damage: mechanisms and protection. *Prog Retin Eye Res* 2010; 29: 113–134.
- Paskowitz DM, LaVail MM, Duncan JL: Light and inherited retinal degeneration. *Br J Ophthalmol*. 2006; 90:1060–1066.
- Reidenbach H-D, Dollinger K, Hofmann J: Results from two research projects concerning the aversion responses. *Proceedings SPIE* 2005; 5688: 429–439.
- Singh AD, Turell ME, Topham AK: Uveal melanoma: trends in incidence, treatment, and survival. *Ophthalmology* 2011; 118: 1881–1885.
- Smith JH, Padnick-Silver L, Newlin A, Rhodes K, Rubinstein WS: Genetic study of familial uveal melanoma: association of uveal and cutaneous melanoma with cutaneous and ocular nevi. *Ophthalmology* 2007; 114: 774–779.
- Spivey A: The mixed blessing of phosphor-based white LEDs. *Environ Health Perspect* 2011; 119: A472–473.
- Sui GY, Liu GC, Liu GY et al.: Is sunlight exposure a risk factor for age-related macular degeneration? A systematic review and meta-analysis. *Br J Ophthalmol* 2013; 97: 389–394.
- Suzuki M, Tsujikawa M, Itabe H et al.: Chronic photo-oxidative stress and subsequent MCP-1 activation as causative factors for age-related macular degeneration. *J Cell Sci* 2012; 125: 2407–2415.
- Vaughan DK, Memke JL, Fliesler FJ, Darrow RM, Organisciak DT: Evidence for a circadian rhythm of susceptibility to retinal light damage. *Photochem Photobiol* 2002; 75: 547–553.
- Wang JJ, Fong CS, Burlutsky G et al.: Risk of age-related macular degeneration 4 to 5 Years after cataract surgery. *Ophthalmology* 2016; 123: 1829–1830.
- Yousseff PN, Sheibani N, Albert DM: Retinal light toxicity. *Eye* 2011; 25: 1–14

Für die Autorenschaft

Dr. med. Yanyan König

Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg
Henkestraße 9–11
91054 Erlangen
yankoenig@web.de

Betriebliches Eingliederungsmanagement aus der Beschäftigtenperspektive

Eine qualitative Studie in Pflege- und Betreuungseinrichtungen

M. Opelt¹
M. Hege¹
D. Rester²

¹Fakultät Gesundheits- und Pflegewissenschaften,
Westfälische Hochschule Zwickau
²UMIT – Private Universität für Medizinische
Informatik und Technik

(eingegangen am 30.07.2019, angenommen am 20.12.2019)

ABSTRACT / ZUSAMMENFASSUNG

Occupational reintegration management from an employee perspective – a qualitative study of care and support facilities

Introduction: Demographic trends and the associated shortage of skilled workers mean that older employees are becoming increasingly important to companies, which must rely on the resources of an aging workforce. Older people are more likely to be unfit for work, which results in more absenteeism. The legislature approved the occupational reintegration management (BEM) in 2004 in order to maintain and promote the ability of employees to work. The aim of the investigation was to determine employees' perspective of BEM, as this has received little coverage as a subject of research.

Methods: The research field was represented by a total of six care and support facilities in east Thuringia. The research question was: "What expectations do employees have regarding BEM?" Grounded theory was used to carry out nine guided interviews with employees in care and support facilities. The data was analysed by using the qualitative content analysis according to Mayring.

Results: Incapacity for work places a wide range of burdens on those affected by it. This is often accompanied by a change in attitudes and behaviour. Reintegration management is therefore perceived as a very important and helpful institution for return to work. A considerable deficit of knowledge on the subject of BEM was nevertheless discovered.

Conclusion: Affected persons expect to be able to keep their job as a result of BEM. The BEM process should be characterised by a step-by-step approach. Colleagues are crucial to a successful return to work as they can support the reintegration with understanding and consideration. Medical specialists were also considered to be very important to integration. Other expectations addressed improvements in the area of workplace health promotion.

Keywords: care and support facilities – occupational reintegration management – employee perspective – collegiality – grounded theory

Betriebliches Eingliederungsmanagement aus der Beschäftigtenperspektive – Eine qualitative Studie in Pflege und Betreuungseinrichtungen

Einleitung: Durch die demografische Entwicklung und den damit einhergehenden Fachkräftemangel gewinnen ältere Beschäftigte für Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Diese verursachen jedoch häufiger Fehlzeiten und müssen sich verstärkt mit Arbeitsunfähigkeit auseinandersetzen. Um die Arbeitsfähigkeit Beschäftigter zu erhalten und zu fördern, legitimierte die Gesetzgebung im Jahre 2004 das betriebliche Eingliederungsmanagement (BEM). Ziel der Untersuchung war es, das BEM aus der Beschäftigtenperspektive zu eruieren, da diese bisher nur gering als Gegenstand der Forschung einbezogen wurde.

Methodik: Das Forschungsfeld wurde durch eine frei gemeinnützige Träger-schaft mit insgesamt sechs Pflege- und Betreuungseinrichtungen im Raum Ostthüringen gestellt. Die forschungsleitende Frage lautete: „Welche Erwartungen haben Mitarbeiter an die betriebliche Eingliederung?“ Es wurden anhand der Grounded Theory neun Leitfadenterviews mit Beschäftigten in Pflege- und Betreuungseinrichtungen geführt. Die Datenauswertung erfolgte in Anwendung der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring.

Ergebnisse: Arbeitsunfähigkeit schlägt sich in vielfältigen Belastungen bei Betroffenen nieder. Häufig geht damit auch eine Veränderung von Einstellungen und Verhaltensweisen einher. Das BEM wird daher als sehr wichtige und hilfreiche Institution bei der Arbeitsplatzrückkehr wahrgenommen. Trotzdem wurde hierbei auch ein erhebliches Wissensdefizit zum BEM aufgedeckt.

Schlussfolgerung: Betroffene erwarten, dass durch das BEM der Arbeitsplatz erhalten werden kann. Der BEM-Prozess sollte durch eine schrittweise Herangehensweise geprägt sein. Maßgeblich für eine erfolgreiche Arbeitsplatzrückkehr ist der Kollegenkreis, da dieser mit Verständnis und Rücksicht unterstützend auf die Wiedereingliederung einwirken kann. Auch dem ärztlichen Fachpersonal wurde ein hoher Stellenwert bei der Eingliederung zugesprochen. Weitere Erwartungen adressierten Verbesserungen im Bereich der betrieblichen Gesundheitsförderung.

Schlüsselwörter: Pflege- und Betreuungseinrichtungen – Betriebliches Eingliederungsmanagement (BEM) – Beschäftigtenperspektive – Kollegialität – Grounded Theory

Einleitung

Im Zuge der demografischen Entwicklung werden ältere Menschen für den Arbeitsmarkt und Unternehmen immer bedeutender. So fiel in Deutschland zwischen 1991 und 2010 die Erwerbsbevölkerung der 15- bis 39-Jährigen von 53,7 auf 44,3 % ab, während die der 40- bis 64-Jährigen von 46,3 auf 55,7 % anstieg (Garloff et al. 2012). Zudem steigerte sich die Erwerbsbeteiligung älterer Menschen, deren Erwerbstätigenquote bei den 60- bis 65-Jährigen seit dem Jahre 2000 erheblich mit 19,9 % auf 53,1 % im Jahre 2015 zunahm (Statistisches Bundesamt 2016b). Evident dabei ist, dass Ältere mit einem Anstieg an Gesundheitsproblemen zu kämpfen haben. Häufigkeit, Komplexität und Chronifizierung von Erkrankungen erhöhen sich im Alter (Safß et al. 2009) und bedeuten dementsprechend im eingetretenen Krankheitsfall eine beträchtlich längere Arbeitsunfähigkeitsdauer (Matthäi u. Morschhäuser 2009).

Um mögliche Engpässe durch den Fachkräftemangel zu kompensieren, müssen Unternehmen zwangsläufig noch stärker auf die Ressourcen Älterer zurückgreifen (Brenke 2013). Dadurch rückt gleichzeitig die Erhaltung der Beschäftigungsfähigkeit der älteren Beschäftigten in den Vordergrund. Dabei gilt es, altersbedingten Zunahmen von Fehlzeiten und Einschränkungen primär- und sekundärpräventiv entgegenzuwirken, da ansonsten mit dem Altern der Belegschaften eine Zunahme von Erkrankungsfällen und Fehlzeiten drohen (Matthäi u. Morschhäuser 2009). Aus ökonomischer Sichtweise verursacht Arbeitsunfähigkeit zudem erhebliche Kosten für den Betrieb, die es zu verhindern gilt (Beyer et al. 2015).

Besonders für Pflege- und Betreuungseinrichtungen besitzt das betriebliche Eingliederungsmanagement (BEM) eine hohe Relevanz, da diese Branche durch zum Teil schlechte Arbeitsbedingungen wie Leistungs- und Zeitdruck sowie hohe körperliche und psychische Belastungen geprägt ist (Abeler 2013). Dementsprechend traten im Jahre 2016 in der Altenpflege durchschnittlich 28 Arbeitsunfähigkeitstage pro Beschäftigten auf. Im Branchendurchschnitt (17,4 Arbeitsunfähigkeitstage) gehört die Altenpflege damit nachweislich zu den Branchen mit den höchsten Arbeitsunfähigkeitstagen. Im Vergleich zur Berufsgruppe mit den wenigsten Ausfallzeiten (Lehr- und Forschungstätigkeiten an Hochschulen, fünf Arbeitsunfähigkeitstage) fallen diese in der Altenpflege mehr als fünfmal so hoch aus (Dachverband der Betriebskrankenkassen 2018).

Es wurde im Vorfeld eine Sekundärdatenanalyse des gesamten Personals des untersuchten Forschungsfeldes durchgeführt. Diese zeigte, dass zum Stichtag des 01.08.2017 bereits 48,6 % der Belegschaft mindestens 50 Jahre oder älter war. Das Krankheitsgeschehen wurde für einen Einjahreszeitraum, vom 01.08.2016 bis zum 31.07.2017, herangezogen und lag hierbei bei durchschnittlichen 30,6 Arbeitsunfähigkeitstagen pro Beschäftigtem. Zwischen den jeweiligen Einrichtungen schwankten die Ausfallzeiten im Durchschnitt zwischen 16 und 51,7 Arbeitsunfähigkeitstagen pro Beschäftigtem. Bei der Observierung der Krankheitszeiträume konnte in Erfahrung gebracht werden, dass 26,3 % des gesamten Personals im analysierten Einjahreszeitraum über 30 Tage arbeitsunfähig gewesen war. In der Zusammenfassung verdeutlichten die ermittelten Kennzahlen zur Beschäftigtenstruktur zu den Fehlzeiten eine hohe Relevanz, die ein Eingreifen und Gegenwirken in Form des BEM im Forschungsfeld erforderlich machten.

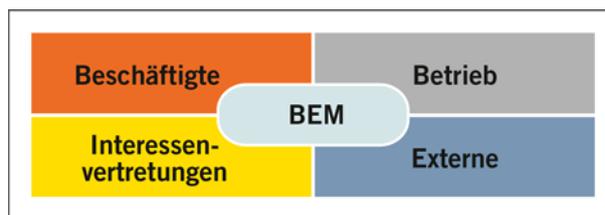


Abb. 1: Beteiligte des BEM

Fig. 1: Stakeholders in occupational reintegration management

Theoretischer Hintergrund

Seit 2004 verpflichtet die Gesetzgebung Unternehmen zur Durchführung eines BEM. Mit dem Ziel, die Beschäftigungsfähigkeit zu erhalten, soll damit den Folgen der demografischen Entwicklung begegnet werden (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2013). Ausgangspunkt des BEM bildet das betriebliche Gesundheitsmanagement, dem es als Baustein neben dem Arbeitsschutz und der betrieblichen Gesundheitsförderung zugeordnet wird (➔ Abb. 1). Die gesetzliche Grundlage wird durch den § 167 „Prävention“ im Sozialgesetzbuch (SGB) Neuntes Buch (IX) „Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen“ gestellt. Nach Absatz 2 muss das Unternehmen bei Beschäftigten, die „innerhalb eines Jahres länger als sechs Wochen ununterbrochen oder wiederholt arbeitsunfähig“ waren, Maßnahmen in Form eines BEM anbieten. Dies zielt darauf ab, Arbeitsunfähigkeit möglichst vorzubeugen, zu überwinden sowie damit den Arbeitsplatz von Betroffenen zu erhalten.

Es besteht eine von der Unternehmensgröße losgelöste Pflicht des Betriebs, das BEM den Betroffenen anzubieten und es auf deren Wunsch durchzuführen. Der Betrieb darf jedoch nicht zu einer Teilnahme zwingen (Seel 2017). Wie ein BEM in der Praxis konkret ausgestaltet werden soll, wird bis heute nicht vorgeschrieben. Dadurch soll ein BEM an die Situation und Bedarfe der Beschäftigten angepasst werden können (betriebsbezogenes Vorgehen; Beyer et al. 2015). Ein BEM sollte jedoch systematisch in verschiedenen Phasen und zielorientiert durchgeführt werden (Berner 2008). Im Verfahren sind seitens der Gesetzgebung das Unternehmen, die Schwerbehindertenvertretung, das Integrationsamt, die nach § 176 SGB IX genannten Interessenvertretungen in Form des Betriebs- und Personalrates sowie Werksbeziehungsweise Betriebsärztinnen und -ärzte zu beteiligen. Darüber hinaus werden jedoch keine Grenzen weiterer inner- und außerbetrieblicher Akteure festgesetzt. In größeren Unternehmen empfiehlt sich die über den Einzelfall hinausgehende Bildung eines BEM-Teams (Schmitt 2014). Unabhängig von der Art und Weise der Ausgestaltung ist beim BEM immer das Ergebnis entscheidend (Berner 2008). Die betroffene Person steht im Mittelpunkt, weshalb es auch individuell auf diese zugeschnitten werden muss (Beyer et al. 2015).

Die Forschung zur Beschäftigtensicht zeigt, dass bis heute noch nicht alle Prädiktoren der Arbeitsplatzrückkehr vollständig erforscht wurden. Internationale Forschungsarbeiten zu Return to Work (RTW), unter denen sich das BEM-Konstrukt unterordnen lässt, beschäftigten sich vor allem mit der Frage, welche personalbezogenen Faktoren die Arbeitsplatzrückkehr begünstigen. Demnach wird eine Arbeitsplatzrückkehr von physischen, psychischen und sozialen Faktoren beeinflusst (Franche u. Krause 2002). So haben unter anderem die generelle Arbeitseinstel-

Tabelle 1: Fallauswahl

Table 1: Sample

Code	Alter/Geschlecht	Einrichtung	(letzte) berufliche Position	Art und Dauer der Arbeitsunfähigkeit
IP 1	42/w	Tagespflege	Betreuungskraft	Lupus erythematodes, ca. 1,5 Jahre
IP 2	60/w	Seniorenheim	Küchendienst	Hüftdysplasie, ca. 4 Monate
IP 3	36/w	Wohnheim	Betreuungskraft	Fruchtwasserembolie, ca. 2 Jahre
IP 4	57/w	Seniorenheim	Pflegefachkraft	Sehnenriss im Arm, ca. 6 Monate
IP 5	33/w	Pflegedienst	Pflegefachkraft	Depression, ca. 6 Monate
IP 6	58/m	Seniorenheim	Technischer Dienst	Spinale Stenose, ca. 6 Monate
IP 7	51/m	Wohnheim	Betreuungskraft	Körperliche Erkrankung, ca. 4 Wochen
IP 8	18/m	Seniorenheim	Pflegehilfskraft	Keine andauernde Arbeitsunfähigkeit
IP 9	41/w	Seniorenheim	Pflegefachkraft	Keine andauernde Arbeitsunfähigkeit

lung, Selbstwirksamkeitserwartungen und die wahrgenommene soziale Unterstützung für Beschäftigte einen signifikanten Einfluss auf die Rückkehrzeit nach einer Erkrankung. Diese Faktoren können jedoch zwischen unterschiedlichen Erkrankungsarten divergieren, was krankheitsspezifische Ansätze und Strategien bei der Bewältigung einer Arbeitsunfähigkeit bedingt (Brouwer et al. 2010). Besonders bei psychischen Erkrankungen ist die Wiedereingliederung als Teil des Genesungsprozesses zu verstehen (Riechert u. Habib 2017). Erwartungen an die und Vorstellungen von der Arbeitsplatzrückkehr prägen ebenso die Prognose der beruflichen Rehabilitation (Cole et al. 2002). Demzufolge haben Betroffene, die nicht an eine Rückkehr in den vorherigen Beruf glauben, es schwieriger, auch tatsächlich zurückzukehren, während positive Erwartungen an die Rehabilitation diese begünstigen (Sampere et al. 2012; Nielsen et al. 2010). Eine Rolle spielt auch die Wahrnehmung, auf der Arbeit willkommen zu sein (Heijbel et al. 2006). Solche Erwartungen lassen sich dabei beispielsweise durch (sozio)demografische und schmerzbezogene Faktoren bereits erklären (Ozegovic et al. 2010). Darüber hinaus muss ebenso das Potenzial der ärztlichen Einflussnahme bei einer Eingliederung berücksichtigt werden (Claréus u. Renström 2019).

