

Grenzwerte für Gefahrstoffe am Arbeitsplatz



issa

INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ASSOCIATION
ASSOCIATION INTERNATIONALE DE LA SÉCURITÉ SOCIALE
ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA SEGURIDAD SOCIAL
INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT

Sektion für Prävention in der chemischen Industrie





Die Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) ist die wichtigste internationale Institution im Bereich der sozialen Sicherheit, in der sich mehr als 340 Träger und Organisationen der sozialen Sicherheit aus mehr als 145 Ländern der Welt zusammengefunden haben. Ziel der IVSS ist die Förderung einer dynamischen sozialen Sicherheit in einer sich globalisierenden Welt durch effektive Unterstützung auf dem Weg zu einem hohen Standard in allen Bereichen sozialer Sicherheit. Die Vereinigung wurde 1927 gegründet, das Sekretariat der IVSS hat seinen Sitz bei der International Labour Organisation (ILO) in Genf.

Die Sektion für Prävention in der chemischen Industrie der IVSS, kurz IVSS Sektion Chemie, engagiert sich seit ihrer Gründung am 17. Juni 1970 weltweit für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen und verwandten Industrie. Den Betrieben und deren Beschäftigten bieten wir multimedial mit Broschüren, Filmen und internationalen Vortragsveranstaltungen eine Orientierung und Hilfe für ein sicherheitsbewusstes Arbeiten.

ISSA Chemistry Section

Heidelberger Verein zur internationalen Förderung der Prävention
in der chemischen Industrie e.V.
c/o BG RCI (Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie)
Kurfürsten-Anlage 62
69115 Heidelberg
T.: +49 6221-5108-0

www.ivss-chemie.de
www.issa.int/prevention-chemistry



Grenzwerte für Gefahrstoffe am Arbeitsplatz



Vorwort

Werden am Arbeitsplatz Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durchgeführt oder können dabei Gefahrstoffe entstehen bzw. freigesetzt werden, hat der Arbeitgeber oder die von ihm beauftragten Personen, wie z. B. die Sicherheitsfachkräfte oder Betriebsärzte, alle davon ausgehenden Gefährdungen der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen. Hierbei stellen Arbeitsplatzgrenzwerte wichtige Beurteilungskriterien dar, um die mögliche Exposition bewerten und die richtigen technischen, organisatorischen und unter bestimmten Voraussetzungen auch persönlichen Schutzmaßnahmen festlegen zu können. Dabei ist sicherzustellen, dass die Exposition der Beschäftigten die Arbeitsplatzgrenzwerte nicht überschreitet.

In verschiedenen Staaten und Gemeinschaften haben sich Vorgehensweisen zur Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten etabliert, die sich in Details unterscheiden. Diese Broschüre wurde von Experten verschiedener Arbeitsschutzorganisationen und Industriebetrieben aus Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich und der Schweiz verfasst. Sie gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Grenzwerte, die zum Schutz der Beschäftigten gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz erlassen wurden und beschreibt darüber hinaus die verschiedenen Herangehensweisen zu ihrer Festlegung. Die einzelnen Kapitel dieser Broschüre sind als eigenständige Fachbeiträge konzipiert und stehen gleichberechtigt nebeneinander.

Die Sektion für Prävention in der chemischen Industrie der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS, Sektion Chemie) möchte damit einen Beitrag zum Verständnis der Ableitung sowie der Bedeutung der Anwendung von Grenzwerten leisten. Die Broschüre wird ergänzt durch ein Glossar in Form einer Web-App, die unter der Internet-Adresse www.grenzwertglossar.net für Computer und Smartphones zur Verfügung steht.



Thomas Köhler
Präsident



Dr. Martin Gschwind
Vizepräsident



Michel Pourquet
Vizepräsident



INHALT

Grenzwerte für Gefahrstoffe am Arbeitsplatz

Vorwort	5
Autoren und Mitwirkende	8
1. Geschichte der Arbeitsplatzgrenzwerte	10
1.1 Umgang mit chemischen Risiken von der Antike bis ins 18. Jahrhundert	11
1.2 Grenzwertsetzung im 19. und 20. Jahrhundert	13
1.3 Europäische Rechtsgrundlagen für Arbeitsplatzgrenzwerte	14
1.4 Literatur	15
2. Grundsätze zur Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten	16
2.1 Allgemeine Vorgehensweise	17
2.2 Gesundheitsbasierte Arbeitsplatzgrenzwerte	20
2.3 Risikobasierte Grenzwerte	29
2.4 Literatur	33
3. Arbeitsgrenzwerte in verschiedenen Regionen und Ländern	34
3.1 Europäische Union	36
3.2 Deutschland	38
3.3 Finnland	39
3.4 Frankreich	40
3.5 Großbritannien	41
3.6 Italien	42
3.7 Niederlande	43
3.8 Österreich	44

INHALT

3.9	Polen	45	5.6	Messung der inneren Belastung	68
3.10	Schweden	45	5.7	Probenahme	69
3.11	Schweiz	46	5.8	Bewertung der Ergebnisse	69
3.12	USA	47	5.9	Bedeutung der BAT-Werte	70
3.13	Literatur	48	5.10	Anwendungen des Biomonitorings im Gesundheitsschutz	70
4.	Luftüberwachung bei der Exposition gegenüber Chemikalien am Arbeitsplatz	50	5.11	Literatur	71
4.1	Variabilität von Luftkonzentration und Exposition	51	6.	Risikomanagement bei nicht vorhandenen Grenzwerten	72
4.2	Probenahmestrategie	55	6.1	Control-Banding-Ansatz	73
4.3	Leistungsfähigkeit von Probenahme- und Analyseverfahren	57	6.2	Verfahrensindices	75
4.4	Interpretation der Ergebnisse von Expositionsmessungen in Bezug auf Arbeitsplatzgrenzwerte	58	6.3	Literatur	76
4.5	Kombinierte Exposition gegenüber Chemikalien	60	7.	Grenzwerte für Nanomaterialien	78
4.6	Literatur	62	7.1	Nanomaterialien	79
5.	Biologisches Monitoring	64	7.2	Nano-Objekte und nanostrukturierte Materialien	79
5.1	Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte	65	7.3	Eigenschaften und Verwendung von Nanomaterialien	81
5.2	Aufnahmewege	67	7.4	Abschätzung der biologischen Effekte	82
5.3	Toxikokinetik	67	7.5	Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz	82
5.4	Wechselwirkungen	67	7.6	Empfehlungen	85
5.5	Indikatoren der Exposition	68	7.7	OECD-Hilfen zu Arbeitsschutz bei Nanomaterialien	85
			7.8	Literatur	87



AUTOREN UND MITWIRKENDE

AUTOREN UND MITWIRKENDE

Autoren und Mitwirkende

Prof. Dr. Herbert Bender

Martine Bloch

Dr. Thomas Brock

Dr. Stefan Engel

Dipl.-Biochem. Antje Ermer

Dr. Giovanni Fabrizi

Michaela Frenzel

Dr. Andreas Königer

Dr. Dr. Michael Koller

Dr. Lucina Mercadante

Mag. Norbert Neuwirth

Dr. Claudia Pletscher

Dr. Joachim Sommer

Dr. Raymond Vincent

Institutionen und Firmen

AUVA, Wien (Österreich)

BASF, Ludwigshafen (Deutschland)

BG RCI, Heidelberg (Deutschland)

Currenta, Leverkusen (Deutschland)

Gefahrstoff Consulting Compliance, Böhl-Iggelheim (Deutschland)

INAIL, Rom (Italien)

INRS, Paris (Frankreich)

Suva, Luzern (Schweiz)

Layout und Design

.puntomedien verlag.gmbh, Weinheim



1. GESCHICHTE DER ARBEITSPLATZGRENZWERTE

Raymond Vincent

GESCHICHTE

1.1 Umgang mit chemischen Risiken von der Antike bis ins 18. Jahrhundert

Auswirkungen von Chemikalien auf die Gesundheit der Personen, die damit an ihrem Arbeitsplatz exponiert werden, wurden schon vor mehr als 2000 Jahren beobachtet. In der Römerzeit berichtete beispielsweise der Architekt Marcus Vitruvius Pollio, auch bekannt als Vitruv (90-20 v. Chr.), über Krankheitsfälle bei Arbeitern, die in Gießereien mit Blei in Kontakt kamen. Basierend auf seinen Beobachtungen folgerte Vitruv, dass Blei nicht bei der Herstellung von Wasserleitungen verwendet werden sollte (siehe „De Architectura, Buch VII“).

Gaius Plinius Secundus, auch bekannt als Plinius der Ältere (23-79 v. Chr.), beschrieb, wie Arbeiter bei der Herstellung von Schüsseln und Tellern Schafsblasen als Masken benutzten, um sich vor Stäuben der blei- und quecksilberhaltigen Rohstoffe zu schützen.



Bild:
akg-images GmbH



1. GESCHICHTE DER ARBEITSPLATZGRENZWERTE



Bild: Deutsches
Museum Archiv

Die Gefahren einer Exposition bei der Verhüttung von Metallen wurden im 11. und 12. Jahrhundert erkannt. Bruderschaften nahmen sich der erkrankten Arbeiter an und boten den Familien Unterstützung. Einer der ersten dieser Art in Europa hatten 1188 die Bergleute in Goslar gegründet, wo im Rammelsberg nach Kupfer und Silber geschürft wurde. Aus diesen Bruderschaften entwickelten sich später die Knappschaften als Vorläufer der Sozialversicherungen.

Gegen Ende des Mittelalters berichtete Georg Bauer (1494-1555), besser bekannt unter seinem lateinischen Pseudonym Agricola, in seiner Schrift „De re metallica“ über Berufsrisiken beim Abbau und beim Verhütten von Eisen, Silber, Blei, Gold, Quecksilber und anderen Metallen und warnte vor „schwarzen Lungen“ bei Bergleuten [1.1].

Im Jahr 1700 schrieb Bernardino Ramazzini (1633-1714), der als „Vater der Arbeitsmedizin“ angesehen wird, das

erste bedeutende Buch über Berufskrankheiten und Arbeitshygiene: „De morbis artificum diatriba“ (Erkrankungen von Arbeitern) [1.2]. Das Buch beschreibt die gesundheitlichen Gefahren von reizenden Chemikalien, von Staub, Metallen und anderen aggressiven Substanzen, mit denen Arbeiter aus 52 Berufen in Kontakt kommen und spiegelte die zunehmende Besorgnis um Bergleute in einigen Teilen Europas wider.

1.2 Grenzwertsetzung im 19. und 20. Jahrhundert

Im Jahr 1849 empfahl in Deutschland Peter Koffer nach dem Studium der gesundheitlichen Auswirkungen von Kohlenmonoxid eine Belastungsgrenze von 50 ppm [1.3].

1874 führte der englische Militärarzt F. de Chamont die erste Studie über Raumluftqualität durch, dabei

korrelierte er verschiedene Konzentrationen von Kohlendioxid mit fünf Abstufungen der beobachteten Symptome. Er schlug für Kohlendioxid einen Raumluftstandard (Internal Air Quality, IAQ) von etwa 500 ppm vor, der damit gegenüber der Außenluft um 200 ppm höher lag [1.3].

Ab den 1880er Jahren begann man in Europa, die Gefahren einer Exposition gegenüber Chemikalien am Arbeitsplatz mehr oder minder systematisch zu berücksichtigen. Einer der ersten Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) wurde für Kohlenmonoxid eingeführt, er basierte auf einer 1883 von Max Gruber am Hygiene-Institut in München veröffentlichten Studie. Gruber legte den AGW von Kohlenmonoxid bei 200 ppm fest, nachdem er Hühner und Kaninchen über drei Tage mit unterschiedlichen Konzentrationen an Kohlenmonoxid exponiert hatte [1.3]. Um seine Annahme zu bestätigen, inhalierte Gruber selbst an zwei aufeinanderfolgenden Tagen für jeweils drei Stunden Kohlenmonoxid in einer Konzentration von 210 ppm.

1886 bestimmte und veröffentlichte Karl Bernhard Lehmann den AGW für einige organische Lösungsmittel und reizende Gase wie Schwefeldioxid, Halogene und Säuredämpfe [1.4].

Rudolph Kobert veröffentlichte 1912 im „Compendium of Practical Toxicology“ eine Liste mit akuten Belastungsgrenzen für 20 Chemikalien [1.5]. Die von Kobert vorgeschlagenen Grenzwerten entsprechen den Konzentrationen, oberhalb derer eine unmittelbare Gefahr für Leben oder Gesundheit (Immediately Dangerous to Life or Health, IDLH) eintritt.

In Südafrika wurde 1916 für Staub mit einem Quarzanteil von 80-90 % ein zulässiger Grenzwert von 8,5 Millionen Partikel pro Kubikfuß (mppcf) Luft festgelegt. Dieser Wert wurde durch die Korrelation der mit einem „Konimeter“ gemessenen Luftstaubkonzentration mit Ergebnissen von regelmäßigen Rönt-

gen-Thorax Untersuchungen an Goldminenarbeiter abgeleitet. 1917 veröffentlichte die amerikanische Bergbaubehörde einen Arbeitsplatzgrenzwert für Quarz von 10 mppcf.

In den 1920er Jahren wurde eine der umfassendsten Listen mit Arbeitsplatzgrenzwerten für 27 Chemikalien als „International Critical Tables for Numerical Data“ veröffentlicht und die amerikanische Bergbaubehörde empfahl für 33 Substanzen einen Grenzwert. In der UdSSR veröffentlichte das Arbeitsministerium 1930 eine Liste der maximal zulässigen Arbeitsplatzkonzentrationen für zwölf Chemikalien.

In den Vereinigten Staaten von Amerika wurde in den 1940er Jahren eine Liste mit zulässigen Höchstkonzentrationen (Maximum Allowable Concentrations, MACs) erstellt. Diese Liste basierte auf einem Konsens der American Standards Association (ASA) mit einer Reihe von Arbeitsmedizinern, die 1938 die American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) einberufen hatten. Der Grenzwerte-Ausschuss der ACGIH veröffentlichte die erste Tabelle mit 63 Expositionsgrenzwerten, die später als „Threshold Limit Values (TLVs)“ bekannt wurden. Während der 8. Jahrestagung der ACGIH im Jahr 1946 präsentierte der Grenzwerte-Ausschuss einen Bericht mit TLVs für 131 Gase, Dämpfe, Stäube, Rauche, Nebel und 13 Mineralstäube [1.6]. Im Dezember 1970 verkündete der US-Kongress das Arbeitsschutzgesetz (Occupational Safety and Health Act), welches als erstes Bundesgesetz die TLVs der ACGIH und des amerikanischen Instituts für nationale Standards (American National Standards Institute, ANSI) mit berücksichtigte.

Weltweit haben viele Länder die TLVs der ACGIH als Grundlage für die Etablierung eigener berufsbezogenen Standards verwendet. Noch heute finden viele davon allgemein Anwendung in Europa und einigen anderen Ländern, speziell in Lateinamerika [1.7].



1. GESCHICHTE DER ARBEITSPLATZGRENZWERTE

1.3 Europäische Rechtsgrundlagen für Arbeitsplatzgrenzwerte

Erst in den 1980er Jahren wurde mit der Einführung der Europäischen Richtlinie 80/1107/EWG eine einheitliche Rechtsgrundlage für Arbeitsplatzgrenzwerte gelegt [1.8]. Eine erste Liste mit Richtgrenzwerten (Indicative Occupational Exposure Limit Values, IOELVs) für 27 Stoffe wurde 1991 erstellt. Die Mitgliedstaaten hatten zwei Jahre Zeit, um diese in nationale Grenzwertlisten zu implementieren. Verschiedene zusätzliche Richtlinien haben 2000, 2003 und 2009 die ursprüngliche Liste erweitert.

Im Jahr 1995 richtete die Europäische Kommission die SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits) ein, welche sich aus maximal 21 durch die EU-Mitgliedstaaten vorgeschlagenen Mitgliedern zusammensetzt. Die SCOEL-Mitglieder sind unabhängige Experten aus den Bereichen Chemie, Toxikologie, Epidemiologie, Arbeits- und Betriebshygiene und geben auf wissenschaftlicher Grundlage Empfehlungen für Arbeitsplatzgrenzwerte an die Europäische Kommission ab. Seit 1995 hat die SCOEL insgesamt 177 Empfehlungen verabschiedet. Jeder Mitgliedstaat ist verpflichtet, die von der EU-Kommission empfohlenen Grenzwerte als verbindliche Arbeitsplatzgrenzwerte (Binding Occupational Exposure Limit Values, BOELVs) oder als Richtwerte (IOELVs) in nationale Vorschriften umzusetzen.

Jeder Mitgliedstaat der EU hat dabei sein eigenes Verfahren für die Umsetzung bzw. die Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten, gleichwohl weisen die angewendeten Verfahrensabläufe mit einem zweistufigen Procedere große Ähnlichkeiten auf. In der Regel erfolgt zunächst eine wissenschaftliche Bewertung durch Experten (manchmal mit Wirtschaftsinteressen, manchmal ohne Wirtschaftsinteressen und manchmal mit einer Mischung aus beidem) sowie Information und Konsultation der

Sozialpartner, beispielsweise innerhalb des Comité d'orientation sur les conditions de travail (COST) in Frankreich oder dem Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) in Deutschland. Im Anschluss wird in einem zweiten Schritt die wirtschaftliche und technische Umsetzbarkeit geprüft, wobei hierbei die wirtschaftlichen Interessen und die Sozialpartner vertreten sind. Im Anschluss an die Beratungen legen die zuständigen Behörden die Expositionsgrenzwerte fest.

Im Zusammenhang mit der EU-Verordnung „Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien“ (REACH) zur Verbesserung des Schutzes von Mensch und Umwelt, sind die Hersteller oder Importeure von Chemikalien verpflichtet, deren Gesundheits- und Umweltrisiken im Rahmen einer Registrierung zu beurteilen [1.9]. Der Registrierungspflichtige muss so genannte Derived No Effect Levels (DNEL-Werte) als Expositionsgrenzwerte angeben. Für Verbindungen ohne Schwellenwert können so genannte Derived Minimum Exposure Levels (DMEL-Werte) festgelegt werden. DNEL und DMEL können nicht als Arbeitsplatzgrenzwerte betrachtet werden.

Die heutzutage weltweit angewendeten Arbeitsplatzgrenzwerte werden hauptsächlich durch zwei verschiedenen Gremien festgelegt: in Nordamerika hat die ACGIH eine herausragende Bedeutung und in Europa fällt die ähnliche Rolle dem SCOEL zu. Zwischen der Anzahl der verwendeten Chemikalien und der Anzahl an vorhandenen Arbeitsplatzgrenzwerten besteht dabei ein erheblicher Unterschied.

Diese kurze Chronologie zeigt, dass Gefahrstoffe am Arbeitsplatz seit fast 2000 Jahren bekannt sind, die daraus resultierenden Gefährdungen aber erst in den letzten 150 Jahren nicht mehr hingenommen wurden. Wesentliche Hindernisse für die Entwicklung von Arbeitsplatzgrenzwerten waren die Möglichkeit der Probenahme und die Tatsache, dass bei analytischen Methoden eine quantitative Bewertung der Arbeitsplatzumgebung schwierig war.

1.4 Literatur

Alle Internetseiten wurden am 25. Januar 2016 aufgerufen.

- [1.1] Agricola, G.: De re Metallica (1552).
www.wikipedia.org/wiki/De_re_metallica
- [1.2] Ramazzini, B.: De Morbis Artificum Diatriba (1700).
www.wikipedia.org/wiki/Bernardino_Ramazzini
- [1.3] History of Indoor Air Quality standards, in: International Indoor Air Quality Standards and Guidelines for over 2,000 Chemicals and Biological Substances. Occupational Environmental Health Solutions, Inc.,
www.oehcs.com/book4chapter1.htm
- [1.4] www.wikipedia.org/wiki/Karl_Bernhard_Lehmann
- [1.5] Buess, H.: Rudolf Kobert, a pioneer of pharmacology, toxicology, pharmacohistory and public health. Schweizerische medizinische Wochenschrift, 84(16):448-50 (1954)
- [1.6] www.acgih.org/about/history.htm
- [1.7] Paustenbach, D. J.: Occupational Exposure Limits, in: Herrick, R. F. (Ed.); Mager Stellman, J. (Editor-in-Chief): Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Vol.30: Occupational Hygiene. International Labor Organization, Geneva (2011)
www.iloencyclopaedia.org/part-iv-66769/occupational-hygiene-47504/48-30-occupational-hygiene/occupational-exposure-limits
- [1.8] Council Directive 80/1107/EEC of 27 November 1980 on the protection of workers from the risks related to exposure to chemical, physical and biological agents at work.
www.eur-lex.europa.eu
- [1.9] REACH, European commission, Enterprise and Industry
www.echa.europa.eu/de/regulations/reach



2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG

Herbert Bender

2.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die allgemeine Vorgehensweise zur Festlegung eines Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) basiert auf toxikologischen Daten aus Tierversuchen. Diese müssen in Grenzwerte zum Schutz der Arbeiter vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen transformiert werden. Das entsprechende Vorgehen ist in [Abbildung 2.1](#) dargestellt.

Um einen AGW festzulegen, sollte zumindest die grundsätzlichen toxikologischen Eigenschaften bekannt sein, insbesondere:

- Akute letale Dosis,
- Reiz- bzw. Ätzwirkung,
- Lokale versus systemische Effekte,
- Grundlegende Informationen zur Mutagenität bzw. Genotoxizität,
- Hautpenetration.

Diese Eigenschaften, oft als Basisset bekannt, beschreiben das akute Potenzial von Substanzen. Um jedoch die toxikologischen Eigenschaften eines Stoffes angemessen zu beschreiben, ist zusätzliches Wissen über weitere Eigenschaften erforderlich. Für eine umfassende Beurteilung müssen beispielsweise auch Erkenntnisse zur Reproduktionstoxizität vorliegen. In den meisten Fällen sind Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit nicht die sensitivste Eigenschaft. Um Schäden für das ungeborene Kind zu verhindern, sind Erkenntnisse zu fruchtschädigenden Eigenschaften von Bedeutung. Um die Reproduktionstoxizität mit Risiken für die Fruchtbarkeit und die Entwicklung des Fötus nachzuweisen, stehen unterschiedliche Testmethoden zur Verfügung.

Untersuchungen zum Nachweis mutagener Eigenschaften durch in-vitro Screening-Tests sind Teil der Grunduntersuchungen. Sofern signifikante positive Ergebnisse gefunden werden, sind zusätzliche in-vivo-Tests zum Ausschluss oder zur Bestätigung eines erbgutverändernden Potentials notwendig. Insbesondere beim Vorliegen

eindeutiger Beweise für ein mutagenes Potential sind Langzeittiersversuche erforderlich, um mögliche krebs-erzeugende Eigenschaften zu bewerten.

Um einen gesundheitsbasierten AGW festzulegen, sind Untersuchungen mit wiederholter Exposition erforderlich. In subakuten Studien umfasst die Mindestdauer bei Expositionsversuchen an Nagetieren üblicherweise einen Zeitraum von 28 Tagen. Die Substanzen können entweder oral oder inhalativ, gelegentlich auch dermal verabreicht werden.

Der Nachweis langfristiger oder auch kumulativer Auswirkungen auf die Gesundheit erfordert die Durchführung empfindlicherer Untersuchungen in Form von subchronischer (90-Tage Studie) oder chronischer Studien (in der Regel über zwei Jahre). Im ersteren Fall wird die Substanz über das Trinkwasser oder das Futter verabreicht, im Fall von Gasen oder Flüssigkeiten wird die Atmosphäre in der Inhalationskammer mit der Substanz als Gas oder Dampf angereichert. Feststoffe und Flüssigkeiten mit hohem Siedepunkt werden als Aerosole verabreicht.

Alle toxikologischen Untersuchungen müssen den internationalen Qualitätsstandards der Guten Laborpraxis (GLP) folgen. Insbesondere bei legislativen Anforderungen, wie z. B. nach der REACH-Verordnung, müssen die Studien in Übereinstimmung mit den entsprechenden Leitlinien der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) durchgeführt werden. Die nachfolgende Aufzählung stellt eine Auswahl häufig verwendeter Richtlinien dar [2.4]:

- OECD 401: Akute orale Toxizität,
- OECD 402: Akute dermale Toxizität,
- OECD 403: Akute inhalative Toxizität,
- OECD 407: 28-Tage Toxizitätsstudie bei wiederholter oraler Verabreichung an Nagetiere,
- OECD 408: 90-Tage Toxizitätsstudie bei wiederholter oraler Verabreichung an Nagetiere,
- OECD 411: Subchronische Inhalationsstudie: 90-Tage,



2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

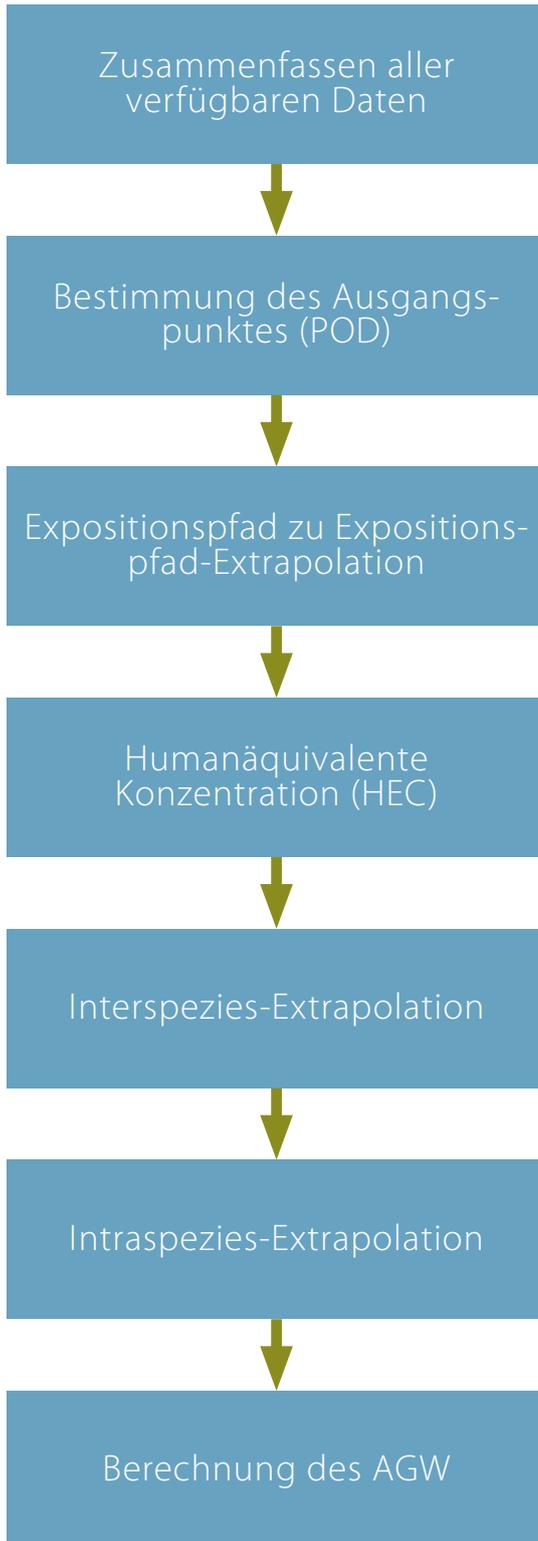


Abbildung 2.1:
Schritte zur Ableitung
eines AGW

- Akutstudien (oral, dermal, inhalativ)
- Studien mit wiederholter Dosierung (subakut, subchronisch, chronisch)
- Studien zur Reproduktionstoxizität
- Studien zur Karzinogenität, Mutagenität
- Sensibilisierung
- Reizung, Verätzung

Wahl der relevantesten Studie (Schlüsselstudie)

Oral: allometrische Extrapolation
 Dermal: Extrapolationsfaktor
 Inhalativ: kein Extrapolationsfaktor erforderlich

Korrektur des Körpergewichts

Anwendung eines Extrapolationsfaktors

Anwendung eines Extrapolationsfaktors



- OECD 412: Subakute Inhalationstoxizität: 28-Tage Studie,
- OECD 413: Subchronische Inhalationstoxizität: 90-Tage Studie,
- OECD 452: Chronische Toxizitätsstudie.

Zur Entwicklung eines AGW müssen zunächst die vorhandenen Tierstudien bewertet und dann die wichtigsten Schlüsselstudien, die am treffendsten das Verhalten der Chemikalie im Menschen beschreiben, identifiziert werden. Um die Daten bewerten zu können, sind beispielsweise Kenntnisse des menschlichen Stoffwechsels im Vergleich zu dem der Versuchstiere von Bedeutung.

Um ein vollständiges Bild über das gesundheitsschädigende Verhalten einer Chemikalie zu erhalten, müssen nicht nur Tierstudien beurteilt werden, sondern alle zur Verfügung stehenden Informationen, wie Erfahrungen am Menschen über die Giftinformationszentren oder Erkenntnisse am Arbeitsplatz sowie der Arbeitsmedizin.

Des Weiteren können die Daten zur Festlegung eines Arbeitsplatzgrenzwertes anderer Verbindungen mit vergleichbaren Eigenschaften herangezogen werden. Bei Anwendung eines solchen Analogiekonzeptes muss die Vergleichbarkeit beider Substanzen zunächst durch eine gut fundierte Dosis-Wirkungsbeziehung und zusätzlich durch ausgewählte toxikologische Schlüsseluntersuchungen belegt werden.

Bei der Auswahl der Studien für die Festlegung der weiteren Ableitung muss der relevante Expositionspfad berücksichtigt werden. Da viele Chemikalien bei oraler, der-

maler oder inhalativer Aufnahme unterschiedlich toxisch wirken können, sind die Studien zu bevorzugen, die die Expositionssituationen der Beschäftigten am besten widerspiegeln.

Für die folgenden Schritte müssen - basierend auf tierexperimentellen Studien mit wiederholter Exposition - so genannte Dosisdeskriptoren identifiziert werden. Hierzu wird in der Regel zwischen zwei verschiedenen Wirkungsweisen toxikologischer Eigenschaften unterschieden:

- Wirkungsweise („mode of action“) mit Schwellenwert, unterhalb dessen keine Gesundheitsbeeinträchtigung auftritt, wie das der Fall für die meisten toxischen Eigenschaften ist.
- Wirkungsweise ohne Schwellenwert: wird in der Regel für gentoxische Karzinogene oder Mutagene angenommen.

Je nach Wirkungsweise sind verschiedene Dosisdeskriptoren relevant.

In der Regel werden bei der Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten zur Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Tierversuchen auf die Situation des Menschen am Arbeitsplatz Extrapolationsfaktoren („Assessment Factors“, AF) verwendet. Dabei unterscheidet man zwischen:

- Korrekturfaktoren, die eine Normierung der Dosis bezüglich der Spezies oder der Expositionsdauer gewährleisten.
- Unsicherheitsfaktoren, die bei fehlenden Daten oder schlechter Datenqualität angewandt werden.

2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

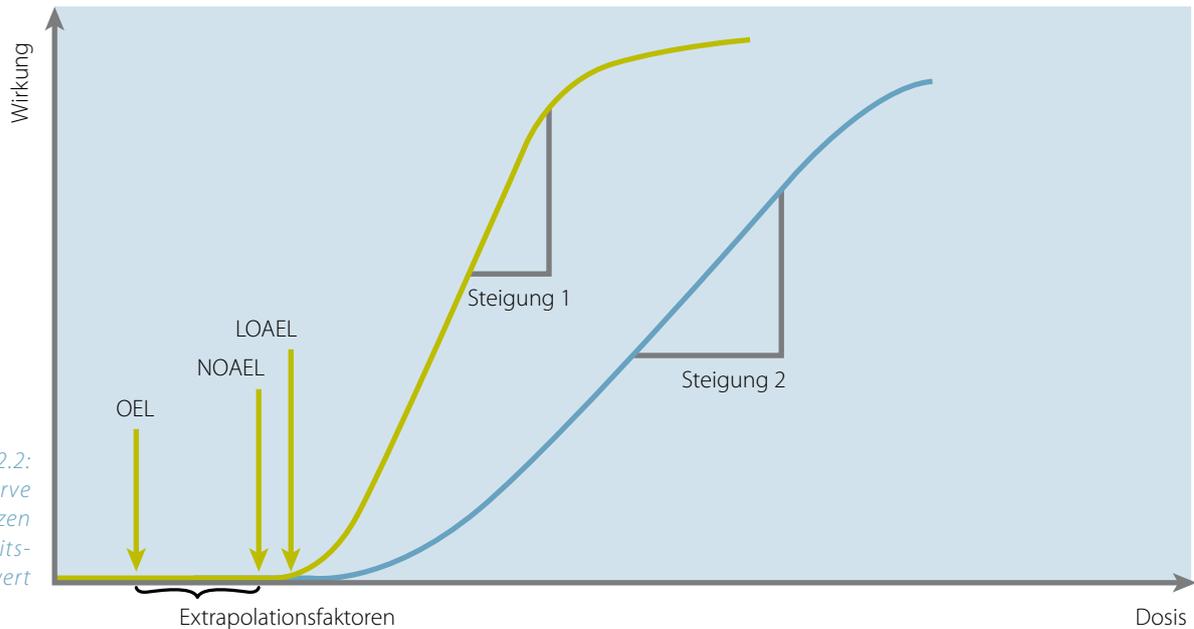


Abbildung 2.2:
Dosis-Wirkungs-Kurve
für Substanzen
mit gesundheits-
basiertem Grenzwert

OEL: Occupational Exposure Limit
NOAEL: No Observed Adverse Effect Level
LOAEL: Low Observed Adverse Effect Level

Die Steigung der Dosis-Wirkungs-Kurve gibt die Schwere der gesundheitlichen Auswirkungen einer Dosis oberhalb des NOAEL wieder.

2.2 Gesundheitsbasierte Arbeitsplatzgrenzwerte

In der Regel wird zur Ableitung eines gesundheitsbasierten Arbeitsplatzgrenzwertes ein „No Observed Adverse Effect Level“ (NOAEL, höchste Dosis eines Stoffes, bei der keine adversen Effekte beobachtet werden) aus oralen oder dermalen Studien sowie die „No Adverse Effect Concentration“ (NOAEC, höchste Konzentration ohne adversen Effekt) aus Inhalationsstudien mit subakutem, subchronischem oder chronischem Studiendesign mit wiederholter Exposition benötigt (siehe [Abbildung 2.2](#)).

In besonderen Fällen können Grenzwerte auch durch „Quantitative Structure Activity Relationships“ (QSARs, Quantitative Struktur-Aktivitäts-Zusammenhänge) sowie durch den Vergleich zu gut untersuchten Substanzen mit dem gleichen toxikologischen Profil abgeleitet werden.

Ein weiterer Ausgangspunkt für die Festlegung eines Arbeitsplatzgrenzwertes können der „Low Observed Adverse Effect Level“ (LOAEL, niedrigste Dosis eines Stoffes, bei der die ersten adversen Effekte beobachtet werden) oder die „Low Observed Adverse Effect Concentration“

(LOAEC, niedrigste Konzentration beobachteter adverser Effekte) für inhalative Studien sein.

Für die Festlegung eines gesundheitsbasierten Arbeitsplatzgrenzwertes sind, wie bereits erwähnt, in der Regel Tierstudien mit wiederholter Exposition erforderlich. Folgende Kriterien sollten bei der Auswahl der Studien berücksichtigt werden:

- Inhalative Studien sind dermalen oder oralen Studien vorzuziehen.
- Chronische Studien sind subchronischen oder subakuten vorzuziehen.
- Bei inhalativen Studien sind Expositionszeiträume von sechs oder acht Stunden pro Tag gegenüber einer 24-Stunden-Exposition oder einer kurzzeitigen Exposition vorzuziehen.

Darüber hinaus sollten die Toxikokinetik und Toxikodynamik in den Tierstudien dem menschlichen Reaktionsverhalten so vergleichbar wie möglich sein. Ebenso sollte das Zielorgan im Tierversuch identisch mit dem beim Menschen sein. Sofern Studien mit verschiedenen Tiermodellen zur Verfügung stehen, sollten solche als geeignet ausgewählt werden, die dem Menschen am nächsten stehen.

Wenn die Chemikalie oder ihr aktiver Metabolit die Schwellenkonzentration im relevanten Zielorgan erreicht, können nachteilige gesundheitliche Auswirkungen festgestellt werden. Dies ist abhängig von:

- dem Grad der Exposition,
- dem Expositionspfad,
- dem Grad der Eliminierung aus dem Zielorgan und der Degradierung im Zielorgan.

Als Folge der unterschiedlichen Toxikokinetiken und Wirkungsweisen variieren die Schwellenwerte entsprechend der verschiedenen Expositionspfade und Spezies erheblich.

Der nächste Schritt ist die Identifizierung aller bestehenden Dosisdeskriptoren wie:

- akut-letale Toxizitätswerte LD50 und LC50,
- LOAEL (oder LOAEC),
- NOAEL (oder NOAEC).

Stehen verschiedene Dosisdeskriptoren aus unterschiedlichen Studien zur Verfügung, muss der am besten geeignete Dosisdeskriptor als „Point of Departure“ (POD, Ausgangspunkt) ausgewählt werden. Folgende Argumente müssen für die Auswahl berücksichtigt werden:

- Bioverfügbarkeit im Vergleich zwischen Versuchstier und Mensch.
- Expositionsdauer.

Sofern keine Daten zur Bioverfügbarkeit verfügbar sind, wird als Standardfestlegung kein Unterschied zwischen den Versuchstieren und dem Menschen angenommen. Wenn die Wirkungsweise in erster Linie lokal begrenzt und durch eine konzentrationsabhängige Dosis-Wirkung-Beziehung beschreibbar ist, sind - sofern vorhanden - Untersuchungen zur akuten Reiz- oder Ätzwirkung heranzuziehen.

Bei der Entwicklung eines Arbeitsplatzgrenzwertes werden langfristige Untersuchungen zu systemischen Effekten bevorzugt berücksichtigt. Da die Arbeitszeit typischerweise acht Stunden beträgt, sollten Studien mit signifikant kürzerer Exposition (z. B. eine Stunde) oder deutlich längerer Exposition (z. B. 24 Stunden für die Umweltbelastungssituationen der Allgemeinbevölkerung) nicht verwendet werden.

2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

Abbildung 2.3:
Atemvolumen für
Ratten und Menschen

Spezies	Körpergewicht [kg]	Atemvolumen [l/min]	Atemvolumen [l/(min · kg BW)]
Ratte	0,25	0,2	0,8
Mensch	70	14	0,2

2.2.1 Korrektur der Expositionsdauer

In Inhalationsversuchen mit wiederholter Exposition, die zur Festlegung eines Arbeitsplatzgrenzwertes nach den Richtlinien der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) durchgeführt werden, werden die Substanzen typischerweise sechs Stunden täglich, fünf Tage pro Woche, über 28 Tage für eine subakute Studie, über 90 Tage für eine subchronische Studie und in der Regel über zwei Jahre für die Untersuchungen der chronischen Toxizität verabreicht.

Für eine Exposition am Arbeitsplatz wird angenommen, dass sie acht Stunden pro Tag, fünf Tage pro Woche und 220 Tage im Jahr stattfindet. Daher müssen die oben erwähnten experimentellen Konzentrationen unter Verwendung der folgenden Gleichung an eine achtstündige Expositionsdauer angepasst werden:

$$\text{Angepasster POD} = \text{NOAEC} \cdot 8/6$$

Wird ein POD aus einer Umweltstudie mit einem Inhalationsszenario ausgewählt, ist zu berücksichtigen, dass dort ein anderer Ansatz für die Entwicklung eines DNEL für die Allgemeinbevölkerung angewendet wird. Für den

Fall einer Studie mit einer Expositionsdauer von 24 Stunden pro Tag über sieben Tage pro Woche muss folgende Gleichung angewendet werden:

$$\text{Angepasster POD} = \text{NOAEC} \cdot 8/24 \cdot 5/7$$

Sofern eine Langzeit-Studie über 365 Tage pro Jahr durchgeführt wurde, ist ein zusätzlicher Extrapolationsfaktor von 220/365 für die Berechnung notwendig.

Die Übertragbarkeit von Langzeit-Inhalationsstudien über Situationen am Arbeitsplatz auf die Allgemeinbevölkerung ist begrenzt. Viele Substanzen werden während der Zeit ohne Exposition am Arbeitsplatz zu einem Großteil in relevanten Mengen metabolisiert. Diese Beschränkungen sind im Fall eines erhöhten kumulativen Verhaltens oder bei Ausscheidungszeiten, die signifikant über einem Tag liegen, weniger relevant.

Physiologische Parameter	Ratte	Mensch
Körpergewicht	250 g	70 kg
Atemvolumen	0,2 l/min → allometrische Skalierung → 0,8 l / (min · kg Körpergewicht)	0,2 l / (min · kg Körpergewicht)
Für relevante Dauer: 6 h Exposition 8 h Exposition 24 h Exposition	0,29 m ³ /kg Körpergewicht 0,38 m ³ /kg Körpergewicht 1,15 m ³ /kg Körpergewicht	5 m ³ /Person 7 m ³ /Person 20 m ³ /Person
Atemvolumen für Arbeiter bei leichter körperlicher Tätigkeit 8 h Exposition		10 m ³ /Person

Abbildung 2.4:
Allometrische Skalierung

Spezies	Körpergewicht [kg]	Allometrischer Skalierungsfaktor
Ratte	0,25	4
Maus	0,03	7
Hamster	0,11	5
Meerschweinchen	0,8	3
Hase	2	2,4
Affe	4	2
Hund	18	1,4

Abbildung 2.5:
Allometrische Skalierungsfaktoren für verschiedene Spezies im Vergleich zum Menschen



2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

2.2.2 Extrapolation zwischen verschiedenen Expositionspfaden

Eine Extrapolation zwischen unterschiedlichen Expositionspfaden ist möglich, wenn die Wirkungsweise nicht durch lokale Effekte, wie reizende oder ätzende Wirkungen dominiert wird. Reizgase wie z. B. Chlorwasserstoff oder Säuredämpfe mit starker Reizwirkung auf die Atemwege zeigen erst bei deutlich höheren Konzentrationen im Vergleich zur Reizkonzentration systemische Wirkungen.

Typischerweise bestimmt der Expositionspfad:

- die Absorptionsrate,
- die Verteilung im Körper,
- die Art der Metabolisierung,
- die Ausscheidung.

Im Fall einer Inhalation muss keine Übertragung zwischen den Expositionspfaden erfolgen. Die Extrapolation der Ergebnisse einer oralen Exposition auf eine inhalative Aufnahme erfolgt typischerweise durch eine allometrische Beurteilung. Für die Übertragung dermalen Langzeitstudien gibt es keine Extrapolationsfaktoren, da diese Studien in der Regel nicht bestimmend sind.