Ziele und Forschungsfrage

Die vorliegende Untersuchung setzte sich thematisch mit dem BEM im Setting von Pflege- und Betreuungseinrichtungen auseinander. Dabei war die personalorientierte Sichtweise zum BEM von Interesse. Ziel war es, Unternehmen und insbesondere Führungskräfte für die Situation ihrer betroffenen Beschäftigten zu sensibilisieren und bei der Umsetzung von Wiedereingliederungsmaßnahmen im Rahmen des BEM zu unterstützen. Speziell für das gewählte Forschungsfeld, in dem die Wiedereingliederung mit einem hohen Entwicklungs- und Verbesserungspotenzial angesehen wurde, sollte die Untersuchung einen Beitrag zur Implementierung eines BEM durch die Verantwortungspersonen leisten. Darüber hinaus stellt es ein grundsätzliches Ziel dar, aus den gezogenen Schlussfolgerungen neue Ansätze für folgende Forschungsarbeiten zu generieren. Die Forschungsfrage lautete: „Welche Erwartungen haben Mitarbeiter an die betriebliche Eingliederung?“. Die Forschungsfrage folgte einem explorativen Ansatz, weshalb für deren Beantwortung ein qualitatives Studiendesign mittels Interviews umgesetzt wurde.

Methodik

Qualitative Forschung und Grounded Theory (GTM)

Um die individuellen Sichtweisen betroffener Beschäftigter zu berücksichtigen, wurde bei der Beantwortung der Forschungsfrage der qualitative Ansatz in Form der GTM gewählt. Die Besonderheit dieser Methode besteht in einem simultanen, komparativen Ablauf von Datenerhebung, -analyse und Ziehung der Stichprobe, wodurch sich das Forschungsvorhaben permanent weiterentwickelt und auf Kernprobleme konzentriert (Polit et al. 2004).

Forschungsfeld und Sampling

Das untersuchte Forschungsfeld wurde durch insgesamt sechs Pflege- und Betreuungseinrichtungen im Raum Ostthüringen gestellt, die gemeinsam einer frei gemeinnützigen Trägerschaft untergeordnet sind. Die Auswahl der an der Untersuchung Teilnehmenden erfolgte zielgerichtet und im wechselseitigen Prozess zwischen Datenerhebung und -auswertung im Sinne der GTM. Im Hinblick auf die Ergebnisorientierung wurde darauf abgezielt, vorwiegend Personen zu erreichen, die im Sinne des BEM bereits eine längere Arbeitsunfähigkeit in der Vergangenheit nachweisen konnten. Um den Limitationen der qualitativen Herangehensweise in Bezug auf die Zahl der an der Studie teilnehmenden Personen zu begegnen, sollte zudem beim Alter eine möglichst hohe Streuung, hinsichtlich der Merkmalsverteilung von Geschlecht und beruflicher Position eine möglichst hohe Heterogenität erreicht werden. Die Auswahl geeigneter Interviewpartnerinnen und -partner (IP) erfolgte einrichtungsübergreifend und in unterstützender Absprache mit dem Qualitäts- und Personalmanagement der Einrichtungsträgerschaft. Das Sampling war hinsichtlich der GTM an der theoretischen Sättigung auszurichten. Das bedeutet, dass eine Datensättigung im fortlaufenden Datenerhebungsprozess beziehungsweise bei der Suche im Material an der Stelle einsetzt, an der sich keine neuen Theorien mehr generieren lassen (Przybowski u. Wohlrab-Sahr 2014). Praktisch wurde die Datensättigung hierbei nach dem neunten Interview erreicht, da sich keine neuen Erkenntnisse mehr aufzeigen ließen, die eine weitere Datenerhebung bedingt hätten. In den neun Interviews wurden sechs Frauen und drei Männer mit einem Durchschnittsalter von 44 Jahren inkludiert. Unter allen IP befanden sich

auch eine Pflegedienstleitung und ein Mitglied des Betriebsrats. Die Dauer der Interviews variierte insgesamt zwischen 19 und 38 Minuten (Mittelwert: 26 Minuten) (→ **Tabelle 1**).

Erhebungsinstrument

Als Erhebungsinstrument wurde ein Leitfaden für die semistrukturierten Interviewformen verwendet, da dieser zur Strukturierung des Themenfelds und als Hilfsmittel zur Orientierung in der Erhebungssituation dient (Bogner et al. 2014). Der Leitfaden enthielt 42 Fragen, die in drei aufeinanderfolgende Themenkomplexe unterteilt wurden. Der erste Themenkomplex setzte sich mit Krankheit und Arbeitsunfähigkeit auseinander, der zweite mit Einstellungen und dem Verständnis der IP zu Gesundheit, Arbeit, betrieblicher Gesundheitsförderung (BGF) und Belastungen. Der dritte und umfangreichste Themenkomplex befasste sich mit betrieblicher Eingliederung und dem BEM. Es wurden ausschließlich offene Fragen inkludiert, damit die Antworten der befragten Person in kein vorgegebenes Antwortschema eingeordnet werden müssen, sondern von dieser eigens formuliert werden können (Lamnek 2016). In der Entwicklung des Leitfadens wurden Studien und Projekte zur betrieblichen Eingliederung vergangener Jahre berücksichtigt, die den Fokus auf die Betroffenenperspektive legten (Alaszewski et al. 2007; Gilworth et al. 2009; Sommer 2016). Bei Bedarf wurde der Leitfaden im Sinne des komparativen Vorgehens der GTM nach jedem Interviewdurchlauf angepasst und einzelne Aspekte vermehrt in den Fokus gestellt oder vernachlässigt (Reichertz u. Wilz 2016). Jede teilnehmende Person erhielt den identischen Fragenkatalog. Dem jeweiligen Gesprächsverlauf entsprechend musste dieser jedoch angepasst werden, damit Themen nicht doppelt angesprochen werden. Ausgehend von den angefertigten Transkriptionen wurden zwischen 20 bis 45 Fragen gestellt (Mittelwert: 37 Fragen)

Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte im Zeitraum vom 04.09.2017 bis zum 21.09.2017. Die Befragten wurden während der Arbeitszeit in Dienstzimmern oder Ruheräumen angetroffen, um Störeinflüsse so gering wie möglich zu halten. Im Vorfeld wurde die Heim- und Pflegedienstleitung jeweils über die Termine informiert. Die Interviewdurchführung wurde jeweils konkret in insgesamt vier Phasen gegliedert. Dieser Ablauf beinhaltete eine Informations-, Einstiegs-, Haupt- und Abschlussphase (Misoch 2015). Somit konnte sowohl ein reibungsloser Ein- als auch Ausstieg aus den Interviews für die Interviewenden und IP gewährleistet werden. Die Interviews wurden mittels eines Diktiergeräts aufgezeichnet. Die Forschungsethik wurde durch ein im Vorfeld der Interviews bereitgestelltes Informationsschreiben zur Untersuchung sowie einer beiderseitig unterzeichneten Einwilligungserklärung abgesichert, die unter anderem die Aspekte Freiwilligkeit, Abbruchmöglichkeit, Löschung der Primärdaten, Anonymisierung und Datenschutz erläuterte.

Datenauswertung – Qualitative Inhaltsanalyse

Für die Datenauswertung wurde sich für die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring entschieden, die mittels der Datenanalysesoftware MAXQDA (Version 12) ausgeführt wurde. Vorangestellt wurde eine Transkription der Audiodateien. Unter Berücksichtigung finanzieller und zeitlicher Ressourcen wurde sich für das Transkriptionssystem nach Kuckartz entschieden, auch da dieses unter anderem speziell für die Datenerhebung mittels Leitfadenterviews sowie die computergestützte Analyse



Abb. 2: Überblick Kategoriensystem
Fig. 2: Overview of category system

konzipiert wurde (Kuckartz 2014). Nach Vorliegen der jeweiligen Transkripte wurde eine inhaltsanalytische Zusammenfassung nach Mayring gewählt. Gemeinsam ist allen Analyseformen die Entwicklung eines Kategoriensystems, das in einem Wechselverhältnis von Theorie und konkretem Material entwickelt, durch Zuordnungs- und Konstruktionsregeln definiert und während der Analyse überarbeitet und rücküberprüft wird (Mayring 2008). Angewandt wurde dabei sowohl die induktive Kategorienbildung, bei der die Kategorien aus dem Material herausgebildet werden, als auch die deduktive Kategorienbildung, bei der Kategorien im Voraus, hier anhand der Leitfragen und Themenkomplexe, aufgestellt werden. Die Kategorienbildung und die Zuordnung der Interviewaussagen zu den Kategorien wurden durch eine Person durchgeführt. Es wurden einzelne Wörter (Kodiereinheit) bis hin zu mehreren Sätzen bzw. einem Absatz (Kontexteinheit) zugeordnet (Mayring 2008).

Ergebnisse

Die Ergebnisse konnten sechs Kategorien zugeordnet werden (→ **Abb. 2**), wobei auf eine möglichst ausgeglichene, übersichtliche und trennscharfe Strukturierung der Kategorienbildung Wert gelegt wurde. Es erfolgt eine verständliche und nachvollziehbare Darstellung der wichtigsten Aussagen der IP mittels wertungsfrei wiedergegebenen Ankerbeispielen (zitiert als IP 1 bis IP 9).

Belastungen

Für Betroffene stellt eine Erkrankung häufig einen Schicksalsschlag dar: „Ja, das war schon so ein Einbruch im Leben“ (IP 1, Abs. 14); „Ich habe mir ja das nicht einmal träumen lassen [...]“ (IP 4, Abs. 6). Es wurde die Angst beschrieben, die ursprüngliche Funktion nicht mehr ausüben zu können (IP 8 Abs. 65), in den Stunden herabgesetzt zu werden und/oder den Arbeitsplatz an Jüngere aus dem Kollegenkreis abtreten zu müssen beziehungsweise zu verlieren (IP 6, Abs. 54). Werde später die Arbeit erneut aufgenommen, falle es zu Beginn schwer, den Arbeitsanforderungen immer gerecht zu werden und die Leistungsfähigkeit wieder zu steigern (IP 1, Abs. 14). Eng in Verbindung mit dem Arbeitsplatzverlust wurden seitens der Betroffenen finanzielle Sorgen

geäußert, da das Krankengeld meist nicht ausreicht, um die Kosten zu decken (IP 3, Abs. 59; IP 4, Abs. 40). Ein Betroffener schilderte, so lange arbeitsunfähig gewesen zu sein, dass er mittlerweile schon aus-gesteuert gewesen und infolge dessen ein Abhängigkeitsverhältnis zur Bundesagentur für Arbeit und dem Arbeitsamt eingetreten sei (IP 3, Abs. 59). Ebenfalls sei es ernüchternd, wenn der Heilungsverlauf nur langsam voranschreitet und kaum erkennbarer Fortschritt vorhanden ist: „Ich hab gedacht, ich arbeite schon lange wieder“ (IP 6, Abs. 76). Trotz reichlich aufgebrachter Geduld kämen dennoch Sorgen auf, dass die Schmerzen sich chronifizieren. Gleichzeitig wachse die Angst vor Rückschlägen im Heilungsprozess sowie einer erneuten Operation und der damit verlängerten Arbeitsunfähigkeit (IP 2, Abs. 58). Ein Betroffener mit Herzinsuffizienz schilderte ein Auftreten von gelegentlichen Akutphasen und Schüben: „Und das dauert halt nicht wie bei jedem eine Woche, eine Grippe, sondern bei mir zieht sich das dann halt“ (IP 3, Abs. 35). Dem Kollegenkreis wird ein hoher Einfluss auf die Belastungswahrnehmung bei der Arbeitsplatzrückkehr zugesprochen. Denn häufig fühlen sich Beschäftigte von ihrem Arbeitsumfeld analysiert oder sogar gemobbt: „Die Alteingesessenen wissen das halt alle und verbinden das eben immer mit mir.“ (IP 5, Abs. 30); „Also im Buschfunk wird immer ganz was anderes erzählt, was in der Realität ist, und das ist hier bei uns speziell sehr schlimm“ (IP 7, Abs. 65). Es ist den Betroffenen wichtig, dass eine gewisse Sensibilität im inter-kollegialen Umgang erfolge, indem man sich gegenseitig helfe (IP 7, Abs. 61). Ein Befragter betonte „das Kollektiv“ (IP 7, Abs. 61). Es sei sich stets vor Augen zu führen, dass Krankheit und Gebrechen einen selbst betreffen können (IP 8, Abs. 28). Nach IP 7 werde auch in der Geschäftsführung nicht immer genügend Verständnis gegenüber den Langzeiterkrankten aufgebracht (IP 7, Abs. 39).

Betriebliche Gesundheitsförderung (BGF)

Nach IP 7 sei BGF für die Eingliederung insofern relevant, da hier bereits während der Arbeitsunfähigkeit die ersten Schritte zur Rehabilitation eingeleitet und die Beschäftigten im Vorfeld der geplanten Arbeitsplatzrückkehr unterstützt werden können (IP 7, Abs. 51). Für die Belegschaft hat BGF grundsätzlich eine große Bedeutung. Hinsichtlich Prävention erscheine BGF sinnvoll (IP 7, Abs. 65). Daher sei es enttäuschend, dass in dieser Richtung bisher nicht viel passiert sei: „[...] man könnte vielleicht auch noch mehr machen“ (IP 4, Abs. 28); „[...] das geht mal einen Monat und dann läuft das aus und dann ist das ganze Jahr über nix“ (IP 6, Abs. 34); „Weil ich denke, es müsste mehr für die Mitarbeiter getan werden“ (IP 7, Abs. 37). Darüber hinaus sollen auch außerbetriebliche Aktionen wie Wander- und Projekttag ermöglicht und gefördert werden, da hierdurch der Zusammenhalt im Team gestärkt werden könne (IP 9, Abs. 32). In diesem Zusammenhang wurde auch von einem gesunden Arbeitsklima gesprochen (IP 1, Abs. 8). Im Vergleich zu anderen Unternehmen verstärkte sich die Ansicht, dass im Bereich BGF mehr geleistet werden könne (IP 2, Abs. 8). Des Weiteren würden Barrieren existieren, die eine Teilnahme an bestehenden Maßnahmen erschweren. Auf der einen Seite würden ungünstige Arbeitszeiten und der Schichtdienst hindern (IP 2, Abs. 8). Auf der anderen Seite ließen sich BGF und Familie nicht immer zeitlich miteinander vereinen (IP 9, Abs. 34). Zweifelsohne müsse aber auch ein gewisser Grad an Eigenverantwortung des Einzelnen im Sinne der BGF vorherrschen (IP 3, Abs. 12; IP 7, Abs. 25). Nach IP 5 würden sich jedoch jegliche Versuche der BGF relativieren, wenn bereits die grundlegenden Arbeitsbedingungen die Erkrankun-

gen verursachen (IP 5, Abs. 24). Dass Beschäftigte im Pflegebereich das Wohlergehen der Bewohner fördern, während aber meist gleichzeitig das Befinden der Belegschaft vernachlässigt bleibt, sei ein großer Ansatzpunkt für Kritik (IP 9, Abs. 32). In Hinblick auf die vorherrschenden Fehlzeiten und den Personalmangel „[...] hätte schon viel früher etwas gemacht werden müssen [...]“ (IP 9, Abs. 30).

Veränderung von Einstellungen

Als besonders prägend für die Einstellungen wurde von einem Betroffenen das Abhängigkeitsverhältnis während der Krankheitsphase beschrieben: „Man merkt erst mal, was das bedeutet. [...] Wenn man auf Hilfe angewiesen ist, sogar bei [...] Kleinigkeiten“ (IP 4, Abs. 6). Ein Ausscheiden aus dem Berufs- und Erwerbsleben hätte für die Betroffenen jedoch zu keinem Zeitpunkt eine Möglichkeit dargestellt: „[...] dass ich meine Existenz [...] oder meinen Lebensstandard, den ich jetzt mir so aufgebaut habe, weiterführen kann“ (IP 6, Abs. 28); „[...] vom Arbeitslosengeld oder der Arbeitslosenhilfe möchte ich nicht leben wollen“ (IP 2, Abs. 6). In diesem Sinne stecke auch ein gewisser Druck dahinter, dass die Eingliederung positiv verläuft und der Arbeitsplatz bis zur Rente erhalten werden könne (IP 6, Abs. 28). Des Weiteren sei die Eingliederung auch für die Psyche wichtig, da die Arbeit eine Struktur vorgebe und ein Zugehörigkeitsgefühl in die Gesellschaft vermitteln würde: „Ich könnte jetzt nicht sinnlos in den Tag hineinleben“ (IP 7, Abs. 29). In erster Linie mache Arbeit den Betroffenen aber Spaß (IP 4, Abs. 26). In dieser Hinsicht motiviere die Arbeit auch aus dem Inneren heraus, um nach überstandener Arbeitsunfähigkeit schnell zurückzukehren (IP 5, Abs. 36). Als weiterer Motivator wurde Teamarbeit genannt: „Und da muss ich sagen, dass ich in ein gutes Kollektiv reingekommen bin“ (IP 2, Abs. 34). Die Betroffenen geben an, durch die Erkrankung für ihre Gesundheit besser sensibilisiert zu sein: „[...] das ist halt wertvoll, man denkt oft drüber nach, was ich vorher nicht habe“ (IP 3, Abs. 55). Im Berufsalltag gebe es häufig „[...] aufregende Situationen, wenn wir auch mal einen Notfall haben und jemanden retten müssen [...]“. Daher werde versucht, unnötigen Stress zu vermeiden und Ruhe zu bewahren (IP 1, Abs. 30). Zudem könne gleichzeitig mehr Verständnis für andere aus dem Kollegenkreis und deren Erkrankungen aufgebracht werden: „Dass da einfach mehr dahinter stecken kann [...]“ (IP 3, Absatz 53).

Wissen und Wahrnehmung zum BEM

Fast keinem Betroffenen waren konkrete Informationen zum BEM bekannt. Ein Wissensdefizit wurde durchweg deutlich: „Das ist mir wirklich nicht so bekannt“ (IP 1, Abs. 22); „Davon habe ich noch gar nichts gehört“ (IP 2, Abs. 44); „Eingliederung ist ja quasi, wenn jemand Neues irgendwo anfängt zu arbeiten und die soll ja erst einmal eingearbeitet und eingegliedert werden, wie auch immer. [...] gerade ich als junger Mensch quasi. Da wird soweit nie darüber nachgedacht.“ (IP 8, Abs. 51 und 77). Unabhängig vom Wissensstand bestand bei den IP grundsätzlich ein Konsens darüber, dass ein BEM wichtig sei und diesem eine hohe Bedeutung zukomme: „Ich finde es erst einmal eine gute Sache“ (IP 1, Abs. 20); „Ich finde es jedenfalls gut“ (IP 4, Abs. 66); „Ja, auf alle Fälle“ (IP 2, Abs. 46). Nach IP 7 habe das BEM in Hinblick auf die demografische Entwicklung besonders in Pflege- und Betreuungseinrichtungen eine hohe Bedeutung: „Pflegeheime werden noch mehr entstehen, Pflegepersonal wird massiv gebraucht, definitiv.“ [...] die Anforderungen an das Personal werden ja aufgrund dessen [...] immer mehr“ (IP 7, Abs. 49). Also muss ich zusehen, dass ich ein Mittel oder eine Institution

schaffe, die dafür sorgt, dass die Leute [...] ein bisschen entlastet werden [...] (IP 7, Abs. 65). Nach mehreren Betroffenen bestünden bereits jetzt Engpässe und Personalmangel (IP 5, Abs. 24; IP 7, Abs. 35; IP 9, Abs. 83) Besonders Pflegeeinrichtungen sollten nach IP 6 daher bestrebt sein, dass eine Eingliederung positiv verlaufe (IP 6, Abs. 74).

Persönliche Vorbereitung auf die Arbeitsplatzrückkehr

Für die Betroffenen stelle eine Rückkehr vom Krankheitsalltag an den Arbeitsplatz zu Beginn eine gewöhnungsbedürftige Veränderung dar: „[...] es sind ja auch viele neue Sachen nach dem einem Jahr. Neue Bewohner, neues Computerprogramm“ (IP 4, Abs. 50). Nach IP 7 stehen im Eingliederungsprozess nicht nur die betrieblichen Akteure im Fokus, sondern auch die betroffenen Mitarbeiter würden ihre Arbeitsplatzrückkehr entscheidend beeinflussen können: [...] dass man selbst konkrete Vorstellungen hat, wie man es macht [...] dass man da einfach in der Beziehung ein bestimmtes Maß an Kompetenz zeigt und natürlich auch Offenheit und auch Entgegenkommen. [...] das ist mit wichtig, dieses Eigenengagement“ (IP 7, Abs. 59). Dies äußere sich beispielsweise auch dahingehend, dass der Kontakt zum Unternehmen und dem Kollegenkreis während der Krankheitsphase gehalten werde: „Dann habe ich jetzt einmal im Monat immer ein Gespräch mit meinem Chef gehabt [...]“ (IP 6, Abs. 68). Dies sei dahingehend vorteilhaft, dass bereits konkrete Vorstellungen und Möglichkeiten zur späteren Eingliederung miteinander ausgetauscht werden können (IP 7, Abs. 59): „Und da hatte ich auch mit meinen Kolleginnen und Frau S. gesprochen und hatte gesagt, wie sieht das aus, nach der Wiedereingliederung“ (IP 2, Abs. 36). Ein ebenso wichtiger Punkt der Vorbereitung werde durch sportliche Aktivität abgebildet. Diese stelle nach IP 6 einen guten Indikator dar, um die Leistungsfähigkeit zu ermitteln: „Ich versuche schon, meinen Körper [...] vorzubereiten. [...] Ich merke aber auch, dass ich dann zuhause an meine Grenzen stoße. [...] Also ich tue mich schon fordern [...]. Und wenn ich dann danach Schmerzmittel nehmen muss, dann muss ich sagen: Ich bin da noch nicht soweit, um eine Eingliederung zu machen“ (IP 6, Abs. 44). Zudem würden durch Sport bestehende Schmerzen gelindert sowie Selbstbewusstsein und Wohlergehen gesteigert werden können (IP 1, Abs. 28). Mehrere Personen gaben an, an Angeboten der Physiotherapie und dem Rehasport sowie am Sport- und Fitnessprogramm der intensivierten Rehabilitationsnachsorge (IRENA) der Deutschen Rentenversicherung teilgenommen zu haben (IP 1, Abs. 16; IP 4, Abs. 4; IP 6, Abs. 26). Bei psychischen Störungen werde zusätzlich therapeutische Hilfe aufgesucht: „Man muss sich halt einen Ausgleich suchen“ (IP 5, Abs. 56).

Maßnahmen und Beteiligte der Eingliederung

Die stufenweise Wiedereingliederung wurde von den betroffenen Beschäftigten als häufigste Maßnahme genannt, die als Unterstützungsangebot bei der Arbeitsplatzrückkehr genutzt worden sei. Diese wurde fast durchgehend als positiv und zufriedenstellend beschrieben: „Darum war ich sehr froh [...], dass der Körper sich erstmal wieder daran gewöhnen kann“ (IP 2, Abs. 42); „Meinen Körper langsam auf den Arbeitsprozess darauf vorbereiten (IP 6, Abs. 48) [...] Um mich langsam zu steigern. Um wieder die hundert Prozent zu erreichen“ (IP 6, Abs. 16). Es wurden dabei verschiedene Stundenmodelle in Anspruch genommen, von zwei Stunden (IP 3) vier Stunden (IP 2, IP 4, IP 5) bis hin zu sechs Stunden (IP 1). Die Entscheidung für ein Modell werde durch die Länge der Arbeitsunfähigkeit und die Schwere der Erkrankung bedingt:

[...] die Wiedereingliederung nicht so wahrgenommen [...]. Aber ich hatte mich eben halt sehr schnell gut erholt“ (IP 1, Abs. 14) Bei langfristigen körperlichen Schwächungen infolge der Krankheitsgeschichte sei es daher „[...] beispielsweise total anstrengend, auch eben nur die zwei Stunden“ (IP 3, Abs. 61). In einem Fall wurden aber auch negative Erfahrungen geäußert: „[...] ich bin trotzdem voll gegangen mit 6 oder 7 Stunden. Also es wurde halt nicht berücksichtigt“ (IP 5, Abs. 42). Grundlegend wurden die Vorgesetzten aber als verständnis- und rücksichtsvoll sowie hilfsbereit beschrieben: „Die sind da echt sehr entgegenkommend, das muss ich echt sagen“ (IP 3, Abs. 69). Beispielsweise wurde von Besuchen am Krankenbett berichtet, die einen nachhaltig positiven Eindruck hinterlassen hätten (IP 1, Abs. 18). Die Interviews zeigten, dass die einbezogenen Akteure im BEM-Prozess in den meisten Fällen durch die zuständige Heim- und Personalleitung abgebildet wurden, wobei je nach Berufsbild beispielsweise noch die Pflegedienstleitung hinzugezogen wurde. Der Betriebsrat nehme nur in seltensten Fällen am Prozess teil, während eine Schwerbehindertenvertretung bisher nicht existent ist. Letztendlich bedarf es nach den Betroffenen aber nicht immer eines großen Verfahrens mit vielen Beteiligten. In vielen Fällen reiche bereits ein zwangloses Vier-Augen-Gespräch aus: „Einfach da, um die Spannung rauszunehmen“ (IP 7, Abs. 41); „Wenn man eine gute Leitung ist [...]. Da weiß man genau, mit wem kann man wie sprechen“ (IP 9, Abs. 79). Übereinstimmend positiv äußerten sich die IP zu den ärztlichen Akteuren im BEM, insbesondere zur Rolle der Hausärztin oder des Hausarztes. Diese stellten die ersten Ansprechpartnerinnen und -partner im Falle einer Erkrankung dar (IP 6, Abs. 10), informierten Betroffene und würden durch ihre Expertise sinnvolle Maßnahmen vorschlagen (IP 2, Abs. 58; IP 7, Abs. 59). Zudem würden sie in einer Vermittlerrolle zu weiteren innerbetrieblichen und externen Akteuren agieren (IP 1, Abs. 14; IP 3, Abs. 59; IP 6, Abs. 62).

Diskussion

Ergebnisdiskussion

Die Untersuchung konnte ein erhebliches Wissensdefizit der Betroffenen zum BEM offenbaren. Außer bei IP 7 bestanden bei allen IP, inklusive der Pflegedienstleitung, keine Kenntnisse, worum es sich bei einem BEM handelt. Ein IP verwechselte das BEM mit der Einarbeitung bei der Personaleinstellung. Dies deckt sich auch mit anderen Studienergebnissen, nach denen das BEM einem Großteil der Unternehmen noch unbekannt ist und schätzungsweise erst in 25–50 % dieser implementiert wurde (Gebauer et al. 2007; Niehaus et al. 2008). Gerade bei kleineren und mittleren Unternehmen, unter denen sich das Forschungsfeld einordnet, ist das BEM häufig nach wie vor kein bedeutendes Thema (Knoche u. Sochert 2013). Es besteht damit weiterhin ein hoher Informationsbedarf zum BEM. Einerseits liegt das Problem bei den Unternehmen, da diese das BEM auf den ersten Blick mit mehr Bürokratie und Kosten verbinden (Niehaus 2008; Jastrow et al. 2010). Dabei ist die Hebelwirkung zur Kostenreduktion von Langzeiterkrankungen besonders hoch (Prümper et al. 2015). Einer Nutzwertanalyse nach liegt das Return on Investment des BEM bei einem Vielfachen (Fassmann u. Emmert 2010). Darüber hinaus ist eine finanzielle Förderung nach § 167 Abs. 3 SGB IX gesetzlich festgeschrieben. Andererseits muss auf einen Handlungsbedarf seitens der Politik verwiesen werden. Denn die mangelnde Initiative der Unternehmen ist maßgeblich auch auf das beständige Fehlen gesetzlicher Kontroll- und Sanktionierungs-

mechanismen zurückzuführen. Beschäftigte, die von Krankheit nicht betroffen sind, setzen sich zudem ohne die eigene Betroffenheit kaum mit dem Thema Eingliederung im Vorfeld auseinander (Reusch 2012).

Dennoch nehmen Beschäftigte das BEM als hilfreiche Institution zur erfolgreichen Arbeitsplatzrückkehr und Personalentlastung wahr. Für Betroffene trägt eine gelungene Arbeitsplatzrückkehr nicht nur zu einer verbesserten Selbstwahrnehmung bei, sondern stellt einen essenziellen Prozess zur vollständigen Genesung und Neuaufbau des individuellen Lebens dar (Alaszewski et al. 2007; Gilworth et al. 2009). Für sie wird durch das BEM die wohlwollende Einstellung des Betriebs erkannt und damit die Loyalität gestärkt (Sommer 2016). Unternehmen profitieren zudem durch eine generelle Verbesserung des Arbeitsklimas und ein gesteigertes Engagement der Beschäftigten (Knoche u. Sochert 2013).

Beschäftigte erwarten, dass durch das BEM der Arbeitsplatz erhalten werden kann, da ein Ausscheiden aus dem Berufsleben aus vielfältigsten Gründen keine Option darstellt. Vielen Beschäftigten wird durch die Arbeitsunfähigkeit der Wert der Arbeit erst bewusst (Gilworth et al. 2009). Aus Betroffenen­sicht erlangt die Arbeitsplatzrückkehr auch eine besondere Bedeutung dahingehend, dass sie als Indikator für eine Rückkehr zum Normalitätszustand vor der Erkrankung verstanden wird (Alaszewski et al. 2007). Eine Überwindung der Arbeitsunfähigkeit steht groben Pauschalisierungen entgegen, da die spezifischen und zum Teil auch niederschweligen Bedürfnisse der Betroffenen berücksichtigt werden müssen (Greive 2012). Dafür sollten alle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten ausgeschöpft und darüber hinaus auch alternative Wege in Betracht gezogen werden. Bereits in einem Review aus dem Jahre 1998 konnte festgestellt werden, dass Betroffene mit Zugang zu modifizierten Arbeitsbedingungen eine etwa doppelt so hohe Chance besitzen, nach einer Erkrankung die Arbeitsplatzrückkehr erfolgreich zu bestehen, als Beschäftigte, denen solche Möglichkeiten nicht offenstehen (Krause et al. 1998).

Die Anzahl der dem Verfahren hinzugezogenen Akteure sowie der Umfang der einzuleitenden Maßnahmen sind grundsätzlich individuell auf den Einzelfall auszurichten. Zusammenfassend sollte der Zielerreichungsprozess während der Eingliederung durch Offenheit, Ehrlichkeit, Vertrauen, Transparenz, Wertschätzung und Rücksicht geprägt sein. Dies zeigt sich beispielsweise darin, auch dauerhafte Leistungseinschränkungen zu berücksichtigen und zu akzeptieren und damit den Betroffenen eine reelle Chance der Arbeitsplatzrückkehr in Aussicht zu stellen (Liebig 2017). Die Rückkehr an die alte Arbeitsstätte sollte als Teilprozess des Rehabilitationsverlaufs verstanden werden (Gilworth et al. 2009).

Im Schwerpunkt der Probleme, die infolge einer Arbeitsunfähigkeit verursacht werden, stehen bei betroffenen Beschäftigten die finanziellen Einbußen. In den Interviews wurde hier das als unzureichend empfundene Krankengeld angeführt. Die Aufnahme von Schulden oder Verpfändungen stellt für Betroffene keine Seltenheit dar (Sommer 2016). Zudem konnte in Erfahrung gebracht werden, dass durch Geldmangel Abhängigkeitsverhältnisse entstehen können. Ein potenzieller Einkommensverlust motiviert Betroffene daher besonders zu einer raschen Arbeitsplatzrückkehr (Alaszewski et al. 2007). In der Konsequenz ist jedoch auch der Umstand zu diskutieren, dass potenzielle Einkommenseinbußen für betroffene Beschäftigte ein Hinderungsgrund für die Bereitschaft zur Zustimmung und Teilnahme an BEM-Maßnahmen darstellen können (Niehaus et al. 2008). In diesem

Fall besteht die Gefahr, dass Betroffene lieber sofort wieder voll in den Beruf einsteigen, mit dem Risiko, schneller erneut arbeitsunfähig zu werden. Dieser Einwand steht jedoch zumindest im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen. Zum einen wurden neben dem Geld vielfältige Motivatoren für die Arbeitsplatzrückkehr beschrieben, wie beispielsweise die Teamarbeit im Kollegenkreis oder der Spaß an der Arbeit. Zum anderen wurde seitens der Betroffenen dargelegt, dass auf eine schrittweise Heranführung an die volle Belastungs- und Leistungsfähigkeit Wert gelegt wird. Dies kann anhand der stufenweisen Wiedereingliederung idealtypisch umgesetzt werden. Belegt werden kann dies daran, dass in den verschiedenen Fällen von zwei Stunden (IP 3) vier Stunden (IP 2, IP 4, IP 5) bis hin zu sechs Stunden (IP 1) berichtet werden konnte. Folglich wurde diese Eingliederungsmaßnahme als durchweg positiv von den Betroffenen aufgenommen. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen von Niehaus et al. (2008). Demnach erfährt die stufenweise Wiedereingliederung von Beschäftigten die höchste Zustimmung aller Maßnahmen. Folglich wird diese auch von Unternehmen am häufigsten angeboten. Ein weiterer Grund für den hohen Stellenwert dieser Maßnahme kann darin liegen, dass sie im Rahmen der beruflichen Rehabilitation erfolgt und somit die Krankenkasse die Kosten trägt (Niehaus et al. 2008).