Die Anpassung eines NOAEL aus oralen Studien wird anhand der in [Abbildung 2.3](#) dargestellten allometrischen Extrapolationsfaktoren vorgenommen, die auf der Differenz des Atemvolumens pro kg bei der Übertragung verschiedener Tiere auf den Menschen basieren. Die verschiedenen Atemvolumina sind in [Abbildung 2.4](#) in Abhängigkeit der Dauer dargestellt. [Abbildung 2.5](#) zeigt die vorgeschlagenen Extrapolationsfaktoren.

2.2.3 Intraspezies-Extrapolation

Die individuellen Unterschiede innerhalb der verwendeten Tierpopulationen fallen im Vergleich zum Menschen

deutlich niedriger aus. Eine Ursache ist die Verwendung speziell ausgewählter Tiere, die ausschließlich aus Inzuchtlinien stammen. Als Ergebnis davon haben diese Tiere eine engere Verteilung der individuellen Eigenschaften. Da in der Regel Inzuchttiere im Vergleich zu den Wildtieren empfindlicher sind, werden zusätzliche Extrapolationsfaktoren verwendet, um die folgenden Parameter zu berücksichtigen:

- genetischer Polymorphismus,
- Alter (Versuchstiere sind in der Regel Jungtiere),
- Geschlechterdifferenzierung (wenn nur ein Geschlecht getestet wurde),
- Gesundheitsstatus (Testtiere sind in der Regel nicht erkrankt),
- Ernährungsstatus.

In der REACH Leitlinie R.8 der ECHA [2.2] werden die folgenden Extrapolationsfaktoren (AF) empfohlen:

- AF (Intraspezies) für Arbeiter = 5
- AF (Intraspezies) für die Durchschnittsbevölkerung = 10

Abweichungen von den oben genannten Extrapolationsfaktoren sind gerechtfertigt, wenn die genannten Parameter nicht für die empfindlichsten gesundheitlichen Beeinträchtigungen relevant sind. Darüber hinaus fallen die Unterschiede innerhalb derselben Art bei lokalen Effekten in der Regel niedriger aus, folglich sind hier Extrapolationsfaktoren von 1 oder 2 gerechtfertigt.

2.2.4 Interspezies-Unterschiede

Wird ein AGW aus einer Tierstudie abgeleitet, wird ein zusätzlicher Interspezies-Sicherheitsfaktor angewendet. Er ist dazu gedacht, die toxikokinetischen und toxikodynamischen Unterschiede zwischen der untersuchten Spezies und dem Menschen zu berücksichtigen. Um Tierversuchstudien auf den Menschen

zu übertragen gilt die Grundannahme, dass Menschen deutlich sensitiver als Tiere reagieren. Bei oralen Tierstudien schließt der allometrische Faktor bereits die Extrapolation zwischen den Expositionspfaden ein. Auch für die Übertragbarkeit inhalativer Tierversuche ist ein weiterer Extrapolationsfaktor in der Regel nicht notwendig. Dagegen kann im Falle spezifischer Sensitivitäten ein zusätzlicher Extrapolationsfaktor verwendet werden. Ein weiterer Faktor berücksichtigt, dass in der Durchschnittsbevölkerung auch Jugendliche und nicht gesunde Menschen exponiert werden. Es ist international üblich, dass für die Berücksichtigung solcher Unsicherheiten ein Faktor 10 ausreichend ist. Eine Auswahl verschiedener Extrapolationsfaktoren, in einem Bericht der WHO als „Unsicherheitsfaktoren“ benannt, ist in [2.1] veröffentlicht.

Bei ausreichendem Kenntnisstand kann für den inhalativen Expositionspfad eine dosimetrische Anpassung aufgrund physikalisch-chemischer und biologischer Parameter (z. B. Blutfluss, Verteilungskoeffizienten) durchgeführt werden, was auch eine maximale Reduktion des toxikokinetischen Anteils des Sicherheitsfaktors ermöglicht. Dies kann zum Beispiel anhand eines „Physiologisch Basierten Pharmakokinetischen“ (PBPK) Modells erfolgen. In der Praxis schlägt die amerikanische Environmental Protection Agency (EPA) bei der Anwendung einer dosimetrischen Anpassung oder allometrischen Skalierung für die Durchschnittsbevölkerung einen Sicherheitsfaktor von 3 vor.

Bei Studien mit oraler Aufnahme ist die Berechnung einer auf den Menschen bezogenen Dosis notwendig. Liegt die Dosis aus einer tierexperimentellen Studie mit wiederholter oraler Exposition für den NOAEL bei 10 mg/kg Körpergewicht pro Tag, würde sich die Berechnung für die entsprechende humane Äquivalenzdosis auf folgende Parameter beziehen:

- Angenommenes Körpergewicht: 60 kg (oder 70 kg, je nach Kommission),
- Atemvolumen über acht Stunden: 10 m³.

Eine über acht Stunden eingeatmete Konzentration von 6 (oder 7) mg/m³ führt zum gleichen Ergebnis.

Wenn Inhalationsstudien mit einem NOAEC von 6 (oder 7) mg/m³ für die Festlegung eines POD herangezogen wurden, sind keine weiteren Berechnungen zur Bestimmung einer auf den Menschen bezogenen Ausgangskonzentration notwendig. Sofern die humane Bioverfügbarkeit bekannt ist und diese sich von der der Versuchstiere unterscheidet, müssen diese Ergebnisse in die Modifikation der oben berechneten Ausgangskonzentration einfließen.

2.2.5 AGW_{akut}

Für spezielle Szenarien, wie z. B. bei Produktionskampagnen von nur ein oder zwei Wochen pro Jahr, oder für die Beurteilung einer einmaligen Exposition werden Grenzwerte für akute Expositionsszenarien benötigt. Anders als bei der Entwicklung eines Langzeit-Arbeitsplatzgrenzwertes werden zur Auswahl eines POD Teststudien mit einer kürzeren Expositionsdauer bevorzugt. Zusätzlich vorliegende Kurzzeit-Tierstudien, wie z. B. ein- oder zweiwöchige Studien zur Findung eines Dosisbereiches, können herangezogen werden. In diesem Fall sind Extrapolationsfaktoren für die Dauer der Exposition nicht erforderlich, außerdem können im Vergleich zu einem Langzeit-AGW Extrapolationsfaktoren bezüglich Inter-spezies-Unterschiede reduziert werden.

2.2.6 AGW abgeleitet vom LOAEL

In tierexperimentellen Studien mit wiederholter Exposition lassen sich selbst in der Versuchsgruppe mit der niedrigsten getesteten Dosis Auswirkungen auf die Gesundheit oder Änderungen einiger physiologischer Parameter erfassen. In solchen Situationen muss entschieden werden, inwieweit sich die Abweichung eines

2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

Grund	Beschreibung	Korrekturfaktoren für systemische Effekte	Korrekturfaktoren für lokale Effekte
Interspezies	Korrektur der unterschiedlichen Stoffwechselraten (allometrischer Faktor)	4: Ratte - Mensch	1
		7: Maus - Mensch	1
	verbleibende Unterschiede	2,5	2,5
Intraspezies	Arbeiter	5	5
	Durchschnittsbevölkerung	10	10
Extrapolation der Zeit	Subakut zu subchronisch	3	3
	Subchronisch zu chronisch	2	2
	Subakut zu chronisch	6	6
Expositions- pfad zu Expositions- pfad Extrapo- lation	Oral zu inhalativ	2	
	Inhalativ zu oral	1	
	Dermal zu oral	1	
	Oral zu dermal	1	
	Dermal zu inhalativ	Fall zu Fall	
	Inhalativ zu dermal	Fall zu Fall	
Dosis-Wirkung / Schwere der Wirkung	Zuverlässigkeit der Dosis-Wirkung, LOAEL/NOAEL-Extrapolation und Schwere der Wirkung	≥ 1	≥ 1
Qualität der Daten	Vollständigkeit und Konsistenz der zur Verfügung stehenden Daten	≥ 1	≥ 1
	Zuverlässigkeit von alternativen Daten	≥ 1	≥ 1

Abbildung 2.6:
Standardextrapolations-
faktoren in Überein-
stimmung mit dem
Dokument der
REACH Leitlinie R.8
der ECHA [2.2]

physiologischen Parameters relevant nachteilig auf die Gesundheit auswirken kann. Als Folge immer fortschrittlicherer Analyseverfahren nimmt die Anzahl derartiger Entscheidungen zu und stellt die Begutachter vor weitere Herausforderungen.

Bei geringfügigen Auswirkungen auf die Gesundheit innerhalb der Versuchsgruppe mit der niedrigsten Dosierung kann ein AGW berechnet werden. Dabei sollten die Form und die Steigung der Dosis-Wirkungs-Kurve sowie das Ausmaß und Schwere des Effektes beim LOAEL berücksichtigt werden. Gemäß der REACH Leitlinie R.8 der ECHA [2.2] erscheint ein Extrapolationsfaktor von 3 als angemessen. Beim Vorliegen einer sehr flachen Dosis-Wirkungs-Kurve oder bei schwer interpretierbaren Auswirkungen auf die Gesundheit findet die Anwendung des Ansatzes ihre Grenzen.

2.2.7 Berechnung eines gesundheitsbasierten AGW

Der NOAEL aus tierexperimentellen Studien mit oraler Verabreichung wird in der Regel in mg Substanz pro kg Körpergewicht des Tieres angegeben. Dieser Wert kann in Übereinstimmung mit den folgenden anerkannten Regeln in eine Inhalationskonzentration überführt werden:

- Körpergewicht (Body weight, BW) des Beschäftigten: 60 kg,
- Inhalationsvolumen (Acht-Stunden-Arbeitstag bei leichten Arbeitsbedingungen): 10 m³.

Basierend auf dieser Voraussetzung ergeben sich folgende Korrelationsfaktoren:

[a] 1 [mg/kg BW pro Tag] ~ 6 [mg/m³]
(d. h. der NOAEL (oral) von 1 mg/kg Körpergewicht pro Tag entspricht einer inhalativen Konzentration von 6 mg/m³)

Typischerweise unterscheidet sich die Resorptionsrate oral aufgenommener Chemikalien von der bei einer inhalativen Aufnahme. Liegen keine weiteren Informationen vor, sind beide Expositionspfade gleich zu beurteilen. Sofern die Resorptionsrate für eine inhalative Exposition bekannt ist, können die tatsächlichen Resorptionsraten verwendet werden. Abgesehen von einigen Ausnahmen ist die inhalative Resorptionsrate in der Regel geringer als die orale Resorptionsrate. Wenn die orale Resorptionsrate mit 100 % bewertet ist, kann die Ausgangskonzentration von [a] mit dem Quotient aus der inhalativen zur oralen Resorptionsrate f_{res} multipliziert werden.

$$[b] 1 \text{ [mg/kg BW pro Tag]} \sim 6 \cdot f_{\text{res}} \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

Durch die Anwendung von Extrapolationsfaktoren können sowohl die Unsicherheiten für eine Übertragung tierexperimentell ermittelter Daten auf Expositionswerte beim Menschen als auch weitere Aspekte berücksichtigt werden:

- Expositionspfad zu Expositionspfad: oral zu inhalativ, dermal zu inhalativ oder oral zu dermal.
- Expositionsdauer: subakut zu chronisch, subchronisch zu chronisch.
- Interspezies: von Nagetieren zu Menschen.
- Intraspezies: individuelle Unterschiede.

Die für die Festlegung eines „Derived No Effect Level“ (DNEL) empfohlenen Extrapolationsfaktoren der REACH Leitlinie R.8 der ECHA sind in [Abbildung 2.6](#) aufgeführt.

Der DNEL ist eine über eine bestimmte Expositionsdauer abgeleitete Expositionshöhe für einen Stoff, unterhalb derer die menschliche Gesundheit von Arbeitern oder Verbrauchern nicht beeinträchtigt wird.

2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

Spezies	Ge- schlecht	Körpergewicht [kg]	Futteraufnahme pro Tag* [g]	Wasseraufnahme pro Tag* [ml]
Maus	männlich	0,03	3,6 (120)	5 (167)
	weiblich	0,025	3,25 (130)	5 (200)
Ratte	männlich	0,5	20 (40)	25 (50)
	weiblich	0,35	17,5 (50)	20 (57)
Hamster	männlich	0,125	11,5 (92)	15 (120)
	weiblich	0,11	11,5 (105)	15 (136)

Abbildung 2.7:
Standardwerte für Kör-
pergewicht, Futter- und
Wasseraufnahme für die
Berechnung der Dosen in
Lebenszeitstudien

*In Klammern wird die tägliche Futter- bzw. Wasseraufnahme in g bzw. ml pro kg Körpergewicht pro Tag angegeben.

Für Arbeitsplätze mit wiederholter Exposition gilt in der Regel eine Exposition von acht Stunden pro Tag (Schichtdauer) bei fünf Tagen pro Woche und 220 Tage im Jahr über die gesamte Lebensarbeitszeit. Die intraindividuellen Unterschiede innerhalb der Arbeiter sind in der Regel deutlich niedriger anzusehen als in der Normalbevölkerung, da z. B. normalerweise keine kranken oder alten Menschen an den Arbeitsplätzen beschäftigt sind. Folglich ist der Intraspezies-Extrapolationsfaktor in Abbildung 2.6 für Verbraucher doppelt so hoch wie der für Arbeiter. Die dargestellten Extrapolationsfaktoren können verändert werden, wenn zusätzliche Informationen über das Stoffwechselverhalten bekannt sind.

Im Allgemeinen kann die Wirkungsweise von Karzinogenen zwei verschiedenen Prinzipien folgen:

- Karzinogene mit gesundheitsbasierten Grenzwerten: nicht-gentoxisch,
- Karzinogene ohne Schwellenwert: gentoxisch.

Im ersten Fall ist der Ansatz für die Entwicklung eines Arbeitsplatzgrenzwertes nicht anders als bei Stoffen ohne krebserregende Eigenschaft. Um für gentoxisch wirkende Karzinogene Grenzwerte zu entwickeln, die die Risiken am Arbeitsplatz auf einem akzeptablen Niveau beschränken, wird ein anderer Ansatz benötigt.

Verschiedene nationale Ausschüsse für die Entwicklung von Arbeitsplatzgrenzwerten folgen diesen Grundsätzen. In Deutschland hat die MAK-Kommission vor Jahren weitere Kategorien - die Kategorien vier und fünf - hinzugefügt.

Gentoxische Karzinogene und Mutagene weisen in der Regel eine schwellenwertunabhängige Wirkungsweise auf. Es ist daher nicht möglich einen DNEL abzuleiten. In der REACH Leitlinie R.8 der ECHA ist die Ermittlung eines risikobasierten „Derived Minimum Exposure Limit“ (DMEL) beschrieben. Innerhalb der REACH-Verordnung ist die Festlegung eines DMEL nicht erforderlich. Folglich ist die Ableitung eines DMEL nicht obligatorisch vorgeschrieben. Darüber hinaus wird keine direkte Korrelation zu einem Gesundheitsrisiko beschrieben. Im Gegensatz dazu werden in Deutschland Expositions-Risiko Beziehungen entwickelt, die zu gut definierten Risiken einer Tumorinduktion korrelieren.

Das Flussdiagramm in [Abbildung 2.1](#) zeigt ein vereinfachtes Verfahren für die Festlegung gesundheitsbasierter Arbeitsplatzgrenzwerte.

2.2.8 Beispiel

Das folgende Beispiel soll das Verfahren zur Ermittlung eines gesundheitsbasierten AGW veranschaulichen.

Versuchsergebnis:
subakute orale Studie (Verabreichung über Trinkwasser), Ratte.

NOAEL: nicht bestimmt

LOAEL: 1.000 mg/kg pro Tag
(leichte hepatotoxische Auswirkungen, reversibel innerhalb einer Woche)

LOAEL → NOAEL: Extrapolationsfaktor = 3
Berechneter NOAEL: 333 mg/kg pro Tag

Humaner oraler NOAEL: 60 kg Körpergewicht
333 mg/kg pro Tag · 60 kg = ~ 20 g pro Tag

(Standard) Annahme: Resorption in der Lunge:
100 % Extrapolationsfaktor oral zu inhalativ
(allometrisch Ratte zu Mensch) = 4
→ 5 g pro Tag

Human Äquivalenz Konzentration (Annahme 10 m³ Atemvolumen für Arbeiter unter leichten Arbeitsbedingungen für 8 h): 5 g pro Tag/10 m³ pro Tag = 500 mg/m³

Intraspezies-Extrapolationsfaktor (Ratte zu Mensch) = 5
→ 100 mg/m³
Zeit-Extrapolationsfaktor subakut zu chronisch = 6
→ ~ 15 mg/m³

Sofern die experimentellen Daten valide sind:
AGW = 15 mg/m³

Gemäß der REACH Leitlinie R.8 der ECHA muss ein zusätzlicher Extrapolationsfaktor von 2,5 verwendet werden:

AGW = 6 mg/m³

2.3 Risikobasierte Grenzwerte

Für gentoxische Karzinogene und für Mutagene wird typischerweise postuliert, dass keine Dosis oder Konzentration ohne Auswirkungen auf die Gesundheit existiert. Um die gesundheitlichen Risiken zu bewerten, die mit einer Exposition am Arbeitsplatz verbunden sind, können risikobasierte Grenzwerte entwickelt werden.

Eine Voraussetzung für die Entwicklung risikobasierter Grenzwerte ist das Vorhandensein valider Langzeit-Tierstudien oder epidemiologischer Studien mit klaren Beweisen einer vermehrten Tumorentstehung in der exponierten Arbeitergruppe. In dieser Broschüre wird der epidemiologische Ansatz aufgrund der begrenzten Anzahl von vorhandenen Studien nicht weiter behandelt.

2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

Expositionsparameter für Arbeiter	Standardannahme
Expositionsdauer während der Lebensarbeitszeit [Jahre]	40
Dauer der Exposition [Stunden pro Arbeitstag]	8
Arbeitstage pro Woche	5
Arbeitswochen pro Jahr	48
Körpergewicht [kg]	60
Atemvolumen [m ³ /Arbeitstag]	10

Abbildung 2.8:
Expositionsparameter
für Arbeiter
(Standardannahmen)

Sind Daten zur Tumorinduktion für mehrere der üblicherweise verwendeten Tierarten verfügbar, sollten die Daten derjenigen Spezies bevorzugt werden, die am sensitivsten reagiert. Bei der Beurteilung der quantitativen Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen müssen die Auswahl der Versuchstierart, der Tumorart und der Lokalisation berücksichtigt werden.

Als Ausgangspunkt („Point of Departure“, POD) für die weitere Ableitung werden in der Regel als Dosisdeskriptoren verwendet

- die so genannte Benchmark-Dosis (BMD) oder
- die Konzentration oder Dosis T25, die in chronischen Studien an Ratten über einen Zweijahreszeitraum bei 25 % der exponierten Tiere Tumore induziert.

Wenn genügend valide Studien zur Verfügung stehen (diese müssen Daten für die Kontrollgruppe und mindestens drei verschiedene Dosisgruppen umfassen), wird als POD bevorzugt die BMD angegeben. Üblicherweise wird die BMD im Bereich einer 5 bis 15 %igen Tumorzahrscheinlichkeit bestimmt und als BMD₁₀ angegeben.

Weiterhin muss eine Normierung auf die berufliche Lebenszeitexposition (40 Jahre), eine Extrapolation zwischen den Expositionspfaden (auf eine inhalative Aufnahme hin) und die Berücksichtigung der Hintergrundinzidenz für das Auftreten der Tumorart durchgeführt werden.

Im nächsten Schritt muss für geringfügige Risiken eine Extrapolation der Tumorfrequenz in den Bereich von 1:1.000 und 1:1.000.000 durchgeführt werden. Für die Kurvenanpassung können verschiedene Modelle verwendet werden, die im Einklang mit den mechanistischen Vorstellungen zur Kanzerogenese stehen. Häufig wird das Mehrstufenmodell angewendet, welches mit dem mehrstufigen Konzept der Kanzerogenität korrespondiert. Auch die Gamma-Funktion entspricht dem mechanistischen Verständnis eines Multi-Hit-Modells der chemischen Kanzerogenität. Daher stellen im experimentellen Bereich sowohl das Mehrstufenkonzept als auch die Gamma-Funktion bevorzugte Methoden zur Entwicklung eines Modells im Rahmen eines Benchmarkverfahrens dar.

Kann keine ausreichend qualifizierte Benchmark-Konzentration angegeben werden, sollte als POD die T25-Dosis (mg/kg pro Tag) benutzt werden. Dies ist die tumorinduzierende Dosis, bei der in Tierstudien eine zusätzliche Inzidenz von 25% beobachtet wurde. Wird das T25-Modell als POD verwendet, ist eine Modellierung zu niedrigeren Konzentrationen nicht erforderlich oder möglich. Für niedrige Konzentrationen wird in diesem Fall die lineare Interpolation auf den Nullpunkt (keine Tumore im Falle einer Null-Exposition) verwendet.

Bei der Ableitung von Risikozahlen wird allgemein angenommen, dass Menschen bei inhalativer Exposition die gleiche Empfindlichkeit für krebserzeugende Effekte aufweisen wie die Versuchstiere. Studien mit oraler oder dermalen Exposition können nur dann herangezogen werden, wenn eine Extrapolation zwischen den Expositionspfaden erlaubt ist.