In Hinblick auf die Beteiligten während der Eingliederung äußerten sich die Betroffenen herausragend positiv zu den ärztlichen Akteuren, insbesondere der Hausärztin oder dem Hausarzt. In einer aktuellen Studie konnte gezeigt werden, dass die ärztliche Meinung über die Fähigkeiten („ability“ – „can do“) und die Willenskraft („volition“ – „wanting to do“) der Betroffenen deren Wahrnehmung über die mögliche Arbeitsplatzrückkehr beeinflussen kann. Werden beide Faktoren von den ärztlichen Fachleuten explizit angesprochen und gefördert, dann kann die Rückkehrzeit signifikant verkürzt werden (Claréus u. Renström 2019). Ärztinnen und Ärzte können positive Erwartungen bei den Betroffenen fördern, indem sie mögliche Barrieren im Rehabilitationsprozess erkennen und ansprechen (Cole et al. 2002).

Als eine zentrale Erkenntnis konnte der Einfluss des Kollegenkreises identifiziert werden. Diesem obliegt nach Meinung der Befragten eine hohe Verantwortung hinsichtlich Einarbeitung, Vorbereitung und Heranführung an die Tätigkeiten. Zusammenfassend wünschen sich Beschäftigte von ihren Kollegenumfeld Akzeptanz, Integration und Nachsicht. Dass ein solches Verständnis nicht immer gegeben ist, konnte durch die Ergebnisse der Untersuchung gezeigt werden. Wurde zum einen häufig von Rücksicht und Unterstützung berichtet, wurde auf der anderen Seite aber auch Unverständnis, Vorurteile und in einem bestimmten Ausmaß sogar Mobbing empfunden. Die Forschung bestätigt, dass die Wahrnehmung von Betroffenen in Bezug auf das Verständnis ihres direkten Arbeitsumfelds, besonders von Kollegenkreis und Vorgesetzten, eine große Rolle bei der Eingliederung spielt. Werden seitens des Arbeitsumfelds Probleme und Schwierigkeiten der Betroffenen verstanden sowie auch aktiv Lösungen gesucht, um diese zu verbessern, dann fällt es den betroffenen Personen leichter, Selbstbewusstsein aufzubauen und sich Widerständen entgegenzusetzen (Alaszewski et al. 2007). Auch das Gefühl, auf der Arbeit willkommen zu sein, ist für Beschäftigte ein signifikanter Prädiktor der Arbeitsplatzrückkehr (Heijbel et al. 2006). Ein unterstützendes, soziales Arbeitsumfeld erhöht die Wahrscheinlichkeit, eine Eingliederung erfolgreich zu gestalten (Wang et al. 2014). Kolleginnen und Kollegen wirken im Eingliederungsprozess somit es-

senziell auf das emotionale Belastungsgefüge ein. Beschäftigte, die keine Unterstützung verspüren, haben es demnach schwerer bei der Arbeitsplatzrückkehr. Für ein funktionierendes BEM sollte ebenso die Beziehung zwischen Unternehmen und Beschäftigtem durch eine Vertrauenskultur geprägt sein. Misstrauen ist hingegen ein grundlegender Hemmfaktor, der vor allem durch Angst vor Arbeitsplatzverlust, eine angespannte betriebliche Lage und Gleichsetzung von Krankenrückkehrgesprächen mit dem BEM entsteht und verstärkt wird (Zumbeck et al. 2017). Fehlendes Vertrauen mindert die Bereitschaft von Betroffenen zur Betreuung, wodurch Vertrauensschaffung an erster Stelle des BEM stehen sollte (Knoche u. Sochert 2013). Zwei IP brachten diesbezüglich das „Vier-Augen-Prinzip“ als vertrauensbildende Maßnahme ein. Für diese Aufgabe müssen Führungskräfte sensibilisiert werden (Prümper et al. 2015).

Weitere Erwartungen adressierten die BGF, da diese nach Meinung der Betroffenen mit hohen Verbesserungspotenzialen verbunden ist. Nicht nur im Sinne der Prävention, sondern bereits während der Eingliederung könnten so Beschäftigte bei der Arbeitsplatzrückkehr unterstützt werden. Dies wird auch durch Ergebnisse der „EIBE“-Studie gestützt, nach denen Beschäftigte im Rahmen des BEM häufig gesundheitsfördernde Maßnahmen erwarten (Eggerer u. Kaiser 2007). Im Hinblick auf die bereits bestehende Fehlzeitenproblematik und der infolge der demografischen Entwicklung zunehmenden Herausforderungen ist auf langfristige Sicht ebenso die Bündelung der Maßnahmen im Rahmen des BGM anzuraten. Darüber hinaus ist ein bestehendes BGM als grundlegender Förderfaktor des BEM zu verstehen, da auf gleiche Ressourcen und Zielsetzungen zurückgegriffen wird und Synergiefaktoren entstehen (Zumbeck et al. 2017). Um den Zusammenhalt zwischen den Beschäftigten (Kollegialität) und das Betriebsklima zu fördern, rücken in diesem Kontext auch Teambuilding-Maßnahmen in den Fokus.

Methodenkritik

Eine zielgerichtete Auswahl der an der Untersuchung teilnehmenden Personen und die geringe Fallzahl bedingen eine intensive Reflexion des Sampling-Prozesses (Misoch 2015). Unter Anwendung der GTM war vorteilhaft, dass das Sample nicht sofort zu Beginn, sondern im Verlauf der Untersuchung erfolgte und somit bei Bedarf noch weitere Personen befragt werden konnten (Przybowski u. Wohrab-Sahr 2014). Kritisch anzumerken ist hierbei die Einflussnahme der Schlüsselpersonen der Einrichtung, die den Zugang zu den Befragungspersonen hergestellt haben (Gatekeeper-Funktion), da hier im Sinne einer Verzerrung oder gar Manipulation in Richtung zufriedener oder wenig kritischer IP erfolgt sein könnte. Diese Rekrutierungsmethode ist ebenso für die Wahrung der Anonymität kritisch anzusehen. Trotz des Einflusses konnte im Hinblick auf Berufsgruppe, Alter und Geschlecht eine möglichst heterogene Datenbasis zusammengestellt und damit ein inhaltlich repräsentatives Sample geschaffen werden.

Die Datenauswertung erfolgte nicht anhand der GTM, sondern anhand der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring. Zusätzlich kam die Analysesoftware MAXQDA zum Einsatz, wodurch eine hohe Effizienz bei der Datenorganisation und -verarbeitung erreicht und der Auswertungsprozess systematisch, transparent und regelgeleitet gestaltet werden konnte (Kelle 2015). Dennoch erwies sich eine der in Anzahl und Umfang adäquate Kategorienbildung als schwierig. Es wurde deutlich, dass sowohl eine induktiv als auch deduktiv

gewichtete Analyse eine stetige (Rück-)Überprüfung des Materials verlangen, wodurch dieser Schritt der Datenverarbeitung ein besonders intensiver Prozess wurde. Die Zuordnung des Materials zu den jeweiligen Kategorien erfolgte durch lediglich eine Person. In Hinblick auf eine höhere Validität hätte die Zuordnung durch mehrere Personen erfolgen müssen. Dazu hätte auch das Interrater Agreement berechnet werden können.

Im Sinne der GTM wurde zur Beantwortung der Forschungsfrage eine Datensättigung angestrebt und erreicht. Jedoch wäre eine weitere Spezifizierung der Forschungsfrage, Ausweitung des Forschungsfelds und Modifizierung der Samplingstrategie für den Erkenntnisprozess zu diskutieren. Denn neben der Sättigung der Daten in den Kategorien kamen auch immer wieder neue und unerwartete Impulse, wie beispielsweise das Thema der Aussteuerung, auf.

Hinsichtlich der erhaltenen Ergebnisse sind Verzerrungseffekte im Sinne der sozialen Erwünschtheit zu vermuten, da die Interviewinhalte sensible Themen wie Krankheit und Arbeitsunfähigkeit behandelten und diese in Relation zum Unternehmen stellten. Demnach könnten sich die Befragten deutlich positiver zu ihrer Eingliederungssituation geäußert sowie Probleme und Konflikte verschwiegen haben. Um dem möglichst entgegenzuwirken, wurde den Befragten im Vorfeld Ziel und Methodik der Untersuchung erläutert sowie ein verantwortungsvoller und vertraulicher Umgang mit den Daten zugesichert (Misoch 2015).

Fazit und Ausblick

Für Betroffene hat Arbeit eine essenzielle Bedeutung. Beschäftigte erwarten daher, dass durch das BEM der Arbeitsplatz erhalten werden kann. Die Rückkehr an den Arbeitsplatz sollte schrittweise und individuell erfolgen, sodass Betroffene behutsam an die Arbeitsbelastungen herangeführt werden und sich an diese langsam wieder anpassen können. Im Rahmen der stufenweisen Wiedereingliederung kann dies optimal umgesetzt werden, weswegen diese Maßnahme von Betroffenen favorisiert wird. Von den Arbeitskolleginnen und -kollegen wird bei der Arbeitsplatzrückkehr Rück- und Nachsicht erwartet. Weiterhin erwarten Betroffene von ihrem beruflichen Umfeld Akzeptanz und Integration bei der Einarbeitung in den Berufsalltag. Der Kollegenkreis kann somit auch als ein Schlüsselfaktor für den Erfolg von Eingliederungsmaßnahmen angesehen werden. Für die praktische Umsetzung des BEM bedeutet dies, dass der Betrieb die Relevanz des kollegialen Umfelds für die Eingliederung erkennen muss und diese daher aktiv in den Prozess einbeziehen sollte. Weiterhin sind Teambuilding-Maßnahmen vorzuschlagen. Führungskräfte und Vorgesetzte sollten als Vertrauenspersonen fungieren. Auch die ärztlichen Akteure besitzen für Betroffene bei der Eingliederung einen hohen Stellenwert. Darüber hinaus erwarten Beschäftigte verstärkt Maßnahmen im Bereich der BGF. Diese können in einer Eingliederung aufgenommen werden, um bereits vor und während der Rückkehr Betroffene zu unterstützen. Die Untersuchung konnte zeigen, dass das BEM kaum einem Beschäftigten bekannt war. Daher muss zuletzt auch auf die Eigenverantwortung des Einzelnen appelliert werden, die Eingliederung nicht als Selbstläufer zu verstehen, sondern sich aktiv mit seinen Rechten und Möglichkeiten bei Erkrankung und Arbeitsplatzrückkehr auseinanderzusetzen. In Hinblick auf den geringen Verbreitungsgrad des BEM ist auf Hand-

lungsbedarf seitens der Politik zu verweisen, Kontroll- und Sanktionierungsmechanismen zu implementieren.

Interessenkonflikt: Die Autorenschaft gibt an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Ethische Standards: Hiermit erklärt die Autorenschaft, dass die Untersuchung von der Institutsleitung der zugehörigen Untersuchungseinrichtung zugelassen wurde. Alle an der Studie teilnehmenden Personen wurden vor der Teilnahme an der Untersuchung über Zweck und Ziele unterrichtet und gaben ihre informierte Einwilligung zur Teilnahme an der Studie. Einzelheiten, die die Identitäten der Teilnehmenden preisgeben könnten, wurden vollständig entfernt.

Literatur

- Abeler J: Sucht unter Pflegekräften. In: Badura B, Ducki A, Schröder H, Klose J, Meyer M (Hrsg.): *Fehlzeiten-Report 2013*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013.
- Alaszewski A, Alaszewski H, Potter J, Penhale B: *Working after a stroke. Disability and Rehabilitation* 2007; 24: 1858–1869.
- Berner F: *Grundlagen des betrieblichen Eingliederungsmanagements*. 1. Aufl. Hamburg: IGEL Verlag, 2008.
- Beyer C, Wallmann P, Wieland C: *Handlungsempfehlungen zum Betrieblichen Eingliederungsmanagement*. 5. Aufl. Münster: Landwirtschaftsverlag, 2015.
- Bogner A, Littig B, Menz W: *Interviews mit Experten*. Wiesbaden: Springer, 2014.
- Brenke K: *Erwerbstätige im Rentenalter. DIW Wochenbericht* 2013; 6: 3–11.
- Brouwer S, Reneman MF, Bültmann U, van der Klink JJJ, Groothoff JW: *A prospective study of return to work across health conditions: perceived work attitude, self-efficacy and perceived social support*. *J Occup Rehab* 2010; 20: 104–112.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales: *Betriebliches Eingliederungsmanagement*. <http://www.bmas.de/DE/Themen/Arbeitsschutz/Gesundheit-am-Arbeitsplatz/betriebliches-eingliederungsmanagement.html> (zuletzt abgerufen am 17.07.2019).
- Clarés B, Renström EA: *Patients' return-to-work expectancy relates to their beliefs about their physician's opinion regarding return to work volition and ability*. *J Pain Res* 2019; 12: 353–362.
- Cole DC, Mondloch MV, Hogg-Johnson S: *Listening to injured workers: how recovery expectations predict outcomes – a prospective study*. *Can Med Assoc J* 2002; 166: 749–754.
- Dachverband der Betriebskrankenkassen: *Krankenstand in Deutschland: Arbeitnehmer fallen länger aus*. 2018. <https://www.fwd.de/artikel/krankenstand-in-deutschland-arbeitnehmer-fallen-laenger-aus-377618/> (zuletzt abgerufen am 17.07.2019).
- Eggerer R, Kaiser H: *EIBE – Entwicklung und Integration eines Betrieblichen Eingliederungsmanagements – Bericht zur Umsetzung des Projekts EIBE*. Nürnberg, München, 2007.
- Faßmann H, Emmert M: *Betriebliches Eingliederungsmanagement*. Nürnberg, 2010.
- Franche R-L, Krause N: *Readiness for return to work following injury or illness: conceptualizing the interpersonal impact of health care, workplace, and insurance factors*. *J Occup Rehab* 2002; 4: 233–256.
- Garloff A, Pohl C, Schanne N: *Demographischer Wandel der letzten 20 Jahre*. Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) der Bundesagentur für Arbeit 2012; 10: 1–7.
- Gebauer E, Hesse B, Heuer J: *Kooperation Rehabilitation und Betrieb – KoRB*. Münster: Institut für Rehabilitationsforschung Norderney, 2007.
- Giesert M, Reuter T, Reiter D: *Neue Wege im Betrieblichen Eingliederungsmanagement*. Düsseldorf: DGB Bildungswerk e.V., 2013.
- Gilworth G, Phil M, Cert AD, Sansam KAJ, Kent RM: *Personal experiences of returning to work following stroke*. IOS Press 2009; 34: 95–103.
- Greiwe A: *Betriebliches Eingliederungsmanagement*. Universität Osnabrück, 2012.
- Heijbel B, Josephson M, Jensen I, Stark S, Vingard E: *Return to work expectation predicts work in chronic musculoskeletal and behavioral health disorders: Prospective study with clinical implications*. *J Occup Rehab* 2006; 16: 173–184.
- Jastrow B, Kaiser H, Emmert M: *Betriebliches Eingliederungsmanagement*. In: Esslinger AS, Emmert M, Schöffski O (Hrsg.): *Betriebliches Gesundheitsmanagement*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2010.
- Kelle U: *Computergestützte Analyse qualitativer Daten*. In: Flick U, von Kardorff E, Steinke I (Hrsg.): *Qualitative Forschung*. 11. Aufl. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, 2015.
- Knoche K, Sochert R: *BEM in Deutschland*. In: Knoche K, Sochert R (Hrsg.): *Betriebliches Eingliederungsmanagement in Deutschland – eine Bestandsaufnahme*. 1. Aufl. Berlin: AOK Bundesverband, BKK Bundesverband, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Verband der Ersatzkassen e.V. (vdek) 2013.
- Krause N, Dasinger LK, Neuhauser F: *Modified work and return to work: a review of the literature*. *J Occup Rehab* 1998; 2: 113–139.
- Kuckartz U: *Qualitative Inhaltsanalyse*. 2. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz Juventa, 2014.
- Lamnek S: *Qualitative Sozialforschung*. 6. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz, 2016.
- Liebig R: *Betriebliches Eingliederungsmanagement (BEM) als unverzichtbares Führungselement der Unternehmensführung*. Krefeld: Outokumpu Nirosta, 2017.
- Matthäi I, Morschhäuser M: *Länger arbeiten in gesunden Organisationen*. 1. Aufl. Saarbrücken: Institut für Sozialforschung und Sozialwirtschaft e.V., 2009.
- Mayring P: *Qualitative Inhaltsanalyse*. 10. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2008.
- Misoch S: *Qualitative Interviews*. 1. Aufl. Berlin: De Gruyter Oldenbourg, 2015.
- Niehaus M, Magin J, Marfels B, Vater G, Werkstetter E: *Betriebliches Eingliederungsmanagement*. Universität zu Köln, 2008.
- Nielsen MBD, Madsen IEH, Bültmann U, Christensen U, Diderichsen F, Rugulies R: *Predictors of return to work in employees sick-listed with mental health problems: findings from a longitudinal study*. *Eur J Public Health* 2010; 6: 806–811.
- Ozegovic D, Carroll LJ, Cassidy JD: *What influences return to work expectation?* *Spine* 2010; 15: E708–E713.
- Polit DF, Beck CT, Hungler BP: *Lehrbuch Pflegeforschung*. 1. Aufl. Bern: Hans Huber, 2004.
- Prümper J, Reuter T, Jungkuz C: *Betriebliche Wiedereingliederung von Langzeiterkrankten in Deutschland und Österreich. Prävention und Gesundheitsförderung* 2015; 4: 300–307.
- Przyborski A, Wohlrab-Sahr M: *Qualitative Sozialforschung*. 4. Aufl. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2014.
- Reichert J, Wilz S: *Welche Erkenntnistheorie liegt der GT zugrunde?* In: Equit C, Hohage C (Hrsg.): *Handbuch Grounded Theory*. 1. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz Juventa, 2016.
- Riechert I, Habib E: *Betriebliches Eingliederungsmanagement bei Mitarbeitern mit psychischen Störungen*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017.
- Sampere M, Gimeno D, Serra C, Piana M, López JC, Martínez JM, Delclos GL, Benavides FG: *Return to work expectations of workers on long-term non-work-related sick leave*. *J Occup Rehab* 2012; 1: 15–26.
- Saß AC, Wurm S, Ziese T: *Alter = Krankheit?* In: Böhm K, Tesch-Römer C, Ziese T (Hrsg.): *Gesundheit und Krankheit im Alter*. Berlin: Robert Koch-Institut, 2009.
- Schmitt B: *Gestaltung und Durchführung des BEM*. 1. Aufl. München: C.H. Beck, 2014.
- Seel H: *Betriebliches Eingliederungsmanagement*. In: Faller G (Hrsg.): *Lehrbuch betriebliche Gesundheitsförderung*. 3. Aufl. Bern: Hogrefe, 2017.
- Sommer D: *Eingliederung statt Ausgliederung – Evaluation des betrieblichen Eingliederungsmanagements im Krankenhaus*. München: GRIN Verlag, 2016.
- Statistisches Bundesamt: *Statistisches Jahrbuch 2016*. Wiesbaden, 2016.
- Wang YC, Kapellusch J, Garg A: *Important factors influencing the return to work after stroke*. IOS Press 2014; 47: 553–559.
- Zumbeck C, Stegmann C, Becker A: *Unterstützende Ressourcen für das Betriebliche Eingliederungsmanagement (BEM)*. Hamburg: DGB-Bildungswerk e.V., 2017.

Für die Autorenschaft

Maximilian Opelt

Masterstudent an der Fakultät Gesundheits- und Pflegewissenschaften an der Westsächsische Hochschule Zwickau Dorfstraße 17 04626 Nöbdenitz Maximilian.Opelt.ecw@fh-zwickau.de

Relevanz von Humanstudien für die Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten

DFG-Senatskommission positioniert sich

Die Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) weist in einem jetzt vorliegenden Positionspapier auf die besondere Bedeutung von Probandenstudien für die Sicherstellung des Gesundheitsschutzes am Arbeitsplatz hin. Das Risikopotenzial eines Stoffes wird auf der Grundlage aller verfügbaren Erkenntnisse zu einem Stoff systematisch und wiederkehrend zusammengetragen und durch die Kommission in Form von Empfehlungen für mögliche Grenzwertableitungen veröffentlicht. Die Kommission greift hierbei auf veröffentlichte und unveröffentlichte, dann aber vollständig dokumentierte und zugängliche Daten aus In-vitro-Modellen, Zell- und Gewebekulturen, Tiermodellen oder In-silico-Ansätzen zurück. Jeder dieser Ansätze trägt wesentlich zum Gesamtbild bei, ist aber jeweils nur mit Einschränkungen auf die komplexe Situation am Arbeitsplatz übertragbar. Um das von arbeitsstoffrelevanten Chemikalien ausgehende Risiko für die arbeitende Bevölkerung und auch darüber hinaus umfassend beurteilen zu können, sind Studien an gesunden Pro-

bandinnen und Probanden häufig die einzige Möglichkeit, um das Risikopotenzial eines Stoffes vollumfänglich beurteilen zu können.

Im vorliegenden Positionspapier erläutert die Senatskommission die erforderlichen Schritte zur Risikobewertung von Arbeitsstoffen und in diesem Zusammenhang die besondere Relevanz von Probandenstudien. Als Voraussetzung für die Durchführung dieser Studien gelten besonders hohe ethische Anforderungen. Um die Ergebnisse später möglichst umfassend für die Ableitung von Grenzwerten nutzen zu können, müssen Planung und Dokumentation der Studien darüber hinaus besonderen qualitativen Anforderungen genügen. Mit der Positionierung verdeutlicht die Kommission, auf welche Weise die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Toxikologie und Arbeitsmedizin sicherstellen, dass eine Risikoabschätzung des gesundheitsgefährdenden Potenzials von Substanzen auch weiterhin auf einer Daten- und Faktenlage erfolgt, die einen verlässlichen Schutz am Arbeitsplatz gewährleistet.

AUSZUG AUS DEM POSITIONSPAPIER:

Hintergrund der Entstehung von Arbeitsplatzgrenzwerten

Grenzwerte für Gefahrstoffe am Arbeitsplatz sollen Arbeitnehmer vor gesundheitsschädlichen Effekten während ihres gesamten Arbeitslebens schützen. Daher haben Erkenntnisse, die aus wissenschaftlichen Forschungsergebnissen beim Menschen abgeleitet werden, die höchste Aussagekraft.

Aufgrund fehlender zuverlässiger Informationen zur gesundheitlichen Wirkung von Gefahrstoffen beim Menschen werden für die Festlegung von Grenzwerten überwiegend tierexperimentelle Daten herangezogen. Bei der Übertragung von Ergebnissen aus Tierexperimenten benutzt man Allometrie- (d.h. Skalierungsfaktoren für Unterschiede zwischen Spezies) und – je nach Datenlage – Extrapolationsfaktoren, um so der Situation des arbeitenden Menschen gerecht zu werden und die Sicherheit am Arbeitsplatz zu gewährleisten.

Mehr Sicherheit bei der Ableitung von Grenzwerten gewinnt man durch wissenschaftliche Erkenntnisse beim Menschen, seien es einerseits epidemiologische Studien oder andererseits experimentelle Studien mit Probanden im Expositionslabor. Im Grundprinzip geht es darum, die grenzwertrelevanten Konzentrationen zu identifizieren, bei denen nachteilige Wirkungen auf den Menschen vermieden werden.

Solche Probandenstudien zur toxikologischen Bewertung von Arbeitsstoffen sind insbesondere im Kontext kontroverser öffentlicher Diskussionen um Grenzwerte von Luftschadstoffen in der Außenluft in die Kritik geraten. Derartige Studien sind allerdings von herausragender Bedeutung für die Ableitung von wissenschaftlich basierten Arbeitsplatzgrenzwerten für Gefahrstoffe mit akuten Effekten.

Probandenstudien zur Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten unterscheiden sich deutlich von Probandenstudien zur Untersuchung von Medika-

mentenwirkungen: Während Letztere in einem wirksamen Dosisbereich agieren müssen, um gewünschte Wirkungen sowie Nebenwirkungen zu erfassen, untersuchen Beobachtungsstudien am Arbeitsplatz und Expositionsstudien mit Probanden mögliche gesundheitliche Effekte nach definierten Gefahrstoff-Expositionen beim Menschen mit sehr empfindlichen, frühen und reversiblen Indikatoren. So kann eine Gefahrstoffkonzentration bestimmt werden, bei der keiner dieser so genannten adversen Effekte bei Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern zu erwarten ist.

[...]

Das vollständige Positionspapier finden Sie unter:



www.dfg.de/dfg_profil/gremien/senat/arbeitsstoffe/stellungnahmen

Weitere Informationen über die Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG:



www.dfg.de/dfg_profil/gremien/senat/arbeitsstoff

DGAUM

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR
ARBEITSMEDIZIN UND UMWELTMEDIZIN

DIE DGAUM INFORMIERT

Intensive politische Interessenvertretung: TSVG, DVG, Masernschutzgesetz, BK-Recht, ArbMedVV

Position beziehen für die Arbeits- und Betriebsmedizin

Das Jahr 2019 war gekennzeichnet durch vielfältige Erfordernisse in einer intensiven Interessenvertretung und einem damit verbundenen Lobbying in Richtung von Ministerien und anderen Institutionen beziehungsweise Organisationen im politischen Raum. Allein das Bundesgesundheitsministerium (BMG) trieb drei große Gesetzesvorhaben voran, zu denen die DGAUM Stellungnahmen abgegeben musste. Darüber hinaus vertraten die Vertreter der Fachgesellschaft in Anhörungen, etwa vor dem Ausschuss

für Gesundheit des Deutschen Bundestages, das Fachgebiet Arbeitsmedizin und die betriebsärztlichen Interessen offensiv: Terminservice- und Versorgungsgesetz (TSVG), Digitales Versorgungs-Gesetz (DVG) und Masernschutzgesetz sind hier die wichtigsten Schlagworte. Die Komplexität der Dinge ist an dieser Stelle kaum im Einzelnen wiederzugeben. Deshalb dürfen wir hier auf unsere schriftlichen Stellungnahmen verweisen, die alle online publiziert sind unter: www.dgaum.de/kommunikation/stellungnahmen/

mit einem klar definierten Versorgungsauftrag im Gesetzbuch der gesetzlichen Krankenversicherung (SGBV) zu stärken, weit über das Thema Schutzimpfungen am Arbeitsplatz durch Betriebsärztinnen und -ärzte oder Gesundheitsuntersuchungen zu Lasten der GKV hinaus. Wer Prävention innovativ denken und in der Praxis erfolgreich umsetzen will, der darf sich heute nicht mehr allein auf die nach wie vor wichtigen Kernaufgaben im „klassischen“ Arbeitsschutz beschränken. Mehr denn je sind die Schnittstellen wichtig, um die Maßnahmen in der betrieblichen Prävention und Gesundheitsförderung für die sich rasch verändernden Arbeitswelten immer wieder neu anzupassen. Politische Interessenvertretung beinhaltet, immer wieder komplexe Sachzusammenhänge auf Kernbotschaften zu reduzieren. Insofern ist es ein Erfolg, dass die DGAUM Ende Oktober zum Start der Influenza-Impfkampagne Bundesminister Spahn für einen öffentlichen Impftermin am Arbeitsplatz gewinnen konnte. Beim Presse-termin am 29.10.2019 im Berliner Zustellzentrum von DPDHL lautete die Botschaft: Die Betriebsärztinnen und Betriebsärzte sind als wichtige Akteure in der Versorgung der Versicherten auch zu Lasten der GKV angekommen und leisten ihren Beitrag bei der Impfprävention!

Insbesondere die zweite Stellungnahme der DGAUM vom 22.10.2019 zum Masernschutzgesetz ist offizielle Drucksache des Bundestags geworden und war Grundlage in der öffentlichen Anhörung im Gesundheitsausschuss der Volksvertretung.

Ein wesentliches Ziel unseres Engagements im Kontext der Beziehungsarbeit etwa zum BMG und zum BMAS ist es, die Stellung der Betriebsmedizin als Präventionsmedizin



22.10.2019: Die DGAUM in der öffentlichen Anhörung im Gesundheitsausschuss des Bundestages

Begleitet wurde dieses Lobbying durch weitere Termine unter anderem im Sächsischen Staatsministerium für Soziales und Verbraucherschutz, bei der Bundesärztekammer, beim Spitzenverband Bund der Krankenkassen (GKV-SV), dem Dachverband der Betrieblichen Krankenkassen oder bei der Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (BDA) sowie bei der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV).

Auch gegenüber dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) hat sich die DGAUM mit zwei Stellungnahmen positioniert: Einmal zur Änderung der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (Arb-MedVV) sowie weiterhin zur geplanten Reform des Berufskrankheitenrechts. **Die Stel-**

lungnahmen der DGAUM machen nochmals klar, dass ärztliche Kompetenzen sowohl im Arbeitsschutz als auch im Feld der betrieblichen Prävention und Gesundheitsförderung unverzichtbar sind. Dies umso mehr, als bereits im Jahr 2018 der 121. Deutsche Ärztetag mit seinen Beschlussfassungen „**Ärztliche Kompetenzen im Arbeitsschutz zwingend erhalten**“ sowie „**Keine Substitution ärztlicher Tätigkeiten im Betrieb durch Nichtärzte**“ bereits ein starkes Signal gesetzt hatte, um die ärztlichen Kompetenzen und Tätigkeiten in der betrieblichen Prävention und Gesundheitsförderung zu stärken.

Dr. phil Thomas Nessler
Hauptgeschäftsführer DGAUM



Foto: DGAUM

29.10.2019: Bundesminister Jens Spahn lässt sich am Arbeitsplatz bei der DPDHL impfen

Impfen im Betrieb mit DGAUM-Selekt

DGAUM schließt weitere bundesweite Verträge zur Regelung von Impfungen durch Betriebsärztinnen und -ärzte

Vor gut einem Jahr, zum 1. Januar 2019, sind mit der BARMER und der BAHN-BKK die ersten beiden bundesweiten Selektivverträge zur Regelung von Schutzimpfungen durch Betriebsärztinnen und -ärzte in Kraft getreten. Zwischenzeitlich sind weitere Kassen hinzugekommen: **Neben der „BIG direkt gesund“ als erste Kasse aus dem Umfeld der Innungskrankenkassen waren dies die BKKen Firmus, Linde, Melitta plus und Technoform.** Ein Vertragsabschluss mit der pronova BKK steht unmittelbar bevor. Die Vertragsverhandlungen und die Umsetzung der Verträge im Abrechnungsverfahren zeigten uns sehr rasch, dass mit dem Präventionsgesetz zwar eine gute Idee im Raum steht, aber deren Realisierung nur zu oft an den Alltagsbedingungen Grenzen findet. Obwohl bereits heute mit § 132 SGB V ein Kontrahierungsgebot besteht und damit Verträge mit den Betriebsärztinnen und -ärzten zur Regelung von Schutzimpfungen am Arbeitsplatz abzuschließen sind, wurde diese Rechtstatsache von mehr als nur einem Kassenvertreter in Frage gestellt und ein Vertragsabschluss mit der DGAUM abgelehnt, darunter etwa die Techniker Krankenkasse (TK) oder die DAK. **Allein vor diesem Hintergrund ist es als großer Erfolg zu bewerten,**



Foto: miss_mafalda

dass mit dem Masernschutzgesetz, das zum 01.03.2020 in Kraft treten wird, der Vorschlag der DGAUM aufgegriffen wurde und aus dem bisherigen Kontrahierungsgebot ein Kontrahierungszwang wird. Bereits heute merken wir, dass die Botschaft auch bei jenen Kassen angekommen ist, die bisher noch keine Impfverträge abschließen wollten, etwa aus dem AOK-Umfeld. Es kommt Bewegung in Feld. Hartnäckigkeit lohnt sich!