2.3.1 Vorgehensweise bei Inhalationsstudien

Bei Substanzen, die systemisch auftretende Tumore erzeugen, muss die in Tierversuchen verwendete Luftkonzentration (6 Stunden Exposition/Tag, Ruhebedingung) auf das Arbeitsplatz-Szenario (8 Stunden Exposition/Tag, leichte Tätigkeit) mittels eines Korrekturfaktors von 2 auf ein Humanäquivalent angepasst werden. Weiterhin sollte der Blut/Luft-Verteilungskoeffizient kleiner als 10, oder, sofern dieser nicht bekannt ist, die Wasserlöslichkeit größer als 1 g/l sein. Die verschiedenen Extrapolationsfaktoren sind in [Abbildung 2.4](#) zusammengefasst.

2.3.2 Vorgehensweise bei oralen Studien

Wenn keine studienspezifischen Daten über die Relation Dosis/Körpergewicht vorliegen und nur Konzentrationen in der Nahrung oder im Trinkwasser angegeben sind, können zur Umwandlung die Standardwerte aus [Abbildung 2.7](#) verwendet werden.

Eine in tierexperimentellen Studien verabreichte Dosis (Einheit: mg/kg Körpergewicht pro Tag) wird durch die Anwendung eines allometrischen Skalierungsfaktors in ein Humanäquivalent umgerechnet. Standardmäßig erfolgt dies auf Grundlage des Grundumsatzes. Die gerundeten Faktoren sind in [Abbildung 2.5](#) dargestellt. Im nächsten Schritt wird das Humanäquivalent in eine Luftkonzentration umgewandelt, sofern nicht folgende Gründe gegen eine Extrapolation von Expositionspfad zu Expositionspfad sprechen:

- Ausgeprägter „First-Pass-Effekt“.
- Im Respirationstrakt sind lokale Tumore zu erwarten (besonders relevant für lokal wirkende Substanzen, aber auch für schwer abbaubare Stoffe wie Metallverbindungen).

2. GRUNDSÄTZE ZUR FESTLEGUNG VON ARBEITSPLATZGRENZWERTEN

Expositionsparameter für die Allgemeinbevölkerung	Standardannahme
Expositionszeit während der Lebenszeit [Jahre]	75
Expositionsdauer [Stunden/Tag]	24
Körpergewicht [kg]	60
Nahrungsaufnahme [kg/Tag]	1,4
Wasseraufnahme [kg/Tag]	2,0
Atemvolumen [m ³ /Tag]	20

Abbildung 2.9: Expositionsparameter für die Allgemeinbevölkerung (Standardannahmen)

- Lokale Tumore nach oraler Verabreichung spielen eine relevante Rolle für die Bewertung (z. B. Vormagentumore bei Nagern).
- Nach Inhalation ist zu erwarten, dass die Organkonzentration gegenüber dem kritischen Zielorgan deutlich abweicht, sofern dies für die Bewertung relevant ist (z. B. in Studien mit Verabreichung über Magensonden).

Bei spezifischen Expositionspfaden müssen abweichende Absorptionsraten über eine Extrapolation von Expositionspfad zu Expositionspfad korrigiert werden. Kann eine solche Extrapolation basierend auf einer Studie mit oraler Ver-

abreichung nicht durchgeführt werden und stehen keine Inhalationsstudien oder Erkenntnisse aus der Inhalation des Karzinogens durch den Menschen zur Verfügung, ist eine Risikoquantifizierung im Allgemeinen nicht möglich.

Die Standardannahmen in [Abbildung 2.8](#) gelten für eine Exposition am Arbeitsplatz. Abweichende Expositionsmuster werden in der Regel gemäß den genannten Standardannahmen linear umgewandelt. Stehen Informationen aus der Allgemeinbevölkerung zur Verfügung, werden die Expositionsparameter aus [Abbildung 2.9](#) angenommen.

2.3.3 Extrapolation zu niedrigeren Risiken

Für gentoxische Karzinogene wird die lineare Extrapolation ausschließlich im Rahmen eines T25-Ansatzes als Standard durchgeführt. Startet die Berechnung mit dem T25-Verfahren, ist eine lineare Extrapolation als Folge begrenzter Daten erforderlich.

Ist das Benchmarkverfahren geeignet, wird angenommen, dass mit Modellierung eine Nichtlinearität auch in einem Risikobereich von $\geq 1:1.000$ wiedergegeben werden kann,

obwohl der experimentelle Bereich nur Risiken von beispielsweise 1 % oder 5 % abdeckt. Gleichwohl wird die lineare Extrapolation zwischen dem $BMD_{0,1}$ (1:1.000) und dem Ausgangspunkt oder dem Hintergrund durchgeführt.

Für einige Karzinogene ist das Vorliegen einer Sublinearität oder Nichtlinearität wissenschaftlich bewiesen. Solche Fälle begründen die Anwendung anderer und komplizierterer Berechnungen, die das tatsächliche Verhalten der Substanz abbilden. Auf Grund der Komplexität werden solche komplizierten Zusammenhänge in dieser Broschüre nicht beschrieben.

2.4 Literatur

Alle Internetseiten wurden am 25. Januar 2016 aufgerufen.

- [2.1] World Health Organisation (WHO): Guidance document on evaluating and expressing uncertainty in hazard characterization (IPCS harmonization project document; no. 11), 2014.
www.who.int/ipcs/methods/harmonization/uncertainty_in_hazard_characterization.pdf
- [2.2] European Chemicals Agency (ECHA): Guidance on information requirements and chemical safety assessment; Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health, 2012. (REACH Leitlinie R.8 der ECHA, Guidance document R.8, ECHA-2010-G-19-EN)
https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r8_en.pdf
- Umweltbundesamt (UBA): Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 363 01 274: Arbeitsübersetzung der Leitlinie zur Umsetzung von REACH R 8 Charakterisierung der Dosis[Konzentrations]-Wirkungs-Beziehung für die menschliche Gesundheit, 2011.
www.reach-info.de/dokumente/Arbeitsuebersetzung_der_Leitlinie_R8_Mai_2011.pdf
- [2.3] Technische Regel für Gefahrstoffe TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ www.baua.de
- [2.4] OECD-Publikationen siehe www.oecd-ilibrary.org/



3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN

Norbert Neuwirth

ARBEITSPLATZ- GRENZWERTE

Im Gegensatz zu der weltweit einheitlichen Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien durch das Global Harmonisierte System (GHS) sind Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW, internationaler Sprachgebrauch Occupational Exposure Limits, OELs) eine Angelegenheit der einzelnen Länder und Staatengemeinschaften. In verschiedenen Ländern sind die Arbeitsplatzgrenzwerte entweder (rechtlich) verbindlich oder sie stellen lediglich Empfehlungen dar. Die Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten kann gesundheitsbasiert, technikbasiert oder risikobasiert erfolgen.

Bezogen auf den Referenzzeitraum lassen sich Arbeitsplatzgrenzwerte folgendermaßen einteilen:

- **8-Stunden-Arbeitsplatzgrenzwert**

Der 8-Stunden-Arbeitsplatzgrenzwert ist der Grenzwert einer zeitbezogenen Konzentration einer Chemikalie im Atembereich eines Beschäftigten während eines achttündigen Arbeitstages. Dieser Grenzwert zielt darauf ab, mittel- und langfristige negative Auswirkungen für die Beschäftigten zu vermeiden und Beschäftigte zu schützen, die regelmäßig während ihrer Lebensarbeitszeit der betreffenden Chemikalie ausgesetzt sind.

- **15-min- oder Kurzzeit-Arbeitsplatzgrenzwert**

Der Kurzzeit-Arbeitsplatzgrenzwert dient dem Schutz der Beschäftigten vor einer gesundheitlichen Beeinträchtigung (sofortige oder kurzfristige toxische Wirkungen, wie z. B. Reizungen), hervorgerufen durch Expositionsspitzen. Sofern nicht anders angegeben, beträgt der Bezugszeitraum in der Regel 15 Minuten.

- **Momentanwert**

Der Momentanwert ist die Luftkonzentration am Arbeitsplatz, die zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf. Dies betrifft in erster Linie Substanzen, die bekanntermaßen ätzend oder reizend sind und zeitnah zu möglicherweise schwerwiegenden und irreversiblen Schäden führen können. Zur Messung dieser Werte kommen spezielle analytische Messsysteme zum Einsatz.



Die nationalen Vorgehensweisen in verschiedenen Regionen und Ländern zur Festlegung eines Arbeitsplatzgrenzwerts werden im Folgenden beschrieben.

Hinweis: Diese Broschüre wird ergänzt durch ein Glossar in Form einer Web-App, die unter der Internet-Adresse www.grenzwertglossar.net für Computer und Smartphones zur Verfügung steht. Dort sind alle Begriffe, Definitionen und Abkürzungen auch in alphabetischer Reihenfolge gelistet.

Eine Übersicht der internationalen Grenzwerte für fast 1800 Stoffe ist in der GESTIS-Datenbank "Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen" des Instituts für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zu finden (www.dguv.de/ifa/GESTIS/index.jsp), die ebenfalls als App verfügbar ist.

3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN



3.1 Europäische Union



In der Europäischen Union legt die Agenzienrichtlinie 98/24/EG (Chemical Agents Directive, CAD) fest, dass die Europäische Kommission den Zusammenhang zwischen den gesundheitlichen Auswirkungen gefährlicher Chemikalien und der Höhe der Exposition am Arbeitsplatz im Rahmen einer unabhängigen wissenschaftlichen Analyse anhand neuester wissenschaftlicher Daten bewertet [3.1].

Die Europäische Kommission wird hierzu durch das Wissenschaftliche Komitee für Arbeitsplatzgrenzwerte (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits, SCOEL) beraten [3.2]. Die Erkenntnisse des SCOEL basieren auch auf Ergebnissen aus Konsultationen mit verschiedenen Interessensvertretern, um die Datenlage zu gesundheitsbezogenen Angaben über gefährliche Stoffe nach Möglichkeit zu erweitern und eine höhere Akzeptanz für die empfohlenen Grenzwerte zu erzielen. Die CAD unterscheidet zwei verschiedene Arten von Grenzwerten:

Verbindliche Arbeitsplatzgrenzwerte (Binding Occupational Exposure Limit Values, BOELVs)

BOELVs sind verbindliche Grenzwerte für die berufliche Exposition sowohl gegenüber nicht-krebserzeugenden Stoffen als auch gegenüber krebserzeugenden Substanzen. BOELVs für nicht-krebserzeugende Stoffe werden gesundheitsbasiert, für krebserzeugende Stoffe in der Regel technikbasiert festgelegt.

Mit Ausnahme von Blei, das unmittelbar in der CAD erwähnt wird, werden BOELVs in der Richtlinie 2004/37/EG „über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit“ (Carcinogens and Mutagens Directive, CMD) veröffentlicht. Die Mitgliedstaaten müssen entsprechende nationale Arbeitsplatzgrenzwerte einführen, die die europäischen BOELVs nicht überschreiten dürfen. Zusätzlich zu den Aspekten, die bei der Festlegung von IOELVs Anwendung finden, werden bestimmte sozioökonomische Faktoren berücksichtigt.

Arbeitsplatz-Richtgrenzwerte (Indicative Occupational Exposure Limit Values, IOELVs)

IOELVs stellen gesundheitsbasierte Empfehlungen dar. Es sind Expositionsgrenzwerte für jegliche Substanzkonzentration, unterhalb derer bei kurzzeitigen oder auch täglichen Expositionen über das Arbeitsleben im Allgemeinen keine nachteiligen Auswirkungen auf die Gesundheit zu erwarten sind.

Zu einigen Arbeitsplatzgrenzwerten finden sich zusätzliche Anmerkungen mit spezifischen Informationen über bestimmte Stoffeigenschaften. Solche Eigenschaften können zusätzlich zu einer inhalativen Exposition zu einer erhöhten Gesamtexposition am Arbeitsplatz führen. Daher reicht eine alleinige Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts nicht aus, um die Beschäftigten vor schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit zu schützen.

IOELVs werden auf der Grundlage der neuesten wissenschaftlichen Daten und der gegenwärtig verfügbaren Messtechnik abgeleitet. Wenn ein IOELV auf Ebene der europäischen Gemeinschaft etabliert ist, sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, unter Berücksichtigung dieses gemeinschaftlichen Grenzwertes einen nationalen Arbeitsplatzgrenzwert festzulegen.

Neben diesen regulatorischen Grenzwerten gibt es noch weitere Werte.

DNEL-Werte (Derived No Effect Level)

Hersteller und Importeure von Chemikalien müssen nach der europäischen REACH-Verordnung im Rahmen ihrer Registrierungspflichten DNEL-Werte angeben. Die REACH-Verordnung definiert sie als abgeleitete Expositionswerte, unterhalb derer ein Stoff die menschliche Gesundheit nicht beeinträchtigt.

DNEL-Werte werden für die gesundheitsschädigenden akuten oder chronischen Wirkungen ermittelt, für die es in der Regel eine Wirkschwelle gibt. Dabei sind verschiedene Arten von DNEL-Werten für die wahrscheinlichsten Expositions- bzw. Aufnahmewege getrennt betrachtet anzugeben: oral (Verschlucken), dermal (Aufnahme über die Haut) und inhalativ (Aufnahme über die Atemwege). Darüber hinaus sind DNEL-Werte für die wahrscheinlichste Expositionsdauer abzuleiten (Langzeit oder akut). Je nach Art des Stoffs sind weiterhin DNEL-Werte für systemische Wirkungen (entfernt vom Ort des ersten Kontakts), lokale Wirkungen (am Ort des ersten Kontakts) oder beide Wirkungen abzuleiten.

DNEL-Werte werden für alle relevanten Personengruppen abgeleitet: für die Arbeiter, die Verbraucher und Menschen, die über die Umwelt indirekt exponiert sind. Als ein Beurteilungsmaßstab für die Exposition am Arbeitsplatz sind vorrangig die inhalativen Langzeitwerte heranzuziehen bzw. für die Beurteilung von Expositionsspitzen die Kurzzeitwerte.

Zur Anwendung dieser Beurteilungsmaßstäbe im Arbeitsschutz nimmt in Deutschland sowohl die TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung“ als auch die Bekanntmachung BekGS 409 „Nutzung der REACH-Informationen für den Arbeitsschutz“ (www.baua.de) Stellung.

Die GESTIS-DNEL-Datenbank der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) listet DNEL-Werte für die inhalative Langzeitexposition mit Arbeitsplatzbezug auf. Diese Werte wurden von Herstellern und Importeuren eigenverantwortlich aufgestellt und von der europäischen Chemikalien-Agentur ECHA veröffentlicht [3.12].

DMEL-Werte (Derived Minimal Effect Level)

DMEL-Werte sind in der REACH-Verordnung nicht explizit genannt, ihre Angabe wird in einigen Leitlinien der ECHA empfohlen. Bei diesen Werten handelt es sich um Expositionswerte für krebserzeugende Stoffe ohne Wirkschwelle, für die kein DNEL-Wert abgeleitet werden kann. Daher entspricht ein DMEL-Wert einem Expositionswert mit niedrigem, möglicherweise theoretischem Erkrankungsrisiko. Zurzeit gibt es jedoch keine akzeptierten Bezugsrisiken der EU für solche risiko-bezogenen Expositionsgrenzen. Damit liegen die von den Herstellern oder Importeuren bei der Ableitung von DMEL-Werten zugrunde gelegten Risiken in deren eigener Verantwortung.

3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN



3.2 Deutschland



In Deutschland legt die Gefahrstoffverordnung die gesundheitsbasierten und rechtsverbindlichen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) als zeitbezogene Durchschnittsgrenzwerte über eine Zeitspanne von acht Stunden fest. Expositionsspitzen werden anhand der Kurzzeitexpositionswerte bewertet.

Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) entwickelt und bewertet die Arbeitsplatzgrenzwerte. Vom AGS beschlossene AGW werden in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ veröffentlicht [3.5]. Die wichtigsten Quellen sind:

- MAK-Werte der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG),
- Arbeitsplatzgrenzwerte der Europäischen Union,
- Andere internationale Grenzwerte.

Einigen Arbeitsplatzgrenzwerten sind zusätzliche Bemerkungen zugeordnet, die spezifische Informationen für bestimmte Stoffeigenschaften geben. Solche Eigenschaften können zusätzlich zu einer inhalativen Exposition zu einer erhöhten Gesamtexposition am Arbeitsplatz führen. Daher reicht eine alleinige Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts nicht aus, um die Beschäftigten vor schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit zu schützen.

In der TRGS 900 stehen die Abkürzungen „Sa“, „Sh“, „Sah“ oder „H“ für Eigenschaften wie atemwegssen-

sibilisierend, hautsensibilisierend, atemwegs- und hautsensibilisierend sowie hautresorptiv. Für solche Substanzen sind neben der Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte zusätzliche Maßnahmen notwendig. Mit der Bemerkung „Y“ werden Stoffe ausgewiesen, bei denen ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes und des biologischen Grenzwertes (BGW) nicht befürchtet zu werden braucht. Die Bemerkung „Z“ wird für Stoffe vergeben, für die ein Risiko der Fruchtschädigung auch bei Einhaltung des AGW und des BGW nicht ausgeschlossen werden kann.

Die entsprechenden biologischen Grenzwerte werden in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 903 „Biologische Grenzwerte (BGW)“ (www.baua.de) veröffentlicht.

Für krebserzeugende Stoffe beschreibt die Expositions-Risiko-Beziehung (ERB) die statistische Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Krebserkrankung bei der inhalativen Aufnahme eines krebserzeugenden Stoffes in bestimmten Konzentrationen. Die ERB entspricht einer Dosis-Wirkungs-Beziehung bzw. einer Konzentrations-Wirkungs-Beziehung. Aus dieser Beziehung können stoffspezifische Expositionskonzentrationen für krebserzeugende Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz abgeleitet werden, die dem Akzeptanz- und Toleranzrisiko entsprechen. Diese Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen werden in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ (www.baua.de) veröffentlicht.

Bei der Ableitung der ERB wird als Konvention eine lebenslange berufliche Exposition (40 Jahre, 8 Stunden täglich) zugrunde gelegt. Die ERB werden im Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) auf der Basis arbeitsmedizinischer, epidemiologischer und toxikologischer Daten erarbeitet. Die Methode zur Ableitung ist ebenfalls in der TRGS 910 beschrieben.

Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Stoffe bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) legt für gesundheitsschädliche Stoffe in Bezug auf ihre toxikologische und arbeitsmedizinische Wirkung Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK) fest. Ein MAK-Wert ist ein gesundheitsbasierter Grenzwert für Expositionen am Arbeitsplatz. Unterhalb des Wertes gibt es keine bekannten nachteiligen Auswirkungen auf die Gesundheit und keine unzumutbaren Belästigungen (z.B. durch einen üblen Geruch) der Beschäftigten, auch wenn sie bei einer 40-Stunden Woche durchschnittlich acht Stunden täglich wiederholt der Substanz ausgesetzt sind. Die während einer Arbeitsschicht auftretenden Expositionsmaxima werden anhand von Kurzzeitwerten beurteilt.

Die entscheidenden Aspekte zur Bestimmung eines MAK-Wertes sind wissenschaftlich fundierte Kriterien zum Schutz der Gesundheit der Beschäftigten sowie sozio-ökonomische Gründe. Die verschiedenen Substanzen werden auf ihr krebserzeugendes Potenzial, ihre Schädlichkeit während der Schwangerschaft, die mutagene Wirkung auf Keimzellen und ihre systemische Toxizität nach perkutaner Aufnahme hin bewertet. Bei der Herleitung von MAK-Werten werden vorrangig Daten und Erkenntnisse vom Menschen verwendet. Erst wenn keine oder nicht genügend Daten vom Menschen vorliegen, können auch Daten aus Tierversuchen genutzt werden. Auf Eigenschaften wie atemwegssensibilisierend, hautsensibilisierend, atemwegs- und hautsensibilisierend sowie photokontakt-sensibilisierend bzw. hautresorptiv wird separat durch entsprechenden Kennzeichnungen „Sa“, „Sh“, „Sah“, „SP“ oder „H“ hingewiesen.

MAK-Werte und deren Ableitungen werden frei zugänglich veröffentlicht. Seit Anfang der 1970er Jahre wurden bislang mehr als 800 Substanzen bewertet [3.6].

Die den MAK-Werten entsprechenden biologischen Werte werden als Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte (BAT) benannt.



3.3 Finnland



In Finnland werden die Arbeitsplatzgrenzwerte (Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet, HTP-värdet) durch das Ministerium für Soziales und Gesundheit veröffentlicht.

Die Arbeitsplatzgrenzwerte sind für Langzeit-Expositionen (acht Stunden) und Kurzzeit-Expositionen (15 Minuten) definiert. Für einige Stoffe gibt es auch Höchstgrenzwerte. Der Hinweis „iho“ (Haut) in der Grenzwertliste kennzeichnet Substanzen, die über die Haut resorbiert werden [3.4].

Ein Ausschuss, der vom Ministerium eingesetzt wird und sich aus allen relevanten Interessensgruppen (das Ministerium, die chemische Industrie, die Arbeitgeberverbände und die Gewerkschaften) zusammensetzt, verfasst ein Dokument über die gesundheitlichen Auswirkungen einer bestimmten Substanz. Zusätzlich empfiehlt der Ausschuss für Arbeitsplatzgrenzwerte (HTP-JAOS) einen bestimmten maximalen Expositionswert.

3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN



3.4 Frankreich



In Frankreich werden die Arbeitsplatzgrenzwerte (Valeurs limites d'exposition professionnelle, VLEP) vom Arbeitsministerium festgesetzt.

Derzeit werden zwei Kategorien von VLEP per Dekret geregelt:

- Verpflichtende VLEP werden vom Staatsrat (Conseil d'Etat) per Erlass festgelegt. Sie sind für die gefährlichsten Chemikalien, für die eine Exposition mit validierten Methoden gemessen werden kann, vorgesehen.
- Empfohlene VLEP werden in Bezug auf das französische Arbeitsrecht erlassen. Manchmal gelten empfohlene VLEP für sehr gefährlichen Chemikalien, für die eine Exposition nur teilweise mit validierten Methoden messbar ist.