Zudem konnten wir erreichen, dass die Stellung der DGAUM als Managementgesellschaft zum Abschluss von Verträgen mit den Unternehmen der GKV eindeutig geklärt wurde. **Der Vorteil davon ist, dass auch die Versicherten davon profitieren:** Die bisher notwendige, umständliche Einschreibung der Versicherten kann zukünftig definitiv entfallen.

Darüber hinaus haben wir die Möglichkeit geschaffen, dass ebenfalls die arbeitsmedizinischen Dienste sich rechtssicher bei **DGAUM-Selekt einschreiben können und nicht nur selbständige Betriebsärztinnen und -ärzte.** Seit Anfang des Jahres ist die Teilnahmeerklärung für innerbetriebliche bzw. überbetriebliche arbeitsmedizinischen Dienste online verfügbar unter: www.dgaum.de/themen/impfungen-durch-betriebsaerzte/

Dr. phil Thomas Nessler

Veranstaltungshinweise

Freitag, 13.03.2020
13:30 bis 15:30 Uhr

Symposium „Impfprävention in Deutschland: Die Debatte um das Masernschutzgesetz und die Durchimpfungsraten in der Bevölkerung“

Samstag, 14.03.2020
9:00 bis 12:00 Uhr

Seminar S3: „Reisemedizin und Impfen im Betrieb“

Weitere Informationen unter:
www.dgaum.de/termine/jahrestagung

60. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGAUM

11. bis 14. März 2020 in München

Programm-Highlights

Mittwoch, 11. März 2020

Eröffnungsveranstaltung

- Preisverleihungen: Franz-Koelsch-Medaille, Joseph-Rutenfranz-Medaille, Innovationspreis, ASU-Best-Paper-Award
- Festvortrag: Dr. Thomas Steffen, Staatssekretär des Bundesministeriums für Gesundheit

Themenschwerpunkt Symposium Arbeitsmedizin in Deutschland, Österreich und der Schweiz

Arbeitsmedizinisches Kolloquium der DGUV zum Thema „Berufsdermatologie“

Foren der Arbeitsgruppen Arbeitsphysiologie, Atemwege und Lunge, Lehre

Nachwuchssymposium der DGAUM mit Auszeichnung der drei besten Poster

Mitgliederversammlung der DGAUM

Get-Together der DGAUM

Donnerstag, 12. März 2020

Themenschwerpunkt Kanzerogene Stoffe

Symposium der BAuA zum Thema „Bioaerosole – von der Messung zur Bewertung“

Vorträge: Psychische Belastung und Beanspruchung, Gefährdung am Arbeitsplatz Krankenhaus, Maritime Medizin, Lunge, Gefahrstoffe (Metalle), Umwelt, Gefahrstoffe: PAK, Weichmacher und PCB

Foren der Arbeitsgruppen Epidemiologie, Gefahrstoffe, Psychische Gesundheit bei der Arbeit

Posterdiskussion: Biomonitoring, Haut und andere Epithelien, Infektionen, Belastung und Beanspruchung in verschiedenen Berufen, Belastung und Beanspruchung im Rettungsdienst

Nachwuchssymposium für Studierende (Aktionsbündnis Arbeitsmedizin)

Gesellschaftsabend der DGAUM im Paulaner Brauhaus (kostenpflichtig, Anmeldung erforderlich)

Freitag, 13. März 2020

Themenschwerpunkt Symposium BARMER/DGAUM zum Thema „5 Jahre Präventionsgesetz“

Symposium DGAUM/BARMER zum Thema „Impfprävention in Deutschland: Die Debatte um das Masernschutzgesetz und die Durchimpfungsraten in der Bevölkerung“

Arbeitsmedizinisches Forum der Österreichischen Gesellschaft für Arbeitsmedizin (ÖGA)

Workshop „Ultrafeine Partikel“: Öffentliche und kostenfreie Veranstaltung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz

Vorträge: Gesundheitsförderung und Prävention im Studium, Herausforderungen der Digitalisierung, Leitmerkalmethode, Haut, Ergonomie, Lehrergesundheit, BGM, Arbeitsorganisatorische Maßnahmen

Forum der Arbeitsgruppe Next Generation

Posterdiskussion: Prävention, Interventionen, Arbeit im Wandel, Digitale Arbeitsmittel, Bewegungsapparat, Physikalische Faktoren, Gewinner des Nachwuchssymposiums FAP

Lunchsymposium der VBG zum Thema „Posttraumatische Belastungsstörungen in der Arbeitswelt“

** NEU bei der Jahrestagung **

DGAUM-AKADEMIE: Zusätzlicher Kongresstag mit breitem Seminarangebot

Kinderbetreuung: Ganztägige Kinderbetreuung durch ausgebildete Erzieherinnen

Veranstaltungshinweis

DGAUM-Mitgliederversammlung

11. März 2020, 18:00 bis 20:00 Uhr

Klinikum der Universität München, Campus Großhadern, Marchioninistraße 15, 81337 München

Programm und Anmeldung unter www.dgaum.de/termine/jahrestagung

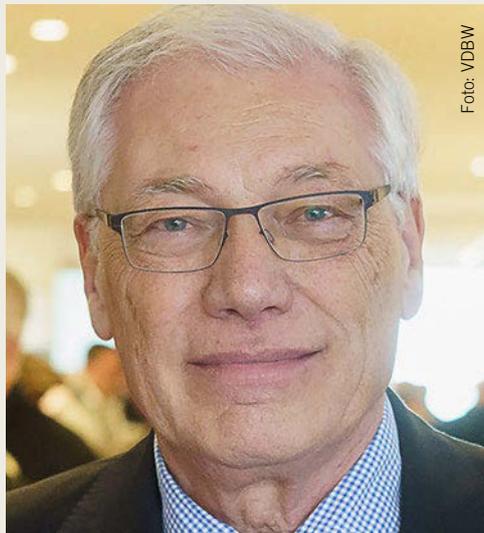
DER VDBW INFORMIERT

Nachruf Dr. med. Axel Harwerth

Tiefe Betroffenheit über den plötzlichen Tod von Dr. med. Axel Harwerth, der völlig unerwartet am 13. Januar 2020 verstarb.

Geboren und aufgewachsen ist Dr. Axel Harwerth in Freiburg, studierte in Würzburg und Bonn. Nach kurzen klinischen Stationen arbeitete er von 1980 bis zu seinem Ausscheiden als Werksarzt bei Daimler, zunächst im Werk Sindelfingen, später im Werk Bremen und war über den Standort hinaus leitender Werksarzt der Daimler AG. Dr. Axel Harwerth war verheiratet, hat 2 erwachsene Söhne und lebte in Bremen. In seinem Beruf und weit darüber hinaus hat er sich für die Gesellschaft und ihm wichtige Anliegen eingesetzt, er war in zahlreichen Gremien, unter anderem der Arbeitsgemeinschaft Berufsdermatologie und der Bundesvereinigung Deutscher Arbeitgeberverbände, tätig. Intensiv auseinandergesetzt hat er sich mit den fachlichen Themen Dermatologie und Ergonomie und als Kuratoriumsmitglied des Lehrstuhls Arbeitsmedizin Tübingen hat er maßgeblichen Anteil am Erhalt des Lehrstuhls. Dr. Axel Harwerth wurde 2009 mit der Ehrenmedaille in Gold des Verbands ausgezeichnet.

Im Jahre 1993 übernahm Dr. Axel Harwerth die Funktion des wissenschaftlichen Leiters der Arbeitsmedizinischen Herbsttagungen von Herrn Prof. Dr. Florian und führte die bewährte Ausrichtung fort. Er sorgte für spannende Kongresse, die sich immer mehr



Dr. med. Axel Harwerth beim Deutschen Betriebsärztekongress 2019 in Freiburg

mit aktuellen berufspolitischen Themen auseinandersetzen und setzte mit unvergessenen Veranstaltungen zwischen Lübeck und Friedrichshafen, zwischen Aachen und Cottbus, im ehemaligen Plenarsaal des Deutschen Bundestags in Bonn ebenso wie in der Nürnberger Meistersingerhalle wichtige Impulse und wertvolle Akzente für die Entwicklung des Berufsverbands.

Der Deutsche Betriebsärzte-Kongress 2012 war für Dr. Axel Harwerth eine ganz besondere Veranstaltung. Es war sein 20. Deutscher Betriebsärzte-Kongress, bzw. die 20. Arbeitsmedizinische Herbsttagung unseres Verbands, die er als wissenschaftlicher Leiter maßgeblich verantwortete. Für sein langjähriges verantwortungsvolles Engagement und seine herausragende Arbeit dankte ich ihm in meiner Funktion als Präsident des Verbandes sehr herzlich. In seiner unnachahmlichen Art verabschiedete sich Dr. Axel Harwerth in der Mitgliederversammlung am 25. Oktober 2012 in Weimar aus seiner 20-jährigen Funktion als wissenschaftlicher Leiter der Verbands-Kongresse sympathisch und bescheiden mit den Worten „ich bin dann mal weg“.

Im Jubiläumsjahr des Verbandes nahm Herr Dr. Harwerth als Ehrengast beim Deutschen Betriebsärzte-Kongress 2019 in Freiburg teil. Ein Austausch mit den wissenschaftlichen Leitern über die Entwicklungen „seiner“ Herbsttagung Dr. Uwe Gerecke und Dr. Martin Kern war hier natürlich selbstverständlich.

Dr. Axel Harwerth ist mir und dem ganzen Präsidium über viele Jahre ein verlässlicher Begleiter und wichtiger Weggefährte gewesen. Er hat sich der Tradition und Kontinuität

ebenso verbunden gefühlt wie der Neugier und zeigte immer wieder Mut für Veränderungen. Besonders hervorheben möchte ich die aktive Weiterentwicklung der Arbeitsmedizinischen Herbsttagung hin zum jährlichen Deutschen Betriebsärzte-Kongress, sichtbares Namenszeichen für Anspruch und Selbstbewusstsein von Betriebs- und Werksärzten, von unserem VDBW.

Als Geschäftsführer der heutigen GAMEDA GmbH hat er von 2000 bis 2012 dazu beigetragen, dass sich die Service-Gesellschaft des Verbandes stetig positiv entwickelt. Damit hat er eine wichtige Grundlage für den wirtschaftlichen Erfolg des Verbandes gelegt.

Der Verband verliert mit ihm einen herausragenden und geschätzten Mitstreiter für

die Arbeitsmedizin. Wir werden seine Arbeit und seine freundschaftliche Verbundenheit vermissen.

Unser tief empfundenes Mitgefühl gilt in diesen schweren Tagen besonders seiner Familie.

Dr. med. Wolfgang Panter
Präsident VDBW

SAVE THE DATE

Regionalforum Arbeitsmedizin „fit4job“ am 19. und 20. Juni in Dortmund

Vielseitig, informativ, praxisbezogen – mit dem Regionalforum Arbeitsmedizin „fit4job“ geht unser etabliertes Fortbildungsformat am 19. und 20. Juni 2020 in eine neue Runde. Veranstalter sind der Arbeitsmedizinische Qualitätszirkel Dortmund (AQUADO e.V.) sowie der VDBW-Landesverband Westfalen-Lippe. Veranstaltungsort ist erneut die Deutsche Arbeitsschutzausstellung (DASA) in Dortmund.

Die Teilnehmer erwarten ein zweitägiges Programm mit Vorträgen und Diskussionen zu aktuellen Themen aus der Arbeitsmedizin. Geplant sind u. a. folgende Inhalte:

- Arbeitsmedizinische Betreuung von Schweißern
- Betriebliche Hilfen für Beschäftigte mit psychischen Beschwerden
- Update Infektionskrankheiten, Reisemedizin und Schutzimpfungen
- Beschäftigte mit multipler Sklerose in der Arbeitswelt
- Betriebsärztliche Beratung von Beschäftigten mit rheumatischen Erkrankungen
- Spiroergometrie – ein diagnostisches Verfahren für die Arbeitsmedizin?

In den Pausen bietet sich Gelegenheit zum persönlichen Austausch unter Kolleginnen und Kollegen und zum Besuch unserer Fachausstellung.

Ergänzend dazu findet am Freitagvormittag das Seminar „Prävention des berufsbedingten Hautkrebses – Arbeitsmedizinische Vorsorge bei natürlicher UV-Strahlung“ für Betriebsärztinnen und -ärzte statt. Darüber hinaus befindet sich ein Kompaktkurs für arbeitsmedizinisches Assistenzpersonal in

Planung. Die Teilnehmerzahlen für beide Angebote sind begrenzt.

Fortbildungspunkte werden bei der Ärztekammer Westfalen-Lippe beantragt.

Die wissenschaftlichen Leiter Dr. Josef Pohlplatz, Vorsitzender des AQUADO e.V.,

und Friedemann Bohlen, Vorsitzender des VDBW-Landesverbandes Westfalen-Lippe, freuen sich auf Ihren Besuch.

Weitere Informationen und Anmeldung unter www.vdbw.de/fortbildung



Die DASA-Rotunde in Dortmund

Foto: DASA

MELDUNGEN

Gesundheitsschäden durch Feinstaub, Ozon und Stickstoffdioxid

Luftschadstoffe, zu denen unter anderem Feinstaub, Ozon und Stickstoffdioxid gehören, gefährden die Gesundheit aller Menschen weltweit.

Dies zeigt eine Übersichtsarbeit von Beate Ritz et al. im Deutschen Ärzteblatt (s. Link unten). Deutlich wird, dass die Zunahme der Luftschadstoffwerte und deren Einfluss auf die Gesundheit bereits seit Jahrzehnten in einer Reihe von Studien erfasst werden.

Diese Studien belegten einen Zusammenhang von erhöhter Luftschadstoffbelastung mit Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen sowie mit metabolischen Erkrankungen, wie etwa Diabetes mellitus Typ 2. Die krebsauslösende Wirkung von Feinstaub gelte als gesichert. Epidemiologische Studien

kämen zu dem Ergebnis, dass eine zusätzliche Luftschadstoffbelastung mit erhöhter Mortalität verbunden ist.

Zudem sei ein Zusammenhang von erhöhten Luftschadstoffwerten mit Schwangerschaftsproblemen, erhöhter Frühgeburtlichkeit, Hautalterung, kognitiver Beeinträchtigung sowie Demenz gezeigt worden.

Die Autorinnen fordern, zum Schutz der Gesundheit die Grenzwerte für die Feinstaubbelastung in der EU deutlich abzusenken. Auf der Grundlage von Studien könne davon ausgegangen werden, dass mit einer

Reduzierung der Luftschadstoffbelastung deutliche Verbesserungen beim allgemeinen Gesundheitszustand erzielt werden. Es gebe mithin eine ethische Verpflichtung des Gesetzgebers, zum Schutz der Bevölkerung nachgewiesene wirksame Maßnahmen zu ergreifen.

Quelle: DÄB Online

➔ <https://www.aerzteblatt.de/archiv/211419/Auswirkungen-von-Feinstaub-Ozon-und-Stickstoffdioxid-auf-die-Gesundheit>

Risikobewertung: Wie man Ordnung in den Nanokosmos bringt

Neuartige Testverfahren erleichtern und verbessern die Sicherheitsprüfung winziger Partikel

Sie stecken in Sonnencreme, Zahnpasta und Wandfarbe, in Autoreifen, Computerchips und Solarzellen und in ungezählten weiteren Produkten: Die Rede ist von vielseitigen Nanomaterialien. So werden teilchenförmige chemische Stoffe bezeichnet, die zwischen einem und 100 Nanometer groß sind, wobei ein Nanometer einem Millionstel Millimeter entspricht. Wie herkömmliche Chemikalien müssen auch diese Substanzen vor ihrer Vermarktung auf Gesundheitsrisiken geprüft werden. Das ist wegen ihrer Vielfalt an Materialien, Größe, Form und Beschichtung jedoch eine große Herausforderung. Die Tests sind teuer und kosten viel Zeit.

Hier setzt das vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) koordinierte Verbundprojekt „NanoToxClass“ an. In ihm entwickelten Fachleute aus Wissenschaft, Industrie und Behörden gemeinsam effizientere Verfahren für die Risikobewertung von Nanomaterialien. Erste Ergebnisse wurden nun im Fachjournal „Particle and Fibre Toxicology“

veröffentlicht (s. Link unten). Wichtigstes Resultat: Den Forscherinnen und Forschern gelang es, mit hochempfindlichen Methoden in Zellkulturen Nanomaterialien (NM) entsprechend ihrem Gefährdungspotenzial in Gruppen zusammenzufassen.

Das Forscherteam untersuchte zwölf NM, die sich in chemischer Zusammensetzung, Größe oder Oberflächenbeschaffenheit unterschieden, an Rattenzellen aus Lungenbläschen (Alveolen). Zellen der Atemwege wurden ausgewählt, weil die Aufnahme von NM über den Atemtrakt als besonders bedenklich angesehen wird. Die Forscherinnen und Forscher analysierten mit neuartigen Multiomics-Methoden, wie die Zellen auf den Kontakt mit den NM ansprachen. Sie untersuchten damit Veränderungen in mehreren tausend Zellproteinen, in zahlreichen Stoffwechselprodukten (Metaboliten) sowie in wichtigen Signalwegen der Zelle. Auf diese Weise konnte für jedes NM ein umfassendes biologisches „Wirkprofil“ skizziert wer-

den, das dann genutzt wurde, um die NM in Gruppen zusammenzufassen.

Je nach Materialbeschaffenheit zeichneten sich verschiedene Reaktionsmuster der Zellen ab. „Giftigere“ NM erzeugten zum Beispiel „oxidativen Stress“ – in den Zellen gerät die Bildung von aggressiven Sauerstoffverbindungen und deren Entgiftung aus dem Gleichgewicht. Daran beteiligt sind verschiedene Schlüsselmoleküle. Dem Forscherteam gelang es, Biomoleküle herauszufiltern, die als charakteristische biologische Merkmale (Biomarker) Analysen zielgerichteter gestalten können. Die Untersuchungen werden künftige Risikobewertungen von NM maßgeblich mitbestimmen und sollen dazu beitragen, NM gesundheitlich verträglicher zu machen.

Quelle: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)

➔ <https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-019-0321-5>

Bundesrat billigt Masern-Impfpflicht

In Kitas, Schulen, Flüchtlingsunterkünften und im Gesundheitswesen gilt ab dem 1. März 2020 eine Masern-Impfpflicht. Der Bundesrat rief den Vermittlungsausschuss heute nicht an, sondern billigte das Gesetz, das Kinder, Geflüchtete und Beschäftigte in Gemeinschaftseinrichtungen zu der Schutzimpfung verpflichtet.

Für Kinder, die bereits in Betreuung sind, sowie für betroffene Mitarbeiter der genannten Bereiche gilt eine Übergangsfrist bis zum 31. Juli 2021. Wer der Impfpflicht nicht nachkommt, muss mit bis zu 2500 Euro Bußgeld rechnen. Das gilt auch für Kindertagesstätten, die nicht geimpfte Kinder zulassen.

Bundesgesundheitsminister Jens Spahn (CDU) will so vor allem diejenigen schützen, die selbst nicht oder noch nicht geimpft werden können – wie etwa junge Säuglinge oder chronisch Kranke. Der Minister räumte in der Bundesratssitzung ein, dass die Impfpflicht ein Eingriff in die Freiheit des Einzelnen und des Elternrechts seien. Doch die Freiheit sei immer verbunden mit der Verantwortung für andere, fügte er hinzu. Schließlich sei die Krankheit im Jahr 2019 eine „unnötige Gefährdung“.

„Masernschutz ist Kinderschutz“, fügte der Minister hinzu. Masern seien keine harmlose Krankheit, nicht therapierbar, höchst ansteckend und könnten einen bösen Verlauf bis hin zu einer Lungen- oder Gehirnentzündung nehmen.

Spahn wies auch darauf hin, dass ein Ja zur Impfpflicht eine historische Entscheidung sei. Zuletzt sei im Westen die 1874 eingeführte Pockenimpfpflicht in den 1980er Jahren ausgesetzt worden, weil es gelungen sei, die Pocken auszurotten. Seitdem habe es im Westen im Gegensatz zur DDR keine Impfpflicht mehr gegeben.

Spahn will mit der Impfpflicht die Schutzquote in der Bevölkerung auf mindestens 95 Prozent erhöhen. Diese Quote gilt laut Weltgesundheitsorganisation als Schwelle, ab der auch Menschen ausreichend ge-

schützt sind, die sich nicht oder noch nicht impfen lassen können. Nach Zahlen des Robert-Koch-Instituts waren zuletzt nur rund 93 Prozent der Schulanfänger in Deutschland ausreichend gegen Masern geimpft. In den vergangenen Jahren kam es immer wieder zu Ausbrüchen der Krankheit.

Befürworter einer Impfpflicht wollen sie auch auf andere Krankheiten ausweiten. Kritiker befürchten dagegen unter anderem, dass eine Pflicht dazu führen könnte, dass die Impfquote aus Widerstand sogar wieder sinkt. Sie fordern mehr Anstrengungen, um auch die noch größeren Impflücken bei Erwachsenen zu schließen.

Quelle: DÄBI Online

➔ <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/108336>

Lüften leicht gemacht: eine kostenlose App gegen dicke Luft in Innenräumen

Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsmangel, Leistungsverlust - zu viel Kohlendioxid (CO₂) in Räumen kann die Gesundheit beeinträchtigen.

Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) und die Unfallkasse Hessen (UKH) haben deshalb eine App, den „CO₂-Timer“, entwickelt, die für jeden fensterbelüfteten Raum den richtigen Lüftungszeitpunkt und die optimale Lüftungsfrequenz ermittelt – in Schulen, Büros, Seminarräumen oder sogar in privater Umgebung.

Die menschliche Atmung ist Hauptquelle für CO₂ in Innenräumen. In geringer Konzentration ist CO₂ ungiftig, es behindert aber die Sauerstoffaufnahme im Körper. Erhöhte CO₂-Werte in der Umgebungsluft können deshalb beim Menschen beispielsweise zu Kopfschmerzen führen. Probleme treten vor allem dort auf, wo viele Personen über längere Zeit in geschlossenen, relativ kleinen

Räumen zusammen sind – dort leiden dann häufig Leistungsfähigkeit, Konzentration und Wohlbefinden.

„Regelmäßiges Lüften ist die einfachste Schutzmaßnahme gegen die Effekte von zu viel CO₂“, sagt Dr. Simone Peters, Gefahrstoffexpertin im IFA. „Das wird im Eifer des Gefechtes leider häufig vergessen, oder es wird einfach viel zu selten gelüftet.“

Abhilfe soll der neue kostenlose CO₂-Timer schaffen, den das IFA gemeinsam mit der UKH für Android und Apple entwickelt hat (s. Link). Aus Personenzahl, Aufenthaltsdauer und Raumvolumen errechnet die App die voraussichtliche CO₂-Konzentration und gibt an, wann und wie oft gelüftet werden soll. Die ermittelte Zeit lässt sich als Timer setzen, der an die Lüftung erinnert.

Peters: „Laut Arbeitsstättenrecht soll ein Wert von 0,1 Volumenprozent (1000 ppm) CO₂ in der Raumluft nicht überschritten werden, um fit und aufmerksam zu bleiben. Mit unserer App kann dieser Wert überall eingehalten werden, vor allem dort, wo gelernt und gearbeitet wird.“

Der Rechner basiert auf den Ergebnissen einer Studie der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW), die CO₂-Konzentrationen während 720 Unterrichtsstunden in 111 Schulen gemessen hat. Vergleiche haben gezeigt, dass die Ergebnisse für die Sekundarstufe auch auf den Bürobereich übertragbar sind.

Quelle: IFA

➔ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.co2&hl=de>

PERSONALIA

Prof. Dr. med. Klaus Norpoth 90 Jahre

Prof. Dr. med. Klaus Norpoth wurde am 31. Januar 2020 90 Jahre alt. Er kann auf sechs erfolgreiche Jahre in der Biochemie und 24 erfolgreiche Jahre in der Arbeitsmedizin zurückblicken. Für seine arbeitsmedizinischen Aktivitäten wurde er vom Land NRW mit dem Bundesverdienstkreuz ausgezeichnet.

Seine wissenschaftliche Laufbahn begann er am Institut für Physiologische Chemie der Universität Münster. Danach wechselte er an das Institut für Staublungenforschung und Arbeitsmedizin in Münster, das er ab 1973 kommissarisch leitete.

1981 wurde Klaus Norpoth C4-Professor am Institut für Hygiene und Arbeitsmedizin der damaligen Gesamthochschule Essen und vertrat die Fächer Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Hygiene und Medizinische Soziologie in der Lehre. Er baute das Institut zu einem der drittmittelstärksten des Universitätsklinikums Essen auf.

Sein wissenschaftlicher Schwerpunkt war die Beschäftigung mit kreberzeugenden Arbeitsstoffen, deren Metabolismus sowie Testverfahren zu ihrer Beurteilung. Professor Norpoth war ein Wegbereiter des Biologischen Monitorings und der Anwendung von Biomarkern bei der Überwachung exponierter Arbeitnehmer.

Er hat eine Fülle von Ämtern begleitet, hier seien nur einige genannt:

- Mitglied im Präsidium des Deutschen Hochschulverbandes,
- Dekan an der Universität Münster,
- Mitglied des Präsidiums der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin,
- Vorsitzender der Arbeitsgruppe „Krebsgefährdung am Arbeitsplatz“ der großen Krebskonferenz der Bundesregierung,
- Mitglied in der Sektion „Berufskrankheiten“ des ärztlichen Sachverständigenbeirats des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung,
- Mitglied der Senatskommission der DFG zur Beurteilung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe und
- Leiter der Arbeitsgruppe „Aufstellung von MAK-Werten“.

Professor Norpoths Interessen und Fähigkeiten waren und sind vielfältig. Schon vor dem Medizinstudium hatte er Theologie studiert, später parallel zur Medizin auch Psychologie. Er war in sozialwissenschaftlichen und ethischen Fragestellungen engagiert. Während der Zeit seiner Hochschultätigkeit war er unerschrocken und streitbar, er beeindruckte durch geschliffene Formulierungen auch in freier Rede. Als Mitarbeiter

konnte man bei ihm nicht nur wissenschaftliches Arbeiten lernen, sondern auch die eigene Kraft der Rede und des Schreibens weiterentwickeln.

Aufgrund seiner breiten Fachkompetenz und herausragenden Persönlichkeit konnte er jederzeit sich ad hoc zu vielfältigsten Fragestellungen qualifiziert äußern. Dies verschaffte ihm breite Anerkennung – nicht zuletzt auch bei Betriebsärzten, zu denen er gerne den Austausch suchte.

Sein Lehrbuch „Einführung in die Arbeitsmedizin“ setzte eine neue Gliederung der Fachinhalte um. Er hat nicht nur viele Doktoranden betreut, sondern auch mehrere Mitarbeiter zur Habilitation geführt.

Bis Ende 2019 hat Prof. Norpoth arbeitsmedizinische Fachgutachten erstattet, vorzugsweise auf dem Gebiet der Arbeitstoxikologie und der Berufskrebserkrankungen.

Heute hat er mehr Zeit für seine Hobbies – musizieren, bildende Kunst und Literatur. Weiterhin betätigt er sich täglich sportlich, um den Alterserscheinungen entgegenzuwirken.

Professor Dr. med. Klaus Norpoth sind weitere Jahre in geistiger und körperlicher Gesundheit herzlich gewünscht.

Prof. Dr. W. Popp, Dortmund

TERMINE

SOZIAL- UND ARBEITSMEDIZINISCHE AKADEMIE BADEN-WÜRTTEMBERG e. V.

Weiterbildung Arbeits-/Betriebsmedizin

Kursteil B1: 18.02. – 27.02.2020

Kursteil B2: 17.03. – 26.03.2020

Kursteil A1: 21.04. – 30.04.2020

Kursteil A2: 05.05. – 14.05.2020

Kursteil C1: 14.09. – 23.09.2020

Kursteil C2: 23.09. – 02.10.2020

Ort: Ulm (Kurs B + C), Stuttgart (Kurs A)

Repetitorium

(Prüfungsvorbereitung Arbeitsmedizin)

Termin 1: 7. bis 9. Juli 2020

Ort: Leonardo Royal Hotel, Ulm

Termin 2: 7. bis 9. September 2020

Ort: Hamburg, Fortbildungsakademie der Ärztekammer

Termin 3: 7. bis 9. Oktober 2020

Ort: Intercity Hotel, Mainz

Termin 4: 9. bis 11. November 2020

Ort: BG Holz und Metall, Hannover

Arbeitsmedizinische Fortbildungen

Thema: Strahlenschutz

(staatlich anerkannte Aktualisierung der Fachkunde StrlSchV/RöV für ermächtigte Ärzte – arbeitsmedizinische Vorsorge)

Termin: 14. Juli 2020

Ort: Leonardo Royal Hotel, Ulm

Gebühr: € 230,- (mit Prüfung, zur Aktualisierung der Fachkunde
€ 190,- (ohne Prüfung)

Thema: G-35-Kurs – Fortbildungsseminar zur arbeitsmedizinischen Vorsorge nach ArbMedVV bei Tätigkeiten in Tropen, Subtropen und sonstigen Auslandsaufenthalten mit besonderen klimatischen Belastungen und Infektionsgefährdungen

Termin: 17. und 18. Juli 2020

Ort: Heidelberg (Nähe Hauptbahnhof)

Gebühr: € 345,-

Anmeldung für alle Kurse:

Sozial- und Arbeitsmedizinische Akademie Baden-Württemberg e. V., Oberer Eselsberg 45, 89081 Ulm
Tel.: +49 (7 31) 5 40 44
Fax: +49 (7 31) 55 26 42
ulm@samanet.de; www.sama.de

ÄRZTEKAMMER BERLIN, ABTEILUNG FORTBILDUNG/QUALITÄTSSICHERUNG

Weiterbildungskurse

„Arbeitsmedizin/Betriebsmedizin“

Kursteil A1: 07.09. – 16.09.2020

Kursteil A2: 16.09. – 25.09.2020

Kursteil B1: 02.11. – 11.11.2020

Kursteil B2: 11.11. – 20.11.2020

Gebühr: € 550,- (je Kursteile A1, A2, B1, B2 und C1, C2);
€ 1100,- (Kurs A/B/C gesamt)

Strahlenschutz

Grundkurs im Strahlenschutz (Gebühr € 270,-)

24. bis 26. Februar 2020

25. bis 27. Mai 2020

26. bis 28. Oktober 2020

Spezialkurs im Strahlenschutz bei der Röntgendiagnostik (Gebühr € 270,-)

26. bis 28. Februar 2020

27. bis 29. Mai 2020

28. bis 30. Oktober 2020

Aktualisierungskurs (8 h) zum Erhalt der Fachkunde im Strahlenschutz für die Röntgendiagnostik nach Röntgenverordnung (Gebühr € 155,-)

21. März und 31. Oktober 2020

Verkehrsmedizin

Verkehrsmedizinische Begutachtung – Qualifizierung gemäß Fahrerlaubnisverordnung

für fachärztliche Gutachter gemäß dem neuen Curriculum der Bundesärztekammer

27. April 2020

Modul I: Basiswissen Verkehrsmedizin – Patientenaufklärung und Beratung (Teilnehmerentgelt € 100,-)

Modul II: E-Learning Modul – Relevante Regelwerke (Teilnehmerentgelt € 50,-)

28. April 2020

Modul III: Grundlagen der verkehrsmedizinischen Begutachtung (Teilnehmerentgelt € 150,-)

29. und 30. April 2020

Modul IV: Spezielle Erkrankungen und Funktionsstörungen sowie Kompensationsmöglichkeiten (Teilnehmerentgelt € 300,-)

Anmeldung und Information:

Ärztekammer Berlin, Abteilung Fortbildung/Qualitätssicherung, Servicebereich AAG
Friedrichstraße 16
10969 Berlin
Tel.: +49 (30) 4 08 06-12 15
Fax: +49 (30) 4 08 06-55 13 99
fb-aag@aekb.de
www.aerztekammer-berlin.de

AKADEMIE FÜR ÄRZTLICHE FORTBILDUNG IN RHEINLAND-PFALZ

Curriculum Arbeits-/Betriebsmedizin

Teilblock B1: 24.08. – 28.08.2020

31.08. – 01.09.2020

Teilblock B2: 19.10. – 23.10.2020

26.10. – 27.10.2020

Teilblock C1: 11.01. – 15.01.2021

18.01. – 19.01.2021

Teilblock C2: 22.02. – 26.02.2021

01.03. – 02.03.2021

Gebühr: € 1690,- für je zwei Module (z.B. A1+A2)

Ort: Hörsaal der Akademie für Ärztliche Fortbildung in Rheinland-Pfalz

Information und Anmeldung:

Akademie für Ärztliche Fortbildung in Rheinland-Pfalz
Deutschhausplatz 3
55116 Mainz
Tel.: +49 (6131) 28 43 8 15
Fax: +49 (6131) 28 43 8 10
kroehler@arztkolleg.de

LINZER AKADEMIE FÜR ARBEITSMEDIZIN IN ZUSAMMENARBEIT MIT DEM AMD

Ausbildungslehrgang:

Fachkraft für Arbeits- und Betriebsmedizin

Block 1: 11. und 12.03.2020

Block 2: 15. und 16.04.2020

Block 3: 13. und 14.05.2020

Block 4: 17. und 18.06.2020

Block 5: 16. und 17.09.2020

Block 6: 08. und 09.10.2020

Block 7: 12. und 13.11.2020

Block 8: 10. und 11.12.2020

Gebühren: € 3500,- (inkl. 10 % MwSt.)