Bezugszeiträume sind wie folgt:

- Langfristige durchschnittliche Expositionsgrenzwerte (valeurs limites d'exposition - 8 heures, VLEP-8h) werden über einen Zeitraum von acht Stunden gemessen.
- Kurzfristige durchschnittliche Expositionsgrenzwerte (valeurs limites d'exposition à court terme, VLEP-CT) werden über eine Zeitdauer von 15 Minuten gemessen. Für einige bestimmte Chemikalien (beispielsweise Isocyanate) kann die Messzeitdauer auf fünf Minuten reduziert werden.

Die Möglichkeit der Aufnahme über die Haut wird bei den VLEP durch den Zusatz „peau“ (Haut) kenntlich gemacht.

Nach Bestätigung werden die VLEP im französischen Amtsblatt und in den Publikationen des Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) veröffentlicht. Das INRS veröffentlicht einige der VLEP im Internet (www.inrs.fr).

Das französische System für Arbeitsplatzgrenzwerte basiert auf einer Risikobewertung, ist unabhängig vom Risikomanagement und besteht aus drei Schritten:

Die Behörde für Ernährung, Umwelt, Arbeitsmedizin und Arbeitssicherheit (ANSES) schlägt dem Arbeitsministerium die VLEP vor. Diese VLEP ergeben sich aus der Arbeit des ANSES-VLEP-Ausschusses (CES VLEP). Das Ministerium entscheidet darüber, ob die vom ANSES empfohlenen VLEP berücksichtigt werden oder nicht und bereitet gegebenenfalls einen Entwurf für einen Erlass vor. Dieser Entwurf wird dann dem Lenkungsausschuss für Arbeitsbedingungen (COCT) zur Beratung vorgelegt. Dieser Schritt ermöglicht den Sozialpartnern (Arbeitgeber und Arbeitnehmer), bei technischen oder wirtschaftlichen Machbarkeitsproblemen die Umsetzung der VLEP zu verschieben.

Der ANSES-VLEP-Ausschuss setzt sich aus unabhängigen wissenschaftlichen Experten zusammen, die nach einer öffentlichen Ausschreibung für drei Jahre durch das wissenschaftliche Komitee des ANSES ernannt werden. Die Experten des Ausschusses sind Spezialisten auf den Gebieten Toxikologie, Biologie, Medizin, Chemie, Arbeitshygiene usw. Sie schlagen – basierend auf veröffentlichten wissenschaftlichen Studien – Arbeitsplatzgrenzwerte und biologische Expositionsindizes (BEIs) vor, um das Auftreten gesundheitlicher Schäden für Beschäftigte zu verhindern. Der Ausschuss empfiehlt auch Probenahme- und Analyseverfahren für die Expositionsmessungen am Arbeitsplatz und weist bei Bedarf die Anmerkung „Haut“ zu. Diese Aufgaben werden durch den Ausschuss an-

hand einer von Experten entwickelten Methodik ausgeführt und von ANSES (www.anses.fr) veröffentlicht.

Die Überprüfung der Exposition von Beschäftigten gegenüber Chemikalien mit verpflichtenden Arbeitsplatzgrenzwerten ist mindestens einmal pro Jahr vorgeschrieben. Diese Verpflichtung ist für krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende (CMR-) Chemikalien mit verbindlichen Arbeitsplatzgrenzwerten verbindlich. Für Nicht-CMR-Chemikalien sind Expositionsmessungen nicht notwendig, sofern die Risiken gering sind.

Die Expositionsmessungen müssen von einem unabhängigen akkreditierten Labor durchgeführt werden. Hierfür ist ein Probenahmeplan vorgeschrieben, der bei drei Analysen pro Jahr insgesamt neun Messungen pro vergleichbarer Expositionsgruppe umfasst. Die Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte wird durch ein statistisches Verfahren kontrolliert, bei dem in Bezug auf eine logarithmische Normalverteilung die Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung der Arbeitsplatzgrenzwerte berechnet wird.

Alle von den akkreditierten Laboratorien gesammelten Ergebnisse werden in der von der INRS verwalteten SCOLA-Datenbank gespeichert. Diese so strukturierten Daten liefern Informationen, die für die Festlegung von Präventionsmaßnahmen auf nationaler Ebene herangezogen werden können.



3.5 Großbritannien



In Großbritannien definiert die Verordnung „Control of Substances Hazardous to Health“ (COSHH) die britischen Arbeitsplatzgrenzwerte Workplace Exposure Limit (WEL).

Die Bezugszeiträume sind die durchschnittliche Konzentration in der Luft über einen langfristigen Zeitraum von acht Stunden bzw. kurzzeitig für 15 Minuten.

Einigen Arbeitsplatzgrenzwerten sind zusätzliche Anmerkungen (Annotations) zugeordnet, die spezifische Informationen für bestimmte Stoffeigenschaften geben: „Carc“ steht für die krebserzeugende oder mutagene Wirkung, „Sen“ für die Eigenschaft, Asthma verursachen zu können und „Sk“ für hautresorptiv. Die Arbeitsschutzmaßnahmen sind dementsprechend festzulegen.

Die WELs und die biologischen Grenzwerte (Biological Monitoring Guidance Values, BMGVs) werden vorgeschlagen durch ein Gremium des Health and Safety Executive (HSE), das sich aus Mitgliedern der Arbeitgeber- und Arbeitnehmerseite sowie unabhängigen Repräsentanten zusammensetzt. Dabei wird die Zustimmung durch das Advisory Committee on Toxic Substances (ACTS) berücksichtigt. Dieser Ausschuss wird beraten von seinem Unterausschuss Working Group on Action to Control Chemicals (WATCH). Nach sich anschließender öffentlicher Konsultation bestätigt das HSE-Gremium die rechtlich verbindlichen WELs. BMGVs sind dagegen keine rechtsverbindlichen Werte. WELs und BMGVs werden in der HSE-Schrift „EH40 Workplace Exposure Limits“ und auf der Homepage der HSE veröffentlicht [3.9].

3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN



3.6 Italien



In Italien werden die Arbeitsplatzgrenzwerte „Valori limite di esposizione professionale“ (VLEP) genannt. Sie werden in Zusammenarbeit zwischen Ministerium für Arbeit und Soziales (Ministro del Lavoro e delle Politiche Sociali) und dem Gesundheitsministerium (Ministro della Salute) erlassen [3.7].

Die VLEP werden mit Unterstützung des beratenden Ausschusses für die Entwicklung und Aktualisierung der Arbeitsplatzgrenzwerte und biologischen Grenzwerte für Chemikalien und in Absprache mit der Ständigen Konferenz für die Beziehungen zwischen dem Staat, den Regionen und den autonomen Provinzen Trient und Bozen festgelegt. Der Beratende Ausschuss wurde per Erlass im Jahr 2011 konstituiert und hat unter anderem die Aufgabe, das Arbeits- und das Gesundheitsministerium bei der Implementierung der durch die Richtlinien der europäischen vorgegebenen Grenzwerten auf nationaler Ebene zu beraten. Der Ausschuss setzt sich aus neun nationalen Experten zusammen, die auf den Gebieten der Toxikologie und des Gesundheitswesens spezialisiert sind.

Im Anerkennungsverfahren für VLEP hören die Ministerien ebenfalls die Meinungen des Ministeriums für wirtschaftliche Entwicklung und der Sozialpartner an. Während des gesamten Entscheidungsprozesses zur Vorbereitung des Erlasses können die Ministerien die Meinungen verschiedener Parteien berücksichtigen oder auch nicht.

Es werden zwei Kategorien an behördlichen VLEP erlassen:

- Verbindliche VLEP,
- Empfohlene VLEP.

Bezugszeiträume sind wie folgt:

- Langzeit-Expositionsgrenzwerte (valore limite di esposizione - 8 ore) werden über einen Zeitraum von 8 Stunden gemessen und berechnet.
- Kurzzeit-Expositionsgrenzwerte (valore limite di esposizione a breve termine) werden über einen Zeitraum von 15 Minuten gemessen.

Die Möglichkeit der Absorption durch die Haut wird durch den Zusatzvermerk „pelle“ (Haut) bei den VLEP berücksichtigt.

Um die Konformität der Expositionsmessungen mit den VLEP zu gewährleisten, müssen die Messungen mit repräsentativer Expositionsdauer in Abhängigkeit von der Räumlichkeit und der Zeit durchgeführt werden.

In Italien wurde 2012 die Richtlinie 2009/161/EU durch die Veröffentlichung einer geänderten dritten Liste der Arbeitsplatzgrenzwerte im Amtsblatt der italienischen Republik (Decreto Ministeriale 6 Agosto 2012) umgesetzt.



3.7 Niederlande



Die niederländischen Arbeitsplatzgrenzwerte sind Grenzwerte für die maximal erlaubte Konzentration eines Gases, eines Dampfes oder einer Faserkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz. Bei diesem Niveau bzw. bei dessen Unterschreitung wird die Gesundheit der Beschäftigten und ihrer Nachkommen - basierend auf dem aktuellen Kenntnisstand - nicht geschädigt. Das sollte auch bei wiederholter und langfristiger Exposition über die gesamte Lebensarbeitszeit der Fall sein. Als Berechnungsbasis wird dabei von einer Exposition von 8 Stunden an 5 Tagen die Woche und einer Lebensarbeitszeit von 40 Jahre ausgegangen [3.11].

Die Abkürzung für die niederländischen Arbeitsplatzgrenzwerte ist „TGG“ (Tijd gewogen gemiddelde) und gibt die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum an, für 8 Stunden ist dies entsprechend „TGG 8u“.

Das niederländische Grenzwertsystem unterscheidet zwischen zwei Typen von Grenzwerten: „öffentliche“ und „betriebliche“ Grenzwerte.

Die öffentlichen Grenzwerte werden vom Ministerium für Soziales und Arbeit rechtsverbindlich für die folgenden Substanzen eingeführt: für Substanzen, für die von der Europäischen Union BOELVs oder IOELVs festgelegt wurden und für Substanzen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gesundheit schädigen (high-risk substances)

einschließlich solcher, für die die Regierung die Etablierung öffentlicher Grenzwerte für angemessen erachtet. Die Ermittlung und Bewertung der öffentlichen Grenzwerte erfolgt durch die Niederländische Grenzwertkommission DECOS (Dutch expert committee on occupational safety).

Die betrieblichen Grenzwerte sollen von Arbeitgebern und Beschäftigten in den Firmen, also von den Unternehmen selbst, gesetzt werden. Als Basis dienen die früheren gesundheitsbasierten MAC-Werte oder - falls vorhanden - Herstellergrenzwerte. Die Firmen können entweder auf diese Werte zurückgreifen oder eigene Werte z. B. im Rahmen von REACH entwickeln.

Beide Typen von Grenzwerten - öffentliche und private - sind überwiegend gesundheitsbasierte Grenzwerte. Nur für kanzerogene und mutagene Substanzen ohne Schwellenwert wird eine Evaluierung der technischen und ökonomischen Machbarkeit durch den Wirtschafts- und Sozialrat SER (Sociaal-Economische Raad), der ein wichtiges Beratungsorgan der niederländischen Regierung und des Parlamentes ist, vorgenommen.

Alle Arbeitsplatzgrenzwerte sind in einer Datenbank im Internet auf der SER-Homepage [3.10] zu finden. Diese Datenbank enthält auch verbindliche und „administrative“ Grenzwerte, die vor dem 1. Januar 2007, als das neue Grenzwertsystem eingeführt wurde, zutreffend waren.

Für gentoxisch wirkende kanzerogene Stoffe ohne Wirkschwelle wird ein risikobezogenes Konzept mit sogenannten Risikoniveaus angewendet. Risikoniveaus werden als gesellschaftlich akzeptierte und im Konsensverfahren ermittelte zusätzliche Erkrankungsfälle durch die Exposition Beschäftigter gegenüber solchen Stoffen verstanden. Die Bezugsgruppe für Risikoniveaus sind die exponierten Beschäftigten, der Bezugszeitraum ist entweder die Lebensarbeitszeit oder ein Expositionszeitraum.

3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN

Das maximale Risikoniveau („prohibitive risk level“) ist die Höchstgrenze des Expositionslevels von Beschäftigten gegenüber Substanzen ohne Wirkungsschwelle und beträgt 1:10.000/Jahr, d. h. eine zusätzliche Krebsneuerkrankung pro 10.000 Beschäftigte pro Expositionsjahr, die dem fraglichen Stoff ausgesetzt sind. Bezogen auf die Lebensarbeitszeit entspricht das einem Risiko von 4:1.000.

Das Akzeptanzniveau beträgt 1:1.000.000/Jahr oder 4:100.000/Lebensarbeitszeit. Unterhalb dieses Risikoniveaus müssen keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Die Erreichung des Akzeptanzniveaus („target risk level“) ist als Ziel formuliert, und es wird geprüft, ob von den Unternehmen eine Annäherung an dieses Niveau erreicht werden kann.



3.8 Österreich



Die österreichischen Arbeitsplatzgrenzwerte werden in der Grenzwerteverordnung geregelt [3.3].

Die Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) stellt einen gesundheitsbasierten Grenzwert dar. Es gibt Langzeitwerte (8-Stunden-Mittelwert und Spitzenwert) und Kurzzeitwerte (Mittelwert und Spitzenwert über 15 Minuten, meistens drei Mal pro Schicht). Falls erforderlich, geben Anmerkungen weitere Informationen über sensibilisierende Effekte und andere Auswirkungen.

Die Technische Richtkonzentration (TRK) wurde für krebserzeugende Stoffe etabliert. Die Werte basieren auf der Grundlage technischer Machbarkeit und werden vom österreichischen MAK-Ausschuss hergeleitet. Dieser Ausschuss setzt sich aus verschiedenen Interessengruppen zusammen und entscheidet meist auf wissenschaftlicher Grundlage anderer ausländischer Ausschüsse für Arbeitsplatzgrenzwerte.



3.9 Polen



Die polnischen Arbeitsplatzgrenzwerte werden in Abhängigkeit von den Bezugszeiträumen folgendermaßen bezeichnet:

- NDS (najwyższe dopuszczalne stężenie), eine zeitbezogene Durchschnittskonzentration für einen achtstündigen Arbeitstag.
- NDSch (najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe), eine durchschnittliche Konzentration über 15 Minuten, die nur zweimal am Tag erreicht wird.
- NDSP (najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe), die maximal zulässige Höchstkonzentration.
- NDN (najwyższe dopuszczalne natężenie), die maximal zulässige Intensität.

Das polnische Ministerium für Arbeit und Sozialpolitik führt neue Grenzwerte unter Berücksichtigung der Empfehlungen der Interministeriellen Kommission ein. Diese Kommission repräsentiert die Gesundheits- und Arbeitsbehörde, die Industrie, Gewerkschaften und Forschung. Expertengruppen der Interministeriellen Kommission erarbeiten wissenschaftliche Dossiers zu Arbeitsplatzgrenzwerten. Diese Vorschläge werden dann innerhalb der Kommission bewertet und, sofern sie angenommen werden, dem Ministerium empfohlen. Nach der Genehmigung werden sie dann im Journal „Grundlagen und Methoden zur Bewertung der Arbeitsumgebung“ veröffentlicht [3.8].



3.10 Schweden



In Schweden werden Arbeitsplatzgrenzwerte in einem mehrstufigen Verfahren eingeführt. Die schwedische Behörde für Arbeitsumgebung (SWEA) sendet eine Liste mit Vorschlägen an die Kriegergruppe des Nationalen Institut für das Berufsleben (Kriegergruppen für hygieniska gränsvärde), die daraufhin einen wissenschaftlich basierten Bericht verfasst. Dieser Bericht wird veröffentlicht und das nationale Gremium für Arbeitsschutz schlägt den Beteiligten am Arbeitsmarkt anhand des Konsensusberichtes einen Arbeitsplatzgrenzwert vor.

Die verbindlichen Werte für die gesundheitsbasierten Arbeitsplatzgrenzwerte verweisen auf die Bezugszeiträume:

- acht Stunden (Niveaugrenzwert, „nivågränsvärde“),
- momentan (Höchstgrenze, „takgränsvärde“).

Richtwerte für die gesundheitsbasierten Arbeitsplatzgrenzwerte beziehen sich auf einen Referenzzeitraum von 15 Minuten (Kurzzeit-Expositionsgrenzwerte, „kortidsvärde“).

Bei krebserzeugenden Stoffen ohne gesundheitsbasierten Schwellenwert werden die Arbeitsplatzgrenzwerte unter Berücksichtigung sozio-ökonomischer Faktoren festgelegt.

3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN

In den Listen der Arbeitsplatzgrenzwerte stehen die Kennzeichnungen

- „K“ (Cancerframkallende, Grupp C) für krebs-erzeugende Stoffe,
- „S“ (Sensibilisierende, Grupp D) für sensibilisierende Stoffe und
- „R“ (Reproduktionsstörende, Grupp E) für fortpflanzungsgefährdende Stoffe.
- Die Bezeichnung „H“ wird für Stoffe verwendet, die über die Haut aufgenommen werden können.

Die Arbeitsplatzgrenzwerte werden in der Richtlinie „Gesundheitsgrenzwerte und Maßnahmen bei Luftschadstoffen“ veröffentlicht und sind zudem auf der Webseite der SWEA verfügbar.



3.11 Schweiz



Der Schweizer MAK-Wert ist die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffes in der Luft, die nach derzeitiger Kenntnis in der Regel bei Einwirkung während einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich und bis 42 Stunden pro Woche auch über längere Perioden bei der ganz stark überwiegender Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht gefährdet. Expositionsspitzen während einer Schicht werden mit Kurzzeitgrenzwerten beurteilt, der Bezugszeitraum dafür beträgt 15 Minuten.

Die Schweizer Grenzwerte sind rechtsverbindlich.

Die MAK-Werte sind zum Teil mit Notationen versehen, die spezifische Informationen zu bestimmten Stoffeigenschaften liefern. Aufgrund dieser Eigenschaften können daher zusätzlich zur Einhaltung des MAK-Wertes weitere Maßnahmen zu treffen sein.

Die mit „S“ (Sensibilisatoren) gekennzeichneten Stoffe führen besonders häufig zu Überempfindlichkeitsreaktionen. Durch solche Stoffe können allergische Reaktionen nach Sensibilisierung der Haut oder der Atemwege je nach persönlicher Disposition unterschiedlich schnell und stark ausgelöst werden. Bei Stoffen mit Notation „H“ (Vergiftung durch Hautresorption möglich) kann durch die zusätzliche Hautresorption die innere Belastung wesentlich höher werden als bei alleiniger Aufnahme durch die Atemwege.

Weitere Notationen gibt es für die Interaktion von Lärm und chemischen Stoffen (Notation OL), für krebs-erzeugende Arbeitsstoffe (Notation C), erbgutverändernde Arbeitsstoffe (Notation M), reproduktionstoxische (fortpflanzungsgefährdende) Arbeitsstoffe (Notation R) sowie für MAK-Werte und Schwangerschaft (Notation SS). Krebserregende Substanzen mit Schwellenwert werden zusätzlich zur C-Notation mit # gekennzeichnet. Ab 2016 werden die CMR-Notationen gemäss CLP-Verordnung übernommen.

In der Schweiz wurde der Erlass von Richtlinien über Grenzwerte am Arbeitsplatz gemäß Artikel 50 Absatz 3 VUV (Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten) vom Bund auf die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva) übertragen. Der Erlass der Grenzwerte erfolgt im Einvernehmen mit der Grenzwert-Kommission der Schweizerischen Vereinigung für Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit (Suissepro).

Die MAK- und BAT-Werte (Biologischer Arbeitsstofftoleranzwerte) werden in der offiziellen jährlichen Liste für Arbeitsplatzgrenzwerte veröffentlicht (Suva-Publikation „Grenzwerte am Arbeitsplatz“).



3.12 USA



In den USA sind die zulässigen Expositionsgrenzwerte (Permissible Exposure Limits, PELs) behördlich festgelegte Grenzwerte für die Menge oder Konzentration gefährlicher Stoffe in der Luft, um die Beschäftigten vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu schützen. Sie können auch einen Hinweis für die Schädigung oder die Aufnahme über die Haut enthalten. PELs basieren auf einem über acht Stunden ermittelten Durchschnittswert der Exposition (time weighted average, TWA).

PELs sind in speziellen Normen entweder allgemein an die Industrie gerichtet oder beziehen sich auf spezielle Arbeitsplätze auf Werften oder in der Bauindustrie. Die PELs werden von der Behörde für Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) veröffentlicht.

Das Nationale Institut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) legt die empfohlenen Expositionsgrenzwerte (Recommended Exposure Levels, RELs) fest. Diese werden von der OSHA veröffentlicht, sind jedoch nicht rechtsverbindlich.

Seit 1946 legt die Amerikanische Konferenz der staatlichen Gewerbeärzte (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) die nicht rechtsverbindlichen Grenzwerte (Threshold Limit Values, TLVs) fest. TLVs beziehen sich auf Konzentrationen von Stoffen in der Luft und stellen Bedingungen dar, unter denen an-

genommen wird, dass nahezu alle Beschäftigte über ein ganzes Arbeitsleben Tag für Tag ohne schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit exponiert werden können. Die ACGIH weist darauf hin, dass die TLV-Werte nur im Zusammenhang mit den schriftlichen Dokumentationen „Documentation of the Threshold Limit Values and biological Exposure Indices“ genutzt werden sollen, um die Grundlagen dieser Werte zu verstehen und die Informationen zu ihrer Weiterentwicklung zu erhalten.

Es gibt drei Kategorien von TLVs:

- TLV- zeitbezogener Mittelwert (TWA): Zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration für einen 8-Stunden Arbeitstag und 40 Stunden pro Arbeitswoche.
- TLV- Kurzzeit Expositionsgrenzwert (Short-term Exposure Limit, STEL): Eine über 15 Minuten zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration, die zu keiner Zeit während des Arbeitstages überschritten werden darf.
- TLV-Höchstkonzentration (Ceiling, C): Konzentration, die zu keinem Zeitpunkt der Exposition am Arbeitsplatz überschritten werden darf.

Der TLV Ausschuss leitet neue Arbeitsplatzgrenzwerte auf Grundlage aller verfügbaren und relevanten, wissenschaftlichen Daten ab.

Die Notierung „Skin“ in der Liste der TLVs bezieht sich auf einen potenziell wichtigen Beitrag durch den Aufnahmeweg der Haut zur Gesamtexposition. Die Notierung „SEN“ ist potenziell sensibilisierenden Stoffen für die Atemwege oder die Haut zugeordnet.

Die zu den TLVs korrespondierenden biologischen Werte werden als Biologische Expositionsindices (Biological Exposure Indices, BEIs) bezeichnet.



3. ARBEITSPLATZGRENZWERTE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN UND LÄNDERN

3.13 Literatur

Alle Internetseiten wurden am 25. Januar 2016 aufgerufen.

- [3.1] Richtlinie 98/24/EG des Rates zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (vierzehnte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) eur-lex.europa.eu/
- [3.2] ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=148&intPagId=684&langId=en
- [3.3] Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über krebserzeugende und fortpflanzungsgefährdende (reproduktionstoxische) Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung GKV)
www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001418
- [3.4] www.tyoturva.fi/files/4137/htp-varden2014.pdf
- [3.5] www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf?__blob=publicationFile&v=15
- [3.6] onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9783527675128
- [3.7] Decree 627/1994 and subsequent modifications and supplements (actually with legislative decree 81/08, art. 232)
- [3.8] www.ciop.pl/8524.html
- [3.9] www.hse.gov.uk/coshh/table1.pdf
- [3.10] www.ser.nl/en/oel_database.aspx
- [3.11] Sperk, C.; Scutaru, A.; Scutaru, C.: Emissionsbegrenzung aus Bauprodukten, Konzeptentwicklung europäischer NIK Werte, Texte 17/2012, Umweltbundesamt (UBA), März 2010,
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4281.pdf
- [3.12] www.dguv.de/ifa/GESTIS/index.jsp





4. LUFTÜBERWACHUNG BEI DER EXPOSITION GEGENÜBER CHEMIKALIEN AM ARBEITSPLATZ

Raymond Vincent

LUFTÜBER- WACHUNG

4.1 Variabilität von Luftkonzentration und Exposition

Eine Exposition gegenüber Chemikalien kann an vielen verschiedenen Arbeitsplätzen und bei den unterschiedlichsten Tätigkeiten auftreten. Die Exposition wird allgemein in Abhängigkeit der Konzentration einer Chemikalie in der Umgebungsluft innerhalb der Atmungszone definiert und wird normalerweise als durchschnittliche Konzentration über einen Referenzzeitraum angegeben. Zur Vermeidung langfristiger gesundheitlicher Auswirkungen ist der Referenzzeitraum auf acht Stunden festgelegt. Zur Beurteilung akuter Effekte beträgt der Referenzzeitraum lediglich 15 Minuten oder ist in Abhängigkeit von der Toxizität der Chemikalie sogar noch weiter verkürzt. Zum Beispiel beträgt der Referenzzeitraum für Isocyanate nur fünf Minuten.

Um die Einhaltung von Langzeit- oder Kurzzeitwerten zu überprüfen, müssen personenbezogene Luftproben über einen Zeitraum, der nahe am Referenzzeitraum des entsprechenden Grenzwertes liegt, genommen werden. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass Proben der Umgebungsluft (statisch oder Hintergrund) nicht die personenbezogene Expositionssituation der Beschäftigten wiedergeben und sie nicht zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten verwendet werden sollten. In der Regel fallen aufgrund der Entfernung zwischen der Probenahmeverrichtung und der Emissionsquelle die Messwerte in Umgebungsluftproben niedriger aus als bei personenbezogenen Proben. **Abbildung 4.1** veranschaulicht diese Situation für die Exposition gegenüber Toluol in der Druckindustrie.

Die Exposition von Beschäftigten variiert sehr deutlich von Tag zu Tag oder von Tätigkeit zu Tätigkeit und ist abhängig von unterschiedlichen Arbeitsplatzfaktoren wie zum Beispiel von:

- der Art der Tätigkeit,
- der angewendeten Verfahrensweise (z.B. offenes oder geschlossenes System),



Personengetragene Expositionsmessung zur Wirksamkeitskontrolle der Absaugung

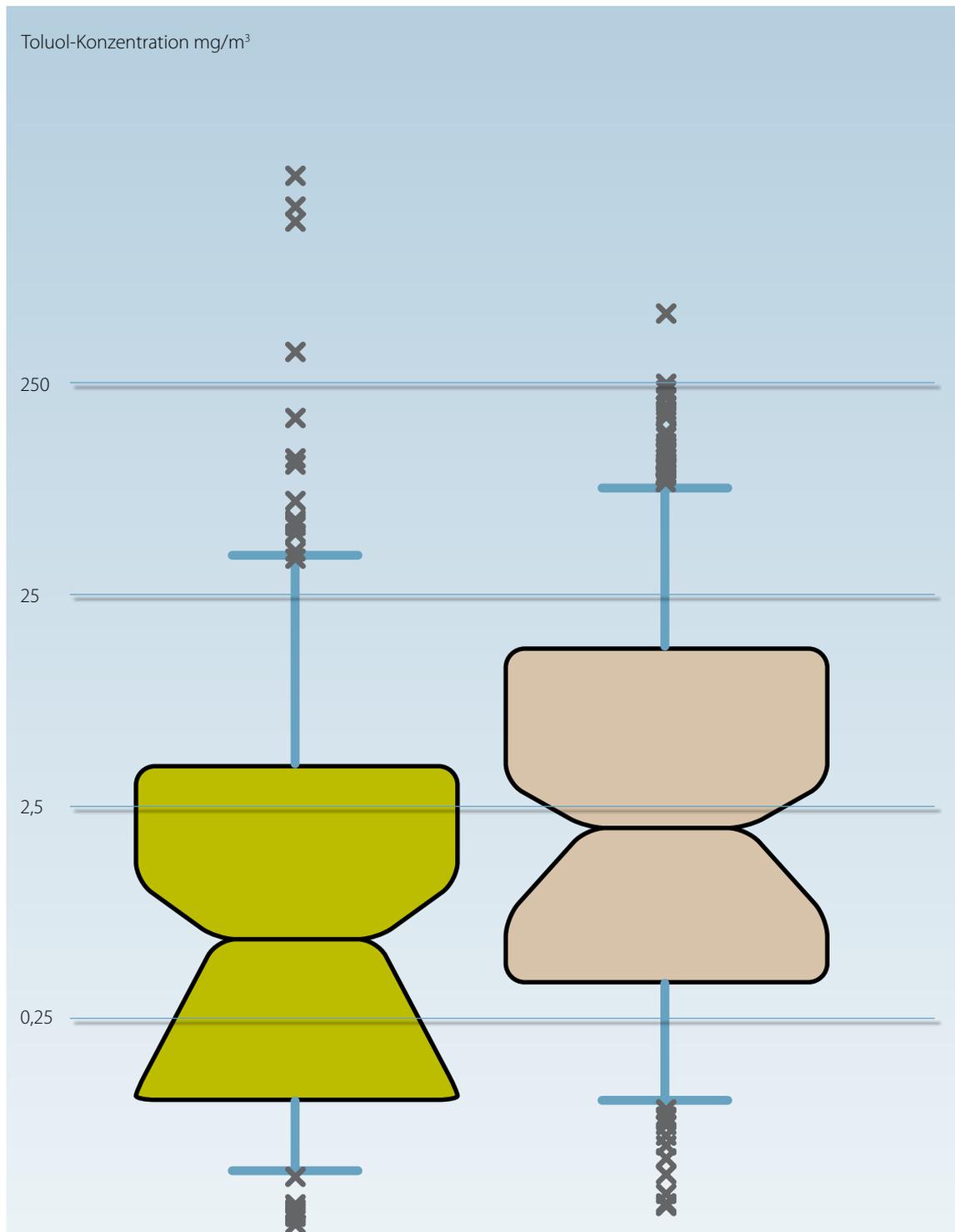
- den Prozessparametern (z. B. Temperatur, Druck),
- der Art der Emissionsquelle,
- der Dauer und den Expositionswegen,
- den Kontrollverfahren,
- dem Vorhandensein und der Wirksamkeit lokaler Abluftanlagen,
- der Produktionsrate (niedrig oder hoch),
- der Jahreszeit (Winter oder Sommer).

Die gleichzeitige Kombination dieser Faktoren trägt zu einer hohen Variabilität der Luftkonzentrationen am Arbeitsplatz bei. Die resultierenden Expositionen können dabei von Aufgabe zu Aufgabe, von Tag zu Tag und zwischen Beschäftigten mit ähnlicher Tätigkeit im gleichen Betrieb variieren.

Abbildung 4.2 stellt für einen Arbeiter in einer Druckerei die Variabilität der Exposition gegenüber Toluol, welche mit einem tragbaren Photoionisationsdetektor (PID) Analysator (HNU®) gemessen wurde,

4. LUFTÜBERWACHUNG BEI DER EXPOSITION GEGENÜBER CHEMIKALIEN AM ARBEITSPLATZ

■ Proben der Umgebungsluft ■ Personenbezogene Luftproben



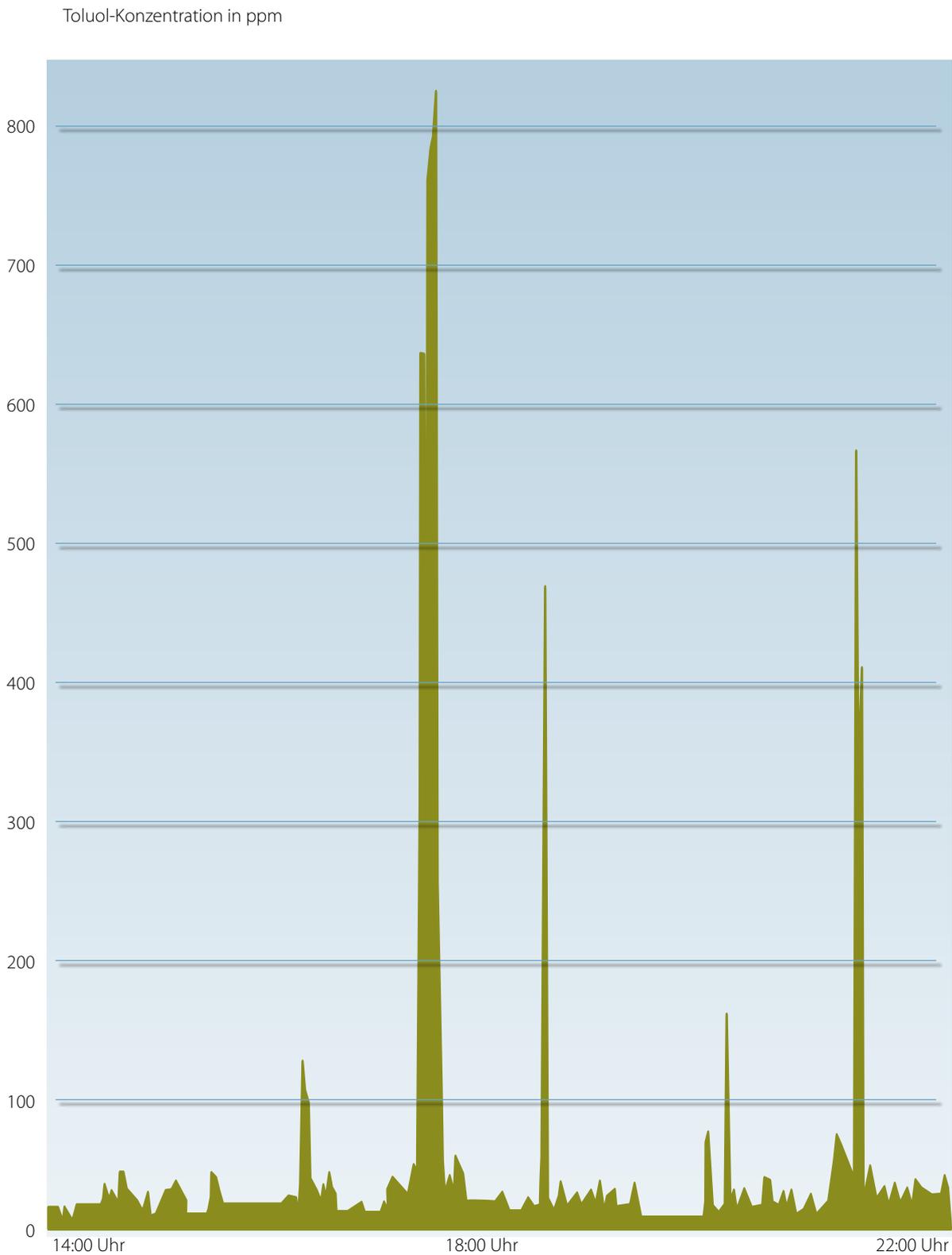


Abbildung 4.2:
Variabilität der Toluol-
Exposition eines Beschäf-
tigten in einer Druckerei.
In diesem Diagramm
entsprechen die Exposi-
tionsspitzen spezifischen
Tätigkeiten wie dem
Reinigen von Druckma-
schinen von Hand unter
Verwendung von Toluol
und Tüchern.

4. LUFTÜBERWACHUNG BEI DER EXPOSITION GEGENÜBER CHEMIKALIEN AM ARBEITSPLATZ

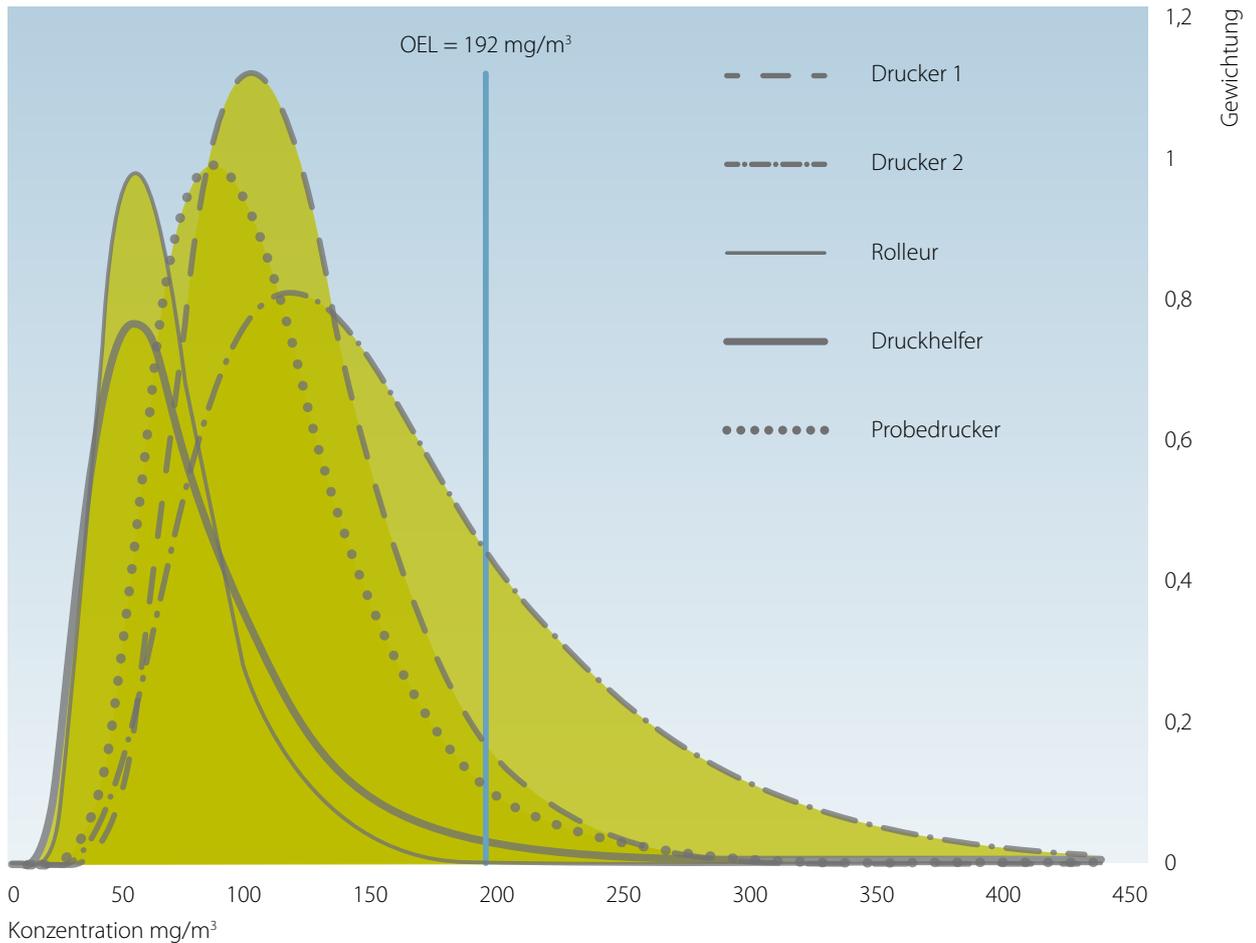


Abbildung 4.3:
Logarithmische
Normalverteilungen von
8-Stunden Messungen
für verschiedene
vergleichbare Expositions-
gruppen von Beschäftig-
ten in einer Druckerei

innerhalb eines Arbeitstages bei unterschiedlichen Tätigkeiten dar.

Als Folge dieser Variabilität und in Bezug auf Statistiken lässt sich die Expositionssituation einer Gruppe von Beschäftigten gut mit einer logarithmischen Normalverteilung beschreiben, die bei höheren Expositionen nach rechts hin flach und gestreckt ausläuft. Anders ausgedrückt: die Ergebnisse von Expositionsmessungen folgen nach logarithmischer Umwandlung einer

Normalverteilung. Basierend auf dieser Annahme, kann die Variabilität der Expositionen innerhalb einer Gruppe von Beschäftigten mit einer ähnlichen Expositionssituation (vergleichbare Expositionsgruppe, VEG) durch die geometrische Standardabweichung (GSD) charakterisiert werden. Der Wert für die GSD kann von eins bis drei variieren. Ein GSD-Wert von eins entspricht einer sehr geringen Variabilität, während ein GSD-Wert von drei eine hohe Variabilität bezüglich der Exposition anzeigt.

Anmerkung: Eine VEG ist eine Gruppe von Beschäftigten, die das gleiche allgemeine Expositionsprofil aufweisen, da sie mit gleicher Häufigkeit ähnliche Aufgaben durchführen, mit vergleichbaren Materialien und Verfahren arbeiten und die Tätigkeit in gleicher Art und Weise durchführen. [4.2]

Abbildung 4.3 veranschaulicht diese Situation für die Exposition gegenüber Toluol an verschiedenen Arbeitsplätzen in der Druckindustrie. Im Vergleich zur Exposition der VEG „Rolleur“ (GSD = 1,5 und arithmetisches Mittel = 48,1 mg/m³) wurden die höchsten Expositionen und Variabilität bei der VEG „Drucker 2“ (GSD = 1,64 und arithmetisches Mittel = 115,1 mg/m³) gemessen.

Angesichts variierender Expositionen und der Notwendigkeit von repräsentativen Messreihen zum Vergleich der Ergebnisse mit Arbeitsplatzgrenzwerten ist eine Probenahmestrategie notwendig.

4.2 Probenahmestrategie

Das erste Dokument mit einer Probenahmestrategie, die eine Kontrolle der Übereinstimmung von Expositionen gegenüber Chemikalien mit den Arbeitsplatzgrenzwerten ermöglicht, stammt vom Nationalen Institut für Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) aus dem Jahr 1977 [4.3]. 1993 veröffentlichte die britische Gesellschaft für Arbeitshygiene (British Occupational Hygiene Society, BOHS) die technische Richtlinie 11: „Probenahmestrategien für Luftschadstoffe am Arbeitsplatz“. Zwei Jahre später legte das Europäische Komitee für Normung (European Committee for Standardisation, CEN) die Europäische Norm DIN EN 689: „Arbeitsplatzatmosphäre - Anleitung zur Ermittlung der inhalativen Exposition gegenüber chemischen Stoffen zum Vergleich mit Grenzwerten und Messstrategie“ vor.



Ortsfeste Staubmessung während eines Befüllvorgangs

Seit diesen wegweisenden Schriften wurden von Organisationen aus verschiedenen Ländern weitere Publikationen veröffentlicht:

- American Industrial Hygiene Association (AIHA, USA) [4.4]
- Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS, Frankreich) [4.5]
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST, Canada) [4.6]

4. LUFTÜBERWACHUNG BEI DER EXPOSITION GEGENÜBER CHEMIKALIEN AM ARBEITSPLATZ

- Health and Safety Executive (HSE, England) [4.7]
- Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS, Deutschland) siehe Bundesanstalt für Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin (BAuA) [4.8]
- British Occupational Hygiene Society (BOHS, England) [4.9]

Diese exemplarische Auflistung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

In Deutschland ist gemäß der Gefahrstoffverordnung der Arbeitgeber für die Umsetzung und Einhaltung der Verordnung verantwortlich. Mit der Ermittlung und der Beurteilung der inhalativen Exposition darf der Arbeitgeber nur fachkundige Personen und Stellen beauftragen. Fachkundig sind insbesondere akkreditierte Messstellen.