Ort: PROGES Akademie, Fabrikstraße 32, Linz
AMD – Arbeitsmedizinischer Dienst,
Kaplanhofstraße 1, Linz

Organisation und Anmeldung:

PROGES Akademie, Klaudia Honauer, MAS, MBA
Tel.: +43 (5) 7720-117
klaudia.honauer@proges.at – akademie@proges.at

AKADEMIE FÜR MEDIZINISCHE FORTBILDUNG, ÄRZTEKAMMER WESTFALEN-LIPPE, KASSEN-ÄRZTLICHE VEREINIGUNG WESTFALEN-LIPPE

Fortbildungskurse

„Arbeitsmedizin/Betriebsmedizin“ 2020/2021

Block A/Modul I: 17.08. – 26.08.2020

Block A/Modul II: 14.09. – 23.09.2020

Block B/Modul I: 02.11. – 11.11.2020

Block B/Modul II: 16.11. – 25.11.2020

Block C/Modul I: 11.01. – 20.01.2021

Block C/Modul II: 01.02. – 10.02.2021

Gebühr: € 850,- (Mitglieder der Akademie für medizinische Fortbildung der ÄKWL und der KVWL)
€ 950,- (Nichtmitglieder)
€ 750,- (Arbeitslos/Elternzeit)

Ort: Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IPA), 44789 Bochum

Information und schriftliche Anmeldung:

Akademie für medizinische Fortbildung der ÄKWL und der KVWL
Gartenstr. 210–214, 48147 Münster,
Tel.: +49 (251) 929-22 02
Fax: +49 (251) 929-27 22 02
anja.huster@aekwl.de

BAYERISCHE AKADEMIE FÜR ARBEITS-, SOZIAL- UND UMWELTMEDIZIN

B-Kurs: 29.06. – 17.07.2020

C-Kurs: 09.11. – 27.11.2020

Ort: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

Gebühr: € 1025,- je Kurs (3 Wochen),
€ 525,- je Kursteil (1,5 Wochen)

Anmeldung und Information:

Akademie für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Pfarstraße 3, 80538 München
Tel.: +49 (91 31) 6808-4209
Fax: +49 (91 31) 6808-4338
brigitte.smejkal@lgl.bayern.de

MÄRZ 2020

Forum für Verkehrssicherheit München 6. und 7. März 2020

Ort: Institut für Rechtsmedizin München, Walther-Straub-Hörsaal, Schillerstraße/ Ecke Nußbaumstraße

Anmeldung und Information:

Institut für Rechtsmedizin
Nußbaumstr. 26, 80336 München
Forum-VS.RM@med.uni-muenchen.de



KOSTENLOSER NEWSLETTER

für alle Akteure in der medizinischen Prävention

- + Branchen-News der Woche
- + Fokus auf Monatsthemen
- + Aus der Wissenschaft für die Praxis
- + Neues von den Verbänden
- + Trendumfragen

Hier geht's zur Anmeldung:

www.asu-arbeitsmedizin.com/newsletter-anmeldung



Gentner Verlag

Einfach.
Aktuell.
Informieren.

Arbeitsmedizin | Sozialmedizin | Umweltmedizin

ASU

Zeitschrift für medizinische Prävention

VORSCHAU

ASU-Magazin 03/2020

Schwerpunkt: Fünf Jahre Präventionsgesetz mit u. a. folgenden Themen:

- GAIT-Netzwerke – Bedarfsermittlung/Ergebnisse der Personalbefragung und Maßnahmenableitung
- Die Zukunft gestalten: Erwartungen der Kostenträger an die Prävention und das Präventionsgesetz
- Pro/Contra „Impfungen in der Apotheke?“



RÜCKSCHAU

ASU-Newsletter KW 03/2020

Themen waren u. a.:

- Arbeitswelt in der DACH-Region
- Psychosomatische Sprechstunde im Betrieb
- Im Schutzanzug auf den Acker

ASU-Newsletter KW 02/2020

Themen waren u. a.:

- Arbeitswelt in der DACH-Region
- Maßnahmen gegen berufliche Wegeunfälle
- Mikroplastik in Lebensmitteln

Tipp:



Neugierig auf die nächsten Newsletter-Inhalte?

Werden Sie ASU Newsletter-Abonnent: www.asu-arbeitsmedizin.com/Newsletter



Im Newsletter-Archiv alle bisherigen Themen lesen:

www.asu-arbeitsmedizin.com/Archiv/Newsletter-Archiv

Für Autoren

Ausführliche Autorenhinweise: erhältlich unter www.asu-arbeitsmedizin.com/Autorenhinweise



Manuskripteinreichung:

- Praxisbeiträge an manuskript@asu-arbeitsmedizin.com
- Wissenschaftliche Beiträge an wissenschaft@asu-arbeitsmedizin.com

Impressum

So erreichen Sie direkt unseren Leserservice

Postfach 9161
97091 Würzburg
Telefon: +49 (0) 711 / 6 36 72-401
Telefax: +49 (0) 711 / 6 36 72-414
E-Mail: service@asu-arbeitsmedizin.com

Chefredaktion & Ressortleitung Wissenschaft

Prof. Dr. med. Simone Schmitz-Spanke (V.i.S.d.P.)
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,
Erlangen

Redaktion

Dr. med. Andreas Bahemann, Nürnberg
Prof. Dr. med. Thomas Brüning,
Ruhr-Universität Bochum, Bochum
Prof. Dr. med. Hans Drexler, Friedrich-Alexander-
Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen
Reinhard Holtstraeter, Rechtsanwalt, Kanzlei für
Gesundheit und Teilhabe, Hamburg
Dr. med. Jutta Kindel, Fachärztin für Arbeitsmedizin
und Innere Medizin in eigener Praxis, Hamburg
Prof. Dr. med. Thomas Kraus, RWTH Aachen
University, Aachen
Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Stephan Letzel,
Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz
Prof. Dr. med. Michael Linden, Charité
Universitätsmedizin Berlin, Berlin
Dr. phil. Thomas Nessler, Deutsche Gesellschaft für
Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., München
Prof. Dr. med. Albert Nienhaus, Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf, Hamburg
Dr. med. Wolfgang Panter, Verband Deutscher
Betriebs- und Werksärzte e.V., Karlsruhe
Prof. Dr. -Ing. Martin Schmauder,
Technische Universität Dresden, Dresden
Dr. med. Ute Teichert, MPH, Akademie für ÖGD,
Düsseldorf
Dr. med. Stefan Webendoerfer, BASF SE, Ludwigshafen
Dr. med. Hanns Wildgans, ias AG, München

Wissenschaftlicher Beirat

O. Blome, Köln – Prof. Dr. med. H. K. Geiss, Bad Neu-
stadt – Prof. Dr. med. B. Greitemann, Bad Rothenfelde –
Prof. Dr. med. B. Griefahn, Dortmund – Prof. Dr. med.
B. Hartmann, Hamburg – Prof. Dr. med. Dr. rer. nat.
G. O. Hofmann, Halle/S. – Prof. Dr. jur. O. E. Krasney,
Kassel – Prof. Dr. med. Dipl.-Psych. C. Lang, Erlan-
gen – Dr. med. P. Lederer, Erlangen – Prof. Dr. med. G.
Leng, Leverkusen – Dr. med. E. Losch, Frankfurt/M. –
Dr. med. W. P. Madaus, Brieselang – Prof. Dr. med.
Dipl.-Chem. A. W. Rettenmeier, Essen – Prof. Dr. med.
M. A. Rieger, Tübingen – Prof. Dr. med. K. Rohrschnei-
der, Heidelberg – Prof. Dr. med. K. Scheuch, Dresden –
Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. W. Schneider, Rostock –
Prof. Dr. med. A. Tannapfel, Bochum – Prof. Dr. med. K.
Ulm, München – Prof. Dr. med. S. Wicker, Frankfurt –
Priv.-Doz. Dr. med. R. Winker, Wien – Prof. Dr. med. R.
Wrbitzky, Hannover

Manuskripteinsendung

Anja Dietrich (ASU-Redaktionsmanagement)
Telefon: +49 (0)7 11 / 63 67 28 96
Telefax: +49 (0)7 11 / 63 67 27 11
E-Mail: manuskript@asu-arbeitsmedizin.com

Redaktions-Assistenz

Christine Hütt
Telefon: +49 (0)7 11 / 63 67 28 68
Telefax: +49 (0)7 11 / 63 67 27 11
E-Mail: asu@asu-arbeitsmedizin.com

Anzeigenleitung

Axel Hollenbach
Telefon: +49 (0)7 11 / 63 67 28 27
Telefax: +49 (0)7 11 / 63 67 27 60
E-Mail: hollenbach@gentner.de

Auftrags-Management

Melanie Schweigler (Leitung)
Telefon: +49 (0)7 11 / 63 67 28 62
Telefax: +49 (0)7 11 / 63 67 27 60
E-Mail: schweigler@asu-arbeitsmedizin.com

Gesamtleitung Media Sales

Oliver Scheel (verantwortlich)
Telefon: +49 (0)7 11 / 63 67 28 37
Telefax: +49 (0)7 11 / 63 67 27 60
E-Mail: scheel@asu-arbeitsmedizin.com

Verlag

Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG
Postfach 10 17 42, 70015 Stuttgart
Forststraße 131, 70193 Stuttgart

Regina Schönfeld (Assistenz Medizin)
Telefon: +49 (0)7 11 / 63 67 28 52
E-Mail: schoenfeld@asu-arbeitsmedizin.com

Urheberrechte

Die systematische Ordnung der Zeitschrift sowie alle
in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen
sind urheberrechtlich geschützt. Mit der Annahme
eines Beitrages zur Veröffentlichung erwirbt der Verlag
vom Autor umfassende Nutzungsrechte in inhaltlich
unbeschränkter und ausschließlicher Form, insbeson-
dere Rechte zur weiteren Vervielfältigung und
Verbreitung zu gewerblichen Zwecken mit Hilfe
mechanischer, digitaler oder anderer Verfahren.
Kein Teil dieser Zeitschrift darf außerhalb der engen
Grenzen urheberrechtlicher Ausnahmeregelungen
ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in
irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder
andere Verfahren – reproduziert oder in eine von
Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungs-
anlagen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Bezugspreise

Inlandsabonnement
€ 237,90 jährlich zzgl. € 21,00 Versand (inkl. MwSt.)
Auslandsabonnement
€ 237,90 jährlich zzgl. € 36,00 Versand/Luftpost € 60,00
(mit USt.-Id. inkl. MwSt., ohne USt.-Id. zzgl. MwSt.)
Abonnement für Studenten (gegen Bescheinigung)
€ 119,00 zzgl. Versand (inkl. MwSt.)
Luftpostversand auf Anfrage.
Einzelheft € 39,- zzgl. Versand (inkl. MwSt.)
Bei Neubestellungen gelten die zum Zeitpunkt des
Bestellungsangangs gültigen Bezugspreise.

Bezugsbedingungen

Bestellungen sind jederzeit direkt beim Leserservice oder
bei Buchhandlungen im In- und Ausland möglich.
Abonnements verlängern sich um ein Jahr, wenn sie nicht
schriftlich mit einer Frist von drei Monaten zum Ende des
Bezugsjahres beim Leserservice gekündigt werden.

Die Abonnementpreise werden im Voraus in
Rechnung gestellt oder bei Teilnahme am Lastschrift-
verfahren bei den Kreditinstituten abgebucht. Sollte
die Zeitschrift aus Gründen nicht geliefert werden
können, die nicht vom Verlag zu vertreten sind, besteht
kein Anspruch auf Nachlieferung, Ersatz oder
Erstattung von im Voraus bezahlten Bezugsgeldern.

Der Gerichtsstand für Vollkaufleute ist Stuttgart,
für alle übrigen gilt dieser Gerichtsstand, sofern
Ansprüche im Wege des Mahnverfahrens geltend
gemacht werden.

Bitte teilen Sie Änderungen von Adressen oder
Empfängern sechs Wochen vor Gültigkeit dem Leser-
service mit.

Erscheinungsweise: 12 Ausgaben pro Jahr
Anzeigenpreise: Gültig ist Anzeigenpreisliste Nr. 52
vom 01. 01. 2020

Bildquellennachweis: Vladimir Borovic / Getty Images
(Titelbild) und AndreyPopov / Getty Images (S. 134)

Layout: GreenTomato GmbH, Stuttgart
Korrektur: Feuchter Verlagsservice, Elmstein
Druck: Druckerei Marquart, 88326 Aulendorf
Die Zeitschrift ist umweltschonend auf chlor- und
säurefrei hergestelltem Papier gedruckt.

ISSN 0944-6052

Arbeitsmedizin | Sozialmedizin | Umweltmedizin

ASU

Zeitschrift für medizinische Prävention

Zeitschrift für Praxis, Klinik, Wissenschaft
und Begutachtung in den Bereichen Arbeits-
medizin, Betriebsmedizin, Ergonomie,
Klinische Umweltmedizin, Präventivmedizin,
Sozialmedizin, Rehabilitation, Arbeitsschutz

ASU ist als wissenschaftliche Zeitschrift
peer reviewed

ASU ist Organ folgender Fachinstitutionen

Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin
und Umweltmedizin e. V.

Österreichische Gesellschaft für Arbeitsmedizin

Verband Deutscher Betriebs- und Werksärzte
e. V. – Berufsverband Deutscher Arbeits-
mediziner

Vereinigung Schweizerischer Betriebsärzte

Vereinigung Deutscher Staatlicher Gewerbe-
ärzte e. V.

Akademie für Arbeitsmedizin und Gesundheits-
schutz in der Ärztekammer Berlin

Bayerische Akademie für Arbeits-, Sozial-
und Umweltmedizin München

Sektion Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin
der Akademie für ärztliche Fortbildung und
Weiterbildung der Landesärztekammer Hessen,
Bad Nauheim

Sächsische Akademie für ärztliche Fortbildung

Sektion Arbeitsmedizin und Umweltmedizin
der Sächsischen Landesärztekammer Dresden

Sozial- und Arbeitsmedizinische Akademie
Baden-Württemberg e. V., Ulm

ASUonline

Abstract-Archiv seit 2002

Komplettausgaben der DGAUM-Kongress-
ausgaben seit 2003

Inhaltsverzeichnisse je Ausgabe

Jahresregister seit 2002

Volltextsuche im Archiv

Buchshop Arbeitsmedizinische Fachliteratur

www.asu-arbeitsmedizin.com

Mitglied in:

VDZ Verband Deutscher
Zeitschriftenverleger

**Deutsche
Fachpresse**

FIPP
the network for global media

Tauchtauglichkeit zertifiziert



Checkliste Tauchtauglichkeit

Herausgeber

- Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM)
- Österreichische Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin (ÖGTH)

2., vollständig überarbeitete Auflage
Untersuchungsstandards und
Empfehlungen für Ärzte



Unter Mitarbeit zahlreicher Fachautoren
2., vollständig überarbeitete Auflage 2014;
ISBN 978-3-87247-747-7; Gebunden, 448 Seiten, 40,- €; 50,- sFr

Herausgeber

- Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM)
- Österreichische Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin (ÖGTH)

Checkliste Tauchtauglichkeit

- Untersuchungsstandards und Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) und der Österreichischen Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin (ÖGTH)

Kompaktwissen. Professioneller Anspruch. Praxisorientiert.

■ Bestellcoupon

Ja, bitte senden Sie mir Exemplar(e)
der Checkliste Tauchtauglichkeit

(Best.-Nr.74700), 2. Auflage 2014, zum Preis von 40,- € gegen Rechnung.

Gentner Verlag
Buchservice Medizin
Postfach 101742
70015 Stuttgart



Gentner Verlag • Buchservice Medizin
Postfach 101742 • 70015 Stuttgart
Tel. +49 711/63672-925 • Fax +49 711/6672-1974
E-mail: buch@gentner.de • www.asu-arbeitsmedizin.com/buecher

Fax-Hotline: 0711 / 66721974

Name, Vorname

Firma/Institution

Beruf/Abteilung/Funktion

Straße / Postfach Nr.

Land PLZ Ort

Telefon Telefax

E-Mail

Datum Unterschrift med_35