Die Reihenfolge, in welcher Beurteilungsmaßstäbe der inhalativen Exposition angewendet werden sollen, wird in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ beschrieben [4.8]:

- nationale Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) oder Beurteilungsmaßstäbe sowie verbindliche Arbeitsplatzgrenzwerte der EU (Binding Occupational Exposure Limit Value, BOELV),
- nationale Grenzwertvorschläge der MAK-Kommission,
- Arbeitsplatz-Richtgrenzwerte der EU (Indicative Occupational Exposure Limit Value, IOELV),
- Grenzwertvorschläge anderer wissenschaftlicher Expertenkommissionen (z.B. ausländische Grenzwerte),
- Derived no effect levels (DNEL) nach der REACH-Verordnung,
- Unternehmensinterne Grenzwerte.

Die Strategie für die Ermittlung der Exposition und die Häufigkeit der Messungen ist in der TRGS 402 und der DIN EN 689 enthalten. Die Häufigkeit der Messungen hängt vom Grad der Übereinstimmung mit dem Arbeitsplatzgrenzwert ab.

Diese technischen Richtlinien empfehlen vor der Durchführung der Expositionsmessungen die Entwicklung einer Strategie und schlagen in einigen Fällen eine statistische Methodik für den Vergleich und die Überprüfung der Messwerte anhand der Arbeitsplatzgrenzwerte vor. Die Strategie besteht dabei aus mehreren Phasen:

- Durchführen einer Analyse, um die Exposition der Beschäftigten zu bewerten und festzustellen, warum und wann Expositionen zum Beispiel in Abhängigkeit von Verfahren, Tätigkeiten und Zeiträumen auftritt.
- Bildung vergleichbarer Expositionsgruppen (VEG) innerhalb der Belegschaft, um die Anzahl an repräsentativen Messungen zu optimieren.
- Festlegen eines Probenahmeplans: welche Chemikalien, welche Arbeitsplatzgrenzwerte und welcher Typ (Lang- oder Kurzzeit), Anzahl an Beschäftigten für Messung mit personenbezogener Probenahme, über welchen Zeitraum.
- Durchführung der Expositionsmessungen und Sammeln aller Informationen über Tätigkeiten und Zwischenfälle.

Da es nicht möglich ist, die Exposition jedes einzelnen Beschäftigten zu bestimmen, werden die Expositionsmessungen an einer Stichprobe von Beschäftigten durchgeführt, die einer Gruppe mit gleichen Tätigkeiten angehören und somit ähnlichen Arbeitsbedingungen und Expositionen ausgesetzt sind. Es kann dann angenommen werden, dass die Exposition der gesamten VEG der Exposition der stichprobenartig gemessenen Beschäftigten entspricht.

Im Rahmen dieses vorbereitenden Schrittes wird empfohlen, vor der endgültigen Festlegung einer Probenahme-strategie Informationen aus vorhergehenden Messungen, aus der Literatur und öffentlichen Datenbanken zu sammeln. Diese Informationen können Hinweise über Expositionshöhen, Probenahmezeiten und zu überwachende Tätigkeiten liefern. Die Verwendung direktanzeigender Geräte kann dazu beitragen, Zusammenhänge zwischen Expositionsspitzen und bestimmten Tätigkeiten zu erkennen.

Es ist ratsam, vor Beginn einer Expositionsbewertung sicherzustellen, dass alle Präventionsmaßnahmen – Substitution gefährlicher Stoffe, Modifikation der Prozesse und gemeinsame Schutzeinrichtungen wie generelle oder lokale Abzugsbelüftungen – geprüft und umgesetzt wurden und diese konform zu den Vorschriften sind.

Aufgrund der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Variabilität der Exposition und im Hinblick auf eine valide Überprüfung der Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerte, empfiehlt die DIN EN 689, die Ergebnisse von mindestens sechs Expositionsmessungen für jede VEG zu sammeln.

Der wichtigste Aspekt bei der Überprüfung der Konformität der gemessenen Expositionen gegenüber den Arbeitsplatzgrenzwerten betrifft die Repräsentativität der Ergebnisse im Bezug auf die Dauer der Probenahme, die Aktivität bei der Probenahme und mögliche Zwischenfälle.

Es wird dringend empfohlen, dass die für die Messung verantwortlichen Personen die Probenahme kontinuierlich überwachen und dabei alle Informationen über Vorkommnisse vermerken. Diese Informationen sind sehr nützlich, um im Nachhinein die Messungen als repräsentativ zu bestätigen oder auch als unrepräsentativ einzustufen.

4.3 Leistungsfähigkeit von Probenahme- und Analyseverfahren

Die allgemeinen Leistungsanforderungen für Verfahren zur Bestimmung der Konzentration von Chemikalien in der Arbeitsplatzluft werden durch die Agenzienrichtlinie 98/24/EG [4.10] festgelegt. Diese Anforderungen gelten für alle Messverfahren unabhängig von der Form des chemischen Agens (Gas, Dampf und Partikel), des Probe-

nahmeverfahren und der verwendeten Analysemethode. Die europäische Norm EN 482 legt die allgemeinen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe fest.

Unabhängig vom Ziel der Expositionsmessung muss die Leistungsfähigkeit der Probenahme- und Analyseverfahren im Bezug zur Untersuchung, z. B. zu messende Substanzen, Art des Arbeitsplatzgrenzwertes, erwarteter Luftkonzentrationen, Dauer der Exposition, überprüft werden.

Vor der Untersuchung müssen folgende Parameter überprüft werden:

- Die Selektivität der Methode.
- Die Möglichkeit, personenbezogene Expositionsmessungen durchzuführen.
- Der Typ der zu sammelnden Fraktion (alveolengängig, thoraxgängig, einatembar).
- Der Messbereich und das Durchbruchvolumen für eine wirksame Probenahme.
- Mögliche Einflussfaktoren wie relative Feuchtigkeit und Temperatur.
- Die Nachweisgrenze.
- Die Bedingungen für die Lagerung und den Transport der gesammelten Proben.
- Die Lagerzeit vor der Analyse.

Spezifische europäische Normen beziehen sich auf verschiedene Arten von Messverfahren und Messvorrichtungen. Dazu gehören europäische Normen für:

- Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Sammlern für die Messung der Konzentration luftgetragener Partikel (DIN EN 13205),
- Messung von Gasen und Dämpfen mit Diffusions-sammlern (DIN EN 838),
- Messung von Gasen und Dämpfen mit pumpenbetriebenen Probenahmeeinrichtungen (DIN EN 1076),
- Messung von Metallen und Metalloiden in luftgetragenen Partikeln (DIN EN 13890),



4. LUFTÜBERWACHUNG BEI DER EXPOSITION GEGENÜBER CHEMIKALIEN AM ARBEITSPLATZ

- Messung eines als Mischung aus luftgetragenen Partikeln und Dampf vorliegenden chemischen Arbeitsstoffes (DIN EN 13936).

Die Europäische Norm DIN EN 482 „Exposition am Arbeitsplatz - Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe“ konkretisiert die allgemeinen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung von Chemikalien. Die europäische Norm DIN EN ISO 13137 stellt die Leistungsanforderungen und Testmethoden für Pumpen dar, die zur Konzentrationsmessung chemischer und biologischer Arbeitsstoffe verwendet werden.

Zusätzlich betreffen einige internationale oder europäische Normen spezielle Probenahme- und Analyseverfahren für bestimmte Substanzen, z.B. ISO 16740 zur Messung von sechswertigem Chrom in luftgetragenen Partikeln. Für andere Chemikalien ohne standardisierte Messmethoden haben einige nationale Organisationen oder Institute ihre eigenen Verfahren entwickelt.

In Deutschland enthält die Datenbank GESTIS [4.11] alle Probenahme- und Analyseverfahren, die in Frankreich vom INRS (Metropol), in Großbritannien von der HSE, in Spanien vom Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) und in Deutschland von Institut für Arbeitsschutz (IFA) entwickelt wurden. GESTIS enthält auch einige Verfahren, die in den Vereinigten Staaten vom NIOSH [4.12] und von der Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [4.13] entwickelt wurden. In Kanada gibt das IRSST einen Leitfaden zur Probenahme für Luftverunreinigungen heraus [4.14].

Im Allgemeinen bezieht sich die Leistungsfähigkeit der von diesen Institutionen entwickelten Verfahren auf nationale oder internationale Richtlinien für die Methodenentwicklung und Evaluation (NIOSH und OSHA-Richtlinien).

4.4 Interpretation der Ergebnisse von Expositionsmessungen in Bezug auf Arbeitsplatzgrenzwerte

Vor jeder Interpretation der Ergebnisse von Expositionsmessungen müssen einige grundlegende Überprüfungen durchgeführt werden:

- Beurteilung der Repräsentativität jeder Messung in Bezug auf die Probenahmezeit und auf Vorkommnisse beim Prozess oder der Probenahme selbst.
- Eliminierung fehlerhafter Ergebnisse.
- Validierung der gebildeten vergleichbaren Expositionsguppen (VEG) vor der Vermessung.

Nach diesen Überprüfungsritten können die Ergebnisse für die Beurteilung der Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten herangezogen werden. Sobald bei einer VEG ein oder mehrere Messergebnisse den AGW für eine Chemikalie übersteigt, kann die Nichteinhaltung des AGW eindeutig festgestellt werden. Auf Grund der Variabilität und der logarithmischen Normalverteilung der Expositionen und durch eine geringe Anzahl an repräsentativen Messungen kommt es häufig zu Überexpositionen im Vergleich zum Arbeitsplatzgrenzwert.

Andererseits kann die Einhaltung angenommen werden, wenn alle Ergebnisse eines Datensatzes einer VEG unterhalb eines Bruchteils des Arbeitsplatzgrenzwertes liegen. In Europa werden verschiedene Ansätze für diese Herangehensweise empfohlen. Die Norm EN 689, die französische Verordnung [4.15] und der Leitfaden der BOHS empfehlen für die Beurteilung der Konformität, sich auf 10 % des Arbeitsplatzgrenzwertes (0,1 AGW) zu beziehen. Andere Institutionen schlagen unterschiedliche Referenzwerte vor, z. B. 25 % oder 30 % (0,25 AGW oder 0,3 AGW). In der Praxis muss der beste Referenzwert zur Feststellung der Einhaltung anhand weniger Messwerte die Variabilität der Exposition berücksichtigen. Abbildung 4.4 ist einer Studie des INRS entnommen [4.16] und gibt den zu berücksichtigen Referenzwert in

Anzahl der Messungen	Geometrische Standardabweichung					
	1,1	1,5	2	2,5	3	4
1	0,85	0,51	0,32	0,22	0,16	0,10
2	0,90	0,63	0,45	0,35	0,29	0,21
3	0,92	0,70	0,54	0,45	0,38	0,30
4	0,93	0,75	0,61	0,52	0,46	0,37
5	0,95	0,79	0,67	0,59	0,53	0,45
6	0,95	0,82	0,71	0,64	0,59	0,51
7	0,96	0,85	0,76	0,69	0,65	0,57
8	0,97	0,87	0,79	0,74	0,69	0,63
9	0,97	0,89	0,84	0,78	0,74	0,68
10	0,98	0,91	0,86	0,81	0,78	0,73

Abbildung 4.4: AGW-Anteil, der abhängig von Standardabweichung und Anzahl der Messungen in einer Messreihe nicht überschritten werden darf, damit die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung des AGW-Wertes nicht über 0,05 liegt.



4. LUFTÜBERWACHUNG BEI DER EXPOSITION GEGENÜBER CHEMIKALIEN AM ARBEITSPLATZ

Relation zur Anzahl der Expositionsmessungen und zur Variabilität (geometrische Standardabweichung, GSD) innerhalb einer VEG an.

Wenn nicht alle Ergebnisse der Expositionsmessungen in einem Bereich zwischen 10 % und 100 % des AGW (0,1 AGW und 1,0 AGW) liegen, müssen andere Herangehensweisen angewendet werden. Solche Ansätze basieren auf statistischen Berechnungen unter Berücksichtigung einer logarithmischen Normalverteilung, um die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung des AGW abschätzen zu können. Diese Herangehensweise benötigt pro VEG zumindest sechs Ergebnisse aus repräsentativen Expositionsmessungen. Zahlreiche Wissenschaftler und Gewerbeärzte haben eine Wahrscheinlichkeit 5 % (0,05 AGW) als Wert für die Feststellung einer fehlenden Einhaltung mit dem AGW vorgeschlagen. Mit anderen Worten, dieser Fall beschreibt dann eine Expositionssituation, bei der an fünf von hundert Arbeitstagen Überexpositionen auftreten können.

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit wird anhand des geometrischen Mittelwerts (GM), der geometrischen Standardabweichung (GSD) und dem AGW durchgeführt. Der GM entspricht dem arithmetischen Mittelwert aus den logarithmierten Ergebnissen, die GSD ist die Standardabweichung berechnet aus den Logarithmen der Ergebnisse. Bezüglich der Gesetzmäßigkeit einer Normalverteilung, wird der Parameter U berechnet und erlaubt die Wahrscheinlichkeitsabschätzung einer Überexposition in Bezug auf den Wert $P = 0,05$.

$$U = \frac{GM - \ln \text{OEL}}{GSD}$$

Für diese Berechnungen können verschiedene Softwareprogramme verwendet werden, z. B. Altrex-INRS (www.inrs.fr).

Die Einhaltung oder die Nichteinhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte kann auch durch den Abgleich mit der

oberen Vertrauensgrenze des 95 %-Perzentils der Verteilung beurteilt werden [4.17].

4.5 Kombinierte Exposition gegenüber Chemikalien

Heutzutage ist die Exposition gegenüber einer einzelnen Chemikalie sehr selten. In der Regel sind die Beschäftigten während ihrer Schicht gleichzeitig gegenüber mehreren Chemikalien ausgesetzt, z.B. gegenüber Metallstäuben, Lösungsmitteldämpfen und Fasern. Bei der Überwachung der Exposition können mehrere Chemikalien, die der gleichen Stofffamilie angehören, gesammelt und analysiert werden. In solch einem Fall muss die Exposition nicht nur gegenüber einer Chemikalie, sondern auch für eine resultierende kombinierte Exposition, unter Berücksichtigung möglicher antagonistischer oder synergistischer Wirkungen auf die Gesundheit, betrachtet werden. Für Beschäftigte, die mehreren Chemikalien mit ähnlichen Wirkungen auf das gleiche Zielorgan ausgesetzt sind, sollte eher die Auswirkung dieser Chemikalienmischung als der isolierte Effekt jeder einzelnen Chemikalie betrachtet werden.

In diesem Fall wird für die Mischung ein Expositionsindex aus der Summe der Konzentrationen jedes Schadstoffs geteilt durch seinen AGW berechnet. Wenn dieser Index-Wert des Gemisches kleiner als 1 ist, wird die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes für die Mischung angenommen.

Die Durchführung einer Risikoabschätzung für eine Mischexposition gegenüber mehreren Chemikalien ist komplex, da die Chemikalien in der Mischung sowohl in Bezug auf die Toxikokinetik als auch die Toxikodynamik interagieren können. Die Software „Mixie“ [4.18], entwickelt von der Universität Montreal in Zusammenarbeit mit dem IRSST, ermöglicht die Identifikation ähnlicher Auswirkungen von verschiedenen Chemikalien auf die Gesundheit, um die Exposition und die Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten zu bewerten.





4. LUFTÜBERWACHUNG BEI DER EXPOSITION GEGENÜBER CHEMIKALIEN AM ARBEITSPLATZ

4.6 Literatur

Alle Internetseiten wurden am 25. Januar 2016 aufgerufen.

- [4.1] Vincent, R.; Jeandel, B.: COLCHIC-occupational exposure to chemical agents database: current content and development perspectives. Applied Occupational and Environmental Hygiene (2001)
- [4.2] Mulhausen, J. R.; Damiano, J.: A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures. 2nd Edition. Fairfax, Virginia: AIHA Press (1998)
- [4.3] Leidel, N.; Busch, K. and Lynch, J.: Occupational Exposure Sampling Strategy Manual (DHEW/NIOSH Pub. 77-173). Cincinnati, Ohio: National Institute for Occupational Safety and Health (1977)
- [4.4] Bullock, W. H.; Mulhausen, J. R.; Ignacio, J. S.: A strategy for assessing and managing occupational exposures. 3rd Edition., Fairfax, Virginia: AIHA Press (2006)
- [4.5] Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS): Stratégie d'évaluation de l'exposition et comparaison aux valeurs limites. Fiche Métropol A1 (2005)
- [4.6] Drolet, D.; Goyer, N.; Roberge, B.; Lavoué, J.; Coulombe, M.; Dufresne, A.: Strategies for diagnosing workers' exposure to chemical substances. Études et recherches / Rapport R-665, Institut de recherche Robert- Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST), Montréal (2010)
www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-665.pdf
- [4.7] Health and Safety Executive (HSE): Exposure measurement: air sampling. COSHH Essentials General Guidance G409. London (2006)
www.hse.gov.uk/pubns/guidance/g409.pdf
- [4.8] Technische Regel für Gefahrstoffe TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“.
www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-402.html
- [4.9] British Occupational Hygiene Society: Sampling Strategy Guidance: Testing Compliance with Occupational Exposure Limits for Airborne Substances (2011)
www.bohs.org/newsamplingstrategyguidance/

- [4.10] COUNCIL DIRECTIVE 98/24/EC of 7 April 1998 on the protection of the health and safety of workers from the risks related to chemical agents at work.
www.eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:131:0011:0023:EN:PDF
- [4.11] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): GESTIS-database on hazardous substances.
www.dguv.de/ifa/GESTIS/index.jsp
- [4.12] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Manual of Analytical Methods.
www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/
- [4.13] Occupational Safety and Health Administration (OSHA): Sampling and analytical methods.
www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html
- [4.14] Drolet, D.; Beauchamp, G.: Sampling Guide for Air Contaminants in the Workplace. 8th Edition, version 8.1 updated. Studies and Research Projects / Technical Guide T-15, IRSST, Montréal (2013).
www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-guide-d-echantillonnage-des-contaminants-de-l-air-en-milieu-de-travail-8e-edition-version-8-1-mise-a-jour-t-15.html
- [4.15] Arrêté du 15 décembre 2009 relatif aux contrôles techniques des valeurs limites d'exposition professionnelle sur les lieux de travail et aux conditions d'accréditation des organismes chargés des contrôles. Legifrance.
www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021487566
- [4.16] Grzebyk M.; Sandino J. P.: Aspects statistiques et rôle de l'incertitude de mesurage dans l'évaluation de l'exposition professionnelle aux agents chimiques. INRS (2005).
[www.hst.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%202231/\\$File/ND2231.pdf](http://www.hst.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%202231/$File/ND2231.pdf)
- [4.17] P. Hewett: Interpretation and Use of Occupational Exposure Limits for Chronic Disease Agents. In: Occupational Medicine: State of the Art Reviews, 11(3) (1996).
www.cdc.gov/niosh/awards/hamilton/pdfs/award3.pdf
- [4.18] Mixie: Mixtures of substances in the workplace: computer-based tool for evaluating the chemical risk (Calculation of the Rm). IRSST.
www.irsst.qc.ca/en/-tool-mixie-mixtures-of-substances-in-the-workplace-computer-based-tool-for-evaluating-the-chemical-risk-calculation-of-the-rm.html



5. BIOLOGISCHES MONITORING

Claudia Pletscher, Michael Koller

BIOLOGISCHES MONITORING

5.1 Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte

Das Biomonitoring untersucht die Konzentration von Stoffen in Körperflüssigkeiten (Blut, Urin, Speichel) oder anderen körpereigenen Materialien (Haare, Organproben). Damit wird die „innere Exposition“ erfasst, also das, was von außen in den Körper gelangt ist. Zur Beurteilung werden Grenzwerte im biologischen Material festgelegt. Dabei ist zwischen Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung, die auf der Belastung der Allgemeinbevölkerung begründet sind und von Human-Biomonitoring Daten hergeleitet werden, und den Biologischen Arbeitsstoff-toleranzwerten (BAT-Werte) zu unterscheiden.

Ein BAT-Wert ist in den meisten Ländern als Mittelwert festgelegt und beschreibt die arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleitete Konzentration eines Arbeitsstoffes, seiner Metaboliten oder eines Beanspruchungsindikators im biologischen Material, bei der im Allgemeinen die Gesundheit von Beschäftigten auch bei wiederholter und langfristiger Exposition nicht beeinträchtigt wird. BAT-Werte beruhen auf einer Beziehung zwischen der äußeren und inneren Exposition oder zwischen der inneren Exposition und der dadurch verursachten Wirkung des Arbeits-

stoffes. Der BAT-Wert gilt als überschritten, wenn bei mehreren Untersuchungen eines Beschäftigten die mittlere Konzentration des Parameters oberhalb des BAT-Wertes liegt.



Analytische Ausrüstung für das biologische Monitoring



Blutentnahme durch eine medizinische Fachperson

5. BIOLOGISCHES MONITORING

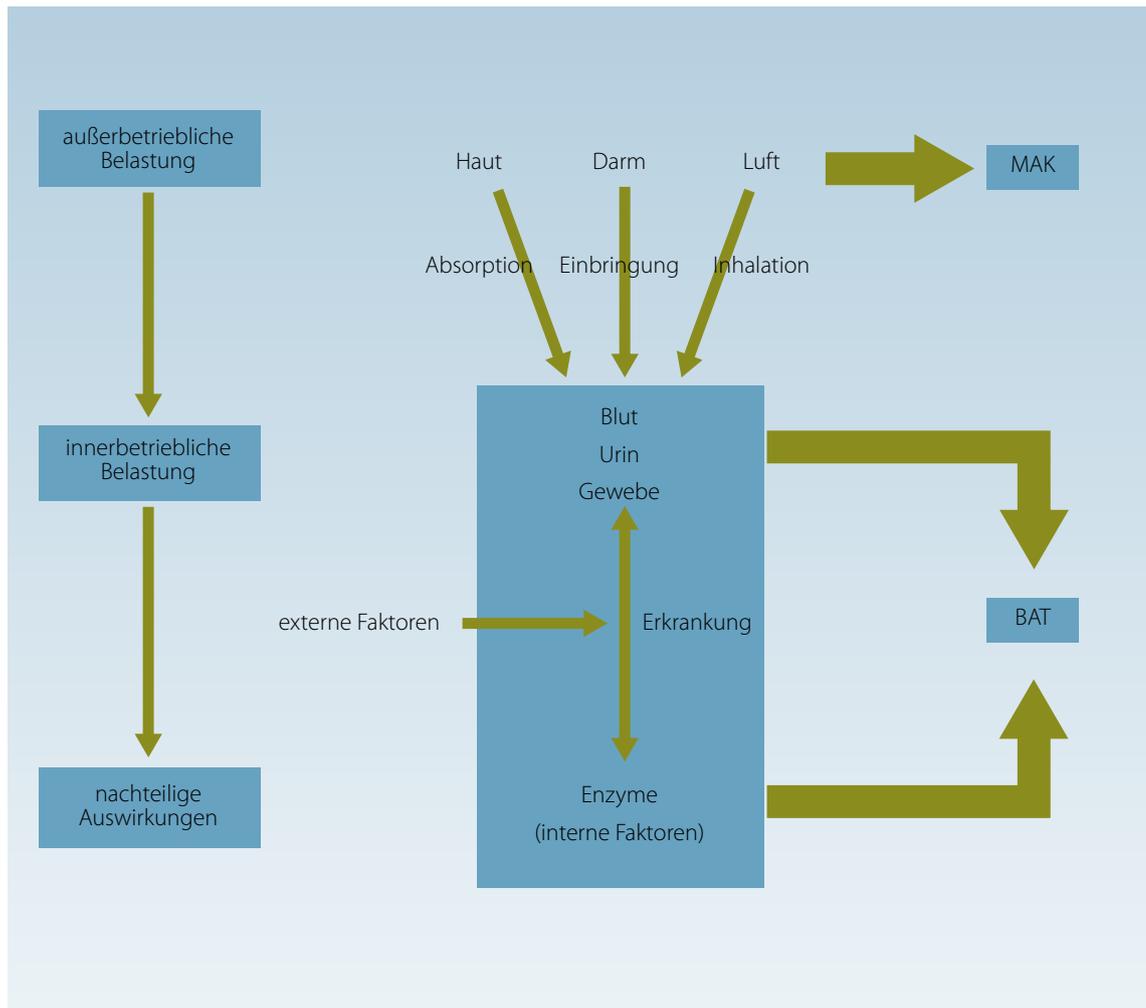


Abbildung 5.1:
Bestimmung
eines BAT-Wertes

Für die Beurteilung der Exposition von Beschäftigten gegenüber chemischen Arbeitsstoffen und der damit verbundenen Gefährdung kann das biologische Monitoring ergänzend zu Messungen der Arbeitsstoffe in der Raumluft eingesetzt werden. Die Beurteilung der äußeren Belastung bezieht sich auf die Konzentration des Stoffes in der Raumluft und die Dauer der Belastung. Mit dem Biologischen Monitoring kann die innere Belastung beurteilt werden. Die meist einfache Probenahme ermöglicht Messungen unab-

hängig von der Halbwertszeit eines Stoffes und damit auch eine Dokumentation der inneren Belastung über eine längere Zeitspanne. Dies im Gegensatz zu den Raumluftmessungen, die wegen des größeren Aufwandes in der Regel nur punktuell durchgeführt werden können.

Unter Biomonitoring versteht man im Folgenden die Beurteilung der Exposition von Beschäftigten gegenüber chemischen Arbeitsstoffen durch die Bestimmung

- der Stoffe im biologischen Material wie Blut, Urin oder Ausatemluft,
- von Metaboliten, also Stoffwechselprodukten des Arbeitsstoffes, oder
- eines körpereigenen Parameters, der durch den Arbeitsstoff beeinflusst wird.

Durch das Biomonitoring kann damit die innere Belastung durch einen Arbeitsstoff oder eine Beanspruchung als Reaktion des Organismus auf den Arbeitsstoff beurteilt werden. Dabei werden alle Einflussfaktoren wie Belastungen erfasst.

5.2 Aufnahmewege

Die Aufnahme von Arbeitsstoffen kann über die Atemwege, den Magen-Darm-Trakt und die Haut erfolgen. Die Aufnahme wird dabei durch zusätzliche Faktoren beeinflusst. So spielt bei der Aufnahme über die Atemwege das Ausmaß der körperlichen Belastung, die Bioverfügbarkeit, Partikelgröße und das Tragen eines Atemschutzes eine Rolle. Eine besondere Bedeutung hat die perkutane Aufnahme von Arbeitsstoffen. Bei gut hautgängigen Stoffen mit geringem Dampfdruck und damit verhältnismäßig geringer Arbeitsstoffaufnahme über die Atemwege ist die Gefährdung durch die perkutane Resorption deutlich höher als die Gefährdung durch das Einatmen der Arbeitsstoffe. Beispiele von Stoffen, bei denen die Hautresorption für das Auftreten einer Vergiftung besonders wichtig ist, sind aromatische Amine, Nitroverbindungen, Organophosphate, beispielsweise in Pflanzenschutzmitteln, oder die Klasse der Glykolether.

5.3 Toxikokinetik

Die Toxikokinetik umfasst die Stoffwechselprozesse eines Stoffes im Körper nach der Aufnahme wie Verteilung, Biotransformation, Bindung und Ausscheidung. Für

die Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkung sind Kenntnisse der Toxikokinetik eines Stoffes notwendig. So ist die Verteilung und Speicherung in verschiedenen Organsystemen unter anderem von den Eigenschaften eines Stoffes abhängig. Lipophile Stoffe reichern sich beispielsweise in fetthaltigen Geweben stärker an als in fettarmen. Neben stoffspezifischen toxikokinetischen Eigenschaften finden sich auch Unterschiede von Mensch zu Mensch. Dies ist z. B. bei Polymorphismen der Fall. So können zwischen der Konzentration eines Arbeitsstoffes in der Raumluft und der Wirkung am Zielorgan mehrere Variable wie Körpergröße und Gewicht, Stoffwechsel und Ausscheidung, aber auch Interaktionen mit anderen Arbeitsstoffen, Alkohol und Medikamenten die Dosis-Wirkungs-Beziehung beeinflussen.

5.4 Wechselwirkungen

Wechselwirkungen (Interaktionen) können im Bereich der Aktivierung von Stoffen zum aktiven Metaboliten oder Entgiftung (Detoxifikation) zum hydrophilen inaktiven Metaboliten auftreten. Möglich sind sowohl eine Hemmung wie auch eine Beschleunigung der Stoffwechselschritte. Durch diese Interaktionen kann es einerseits zu erhöhten Serum-Konzentrationen bei der Hemmung der Entgiftung von Arbeitsstoffen kommen. Andererseits kann die Ausscheidung von Metaboliten durch einen verzögerten Abbau gehemmt werden und zu tieferen Konzentrationen im Urin führen. Dies muss bei der Beurteilung in Betracht gezogen werden.

Generell kann die Wirkung eines Arbeitsstoffes durch andere Stoffe abgeschwächt (Antagonismus) oder im Sinne einer additiven oder über-additiven Wirkung verstärkt werden (Synergismus). Bekannt ist dies beispielsweise für die Stoffpaarung Toluol/Hexan. Auch außerberufliche Faktoren können die Beziehung zwischen äußerer Belastung und Wirkung auf das Zielorgan und damit die Parameter des Biomonitoring beeinflussen. So kann der Metabolismus von bestimmten



5. BIOLOGISCHES MONITORING

Stoffen unter akuter Einwirkung von Alkohol gehemmt werden, womit die Konzentrationen der Arbeitsstoffe im Blut ansteigen und die Konzentrationen der Metaboliten im Urin abnehmen. Bei Rauchern kommt es zu einer zusätzlichen Belastung beispielsweise gegenüber Kohlenmonoxid, Cadmium, Nickel und polyzyklischen Kohlenwasserstoffen; Raucher weisen damit höhere Konzentrationen dieser Stoffe im Blut und im Urin auf als Nichtraucher. Erhöhte innere Belastungen können bei Rauchern aber auch durch die Kontamination der Zigaretten resultieren, beispielsweise wenn an Arbeitsplätzen mit Bleibelastungen geraucht wird.

5.5 Indikatoren der Exposition

Zur Beurteilung der äußeren Belastung werden Arbeitsplatzgrenzwerte festgelegt, zur Beurteilung der inneren Belastung die Grenzwerte im biologischen Material. Wie einleitend beschrieben wird zwischen Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung und BAT-Werten unterschieden. BAT-Werte werden vorzugsweise mithilfe von Untersuchungen bei exponierten Beschäftigten aufgrund der Korrelation zwischen biologischen Messwerten und gesundheitlichen Beeinträchtigungen der exponierten Beschäftigten hergeleitet. Dies war beispielsweise für die Herleitung der BAT-Werte von Blei, Quecksilber und Cadmium möglich. Für Arbeitsstoffe, bei denen solche Studien fehlen, werden BAT-Werte indirekt aus der Kenntnis der Korrelation zwischen äußerer und innerer Belastung so hergeleitet, dass der BAT-Wert und der Arbeitsplatzgrenzwert miteinander in Beziehung stehen.

Des Weiteren werden Aufnahme, Verteilung, Stoffwechsel und Ausscheidung des Arbeitsstoffes sowie Beeinflussungen durch andere Parameter mitberücksichtigt. Man geht bei der Festlegung von Grenzwerten davon aus, dass zwischen der Konzentration des Arbeitsstoffes in der Raumluft und den gesundheitlichen Auswirkungen eine klare Dosis-Wirkung besteht.

5.6 Messung der inneren Belastung

Die Bestimmung der Arbeitsstoffe, Metaboliten oder Beanspruchungsindikatoren erfolgt im biologischen Material. Bevorzugt werden Körperflüssigkeiten, die ohne invasiven Eingriff gewonnen werden können, wie dies zum Beispiel bei Urin der Fall ist. Urin eignet sich für eine Vielzahl von Stoffen, welche hauptsächlich durch die Nieren ausgeschieden werden. Für Stoffe, die nicht vorwiegend über die Nieren ausgeschieden werden oder deren Beanspruchungsindikatoren im Urin zu wenig aussagekräftig die innere Belastung widerspiegeln, wird als Probematerial Blut verwendet.

Je nach Toxikokinetik des Arbeitsstoffes lässt sich eine akute oder chronische innere Belastung in den verschiedenen Körperflüssigkeiten besser beurteilen. Beim biologischen Monitoring von beispielsweise quecksilberexponierten Beschäftigten kann die Quecksilberkonzentration im Urin und im Vollblut gemessen werden. Vergleiche von Raumluftmessungen und Quecksilberbestimmung auf Gruppenbasis in Blut und Urin zeigten, dass der Quecksilbergehalt im Urin die Langzeitbelastung widerspiegelt, Quecksilber im Blut die akute Exposition.

Seit einiger Zeit werden auch versuchsweise Bestimmungen von Stoffen wie z. B. Metallen in einem Kondensat der Ausatemluft bestimmt. Die Methoden dazu sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt aber noch zu wenig validiert, als dass dies bereits in der Routine eingesetzt werden könnte. Diese Methode verspricht aber für die Zukunft interessante Möglichkeiten.

Gegenüber der Raumluftmessung hat das biologische Monitoring mehrere Vorteile. Durch die Bestimmung des Arbeitsstoffes oder von Metaboliten in biologischem Material wird die innere Belastung beurteilt. Grundsätzlich ist bei Stoffen, die eine Wirkung auf die inneren Organe des Menschen haben, für die Beurteilung der Gefährdung immer die innere Belastung, das heißt die

aufgenommene Arbeitsstoffmenge, bedeutsam. Damit werden alle Aufnahmewege des Arbeitsstoffes erfasst, das heißt auch die Aufnahme über die Haut und über den Magen-Darm-Trakt.

5.7 Probenahme

Bei der Festlegung der Probenahme ist darauf zu achten, dass je nach Stoffwechsel und Geschwindigkeit des Abbaus der richtige Zeitpunkt wie vor der Schicht oder am Schichtende gewählt wird. Dies wird in der Regel zusammen mit der Festlegung der Grenzwerte im biologischen Material festgelegt. Angaben dazu sind in den einzelnen Grenzwertlisten der Länder zu finden.

Verunreinigungen des Probenmaterials durch den Arbeitsstoff selbst können zu Fehlschlüssen führen, wenn als Parameter der Arbeitsstoff im Urin gewählt wird und der Hygiene nicht genügend Beachtung geschenkt wird. Bei der Bestimmung von Arbeitsstoffen im Blut ist die perkutane Aufnahme zu beachten, da peripher venös gemessene Werte bei einer Venenpunktion am Arm nicht immer dem gemischtvenösen Wert entsprechen. Der Kontamination des Probenmaterials durch verschmutzte Hände ist ebenfalls Beachtung zu schenken. Eine Schulung der Arbeitsnehmenden in der persönlichen Hygiene und korrekten Probenahme ist deshalb bei Beginn eines Biomonitorings durchzuführen.

Mit dem Analyselabor sind die geeigneten Probenahmegefäße, der Transport und die Art der Aufbewahrung abzusprechen. Nur so kann gewährleistet werden, dass das Resultat der inneren Belastung entspricht und nicht durch falsche Probenahme, Kontamination, falsche Lagerung oder Transport verfälscht wird. Die Analyse im Labor sollte gemäß anerkannten Qualitätskriterien erfolgen und von den Labors mittels Ringversuchen regelmäßig validiert werden. Nur so sind über das einzelne Labor hinaus die Ergebnisse vergleichbar.

5.8 Bewertung der Ergebnisse

Wenn es zu einer Überschreitung des BAT-Wertes gekommen ist, sind diese Resultate durch einen Experten arbeitsmedizinisch-toxikologisch zu bewerten. Aufgrund seiner Beurteilung werden weitergehende Schritte im Sinne von technischen, organisatorischen und personenbezogenen Maßnahmen getroffen.

Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, über welche Zeitspanne der Exposition der biologische Parameter Auskunft gibt, das heißt, ob aufgrund der Halbwertszeit des Parameters die aktuelle Exposition oder das „Body Burden“ widergespiegelt wird. Dies kann je nach Arbeitsstoff differieren (vgl. Bestimmung von Quecksilber im Blut und Urin). Zusätzlich sind beeinflussende Faktoren sowie die Hintergrundbelastung zu berücksichtigen. So beeinflusst das Rauchen verschiedene Arbeitsstoffe, finden sich doch im Zigarettenrauch viele dieser Stoffe. Auch die direkte Kontamination der Zigarette durch den Arbeitsstoff selbst mit darauf folgender perkutaner Aufnahme kann zu erhöhter innerer Belastung führen.

Gewisse Metaboliten werden durch Essgewohnheiten stark beeinflusst, wie beispielsweise die tt-Mukonsäure, welche als einer der Parameter für die Beurteilung der Benzolbelastung verwendet wird. Die Einnahme größerer Mengen Ascorbinsäure (Vitamin C) führt zu einer relevanten Erhöhung der tt-Mukonsäure. Dies ist bei der Besprechung der Ergebnisse des Biomonitorings abzuklären und zu erfragen. Bei der Diskussion der Messwerte ist auf den Unterschied zwischen Referenzwerten für die beruflich nicht belastete Bevölkerung und den BAT-Werten hinzuweisen.

Während ein Überschreiten des Referenzwertes für die beruflich nicht belastete Bevölkerung lediglich eine zusätzliche berufliche Belastung gegenüber der Umweltbelastung anzeigt, ist bei Überschreiten des BAT-Wertes, insbesondere bei wiederholten Überschreitungen, die Möglichkeit des Auftretens adverser Effekte abzuklären.



5. BIOLOGISCHES MONITORING

Starke Konzentration oder Verdünnung des Urins kann ebenfalls zu Interpretationsproblemen führen. Bei der Festlegung von Grenzwerten wird die Frage abgeklärt, ob für die Bestimmung von Metaboliten oder Arbeitsstoffen im Urin eine Korrektur durch den Kreatininbezug vorzunehmen ist. Es ist bei der Beurteilung deshalb auf den Wert des Kreatinins zu achten.

Die erhobenen Daten unterliegen dem Datenschutz. Dabei sind die länderspezifischen Anforderungen des Datenschutzes zu beachten. Ebenso ist die Archivierung Personenbezogen oder als kollektiv länderspezifisch geregelt. Die Ergebnisse werden durch den Betriebsarzt mit den Beschäftigten diskutiert und mit den Vorgesetzten die Maßnahmen umgesetzt.

5.9 Bedeutung der BAT-Werte

In Deutschland und in der Schweiz wurde bisher der BAT-Wert beschrieben als die bei Menschen höchste zulässige Quantität eines Arbeitsstoffes respektive Arbeitsstoff-Metaboliten, die nach dem gegenwärtigen Stand im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten auch dann nicht beeinträchtigt, wenn sie durch Einwirkung am Arbeitsplatz regelhaft erzielt wird.

In den letzten Jahren wurden viele BAT-Werte gesenkt, da immer häufiger subklinische Effekte als adverse Wirkung beurteilt wurden. Die Untersuchungen über die Beziehung zwischen äußerer und innerer Belastung zeigten in der Regel eine erhebliche Streuung der biologischen Parameter bei bestimmten äußeren Belastungen. Gründe dafür sind messtechnische Probleme, inter- und intra-individuelle Unterschiede bei Beschäftigten, unterschiedliche Arbeitsbedingungen sowie häufig verhältnismäßig kleine Untersuchungskollektive. Zusammen mit den Tatsachen, dass aus den Studien in der Regel der Toleranzwert als Mittelwert abgeleitet worden ist und eine scharfe Grenze zwischen gefährdenden und nicht gefährdenden Expositionen nicht abgeleitet werden

kann, wurden die Toleranzwerte in den USA (Biological exposure indices, BEI) sowie in der EU (Biological limit values, BLV) bereits seit längerer Zeit nicht als Höchstwert bei einem einzelnen Beschäftigten definiert.

Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung entsprechen der Hintergrundbelastung und können nicht zur Beurteilung von Arbeitsplatz bezogenen Belastungen herangezogen werden.

5.10 Anwendungen des Biomonitorings im Gesundheitsschutz

Das Biomonitoring kann im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge, der Abklärung von Berufskrankheiten, der Beurteilung von Arbeitsplätzen als Ergänzung von Raumluftmessungen und der Dokumentation von Belastungen über längere Zeit angewendet werden.

Zur Abklärung einer allfälligen beruflich bedingten Intoxikation im Sinne einer Berufskrankheit sind neben Messungen der Arbeitsstoffe in der Raumluft biologische Messungen immer dann angezeigt, wenn diese aufgrund publizierter BAT-Werte oder der Literatur bewertet werden können.

Zur Beurteilung der Arbeitsplatzverhältnisse sollten als Ergänzung von Raumluftmessungen biologische Messungen vor allem dann durchgeführt werden, wenn die Möglichkeit einer Hautresorption oder einer zusätzlichen Magen-Darm-Aufnahme eines Arbeitsstoffes besteht, wenn eine vermehrte Stoffaufnahme bei körperlich schwerer Arbeit zu berücksichtigen ist, wenn Faktoren der persönlichen Arbeitshygiene für die innere Belastung eine wesentliche Rolle spielen können oder wenn die Wirkung persönlicher Schutzmittel wie von Atemschutzmasken oder Schutzhandschuhen zu beurteilen ist. Wenn Messungen in der Raumluft und biologische Messungen durchgeführt

werden, ergeben sich bei der Auswertung der Resultate grundsätzlich vier Möglichkeiten:

- Der MAK-Wert und der BAT-Wert werden eingehalten.
- Der MAK-Wert wird überschritten, der BAT-Wert wird eingehalten.
- Der MAK-Wert wird eingehalten, der BAT-Wert wird jedoch überschritten.
- Beide Grenzwerte werden überschritten.

Während bei Einhalten oder Überschreiten der Grenzwerte mit beiden Methoden keine Interpretationsschwierigkeiten entstehen, geht es bei der Diskrepanz einer Beurteilung anhand des MAK-Wertes und des BAT-Wertes darum, diese zu bewerten. Wenn nur der BAT-Wert überschritten wird, der MAK-Wert aber eingehalten wird, sind als mögliche Ursachen eine zusätzliche Hautresorption des Arbeitsstoffes, eine Aufnahme durch den Magen-Darm-Trakt, ungenügende persönliche Hygiene, eine erhöhte Aufnahme über die Atemwege bei körperlicher Arbeit, eine zusätzliche Belastung durch Hobbyarbeiten oder Umweltfaktoren zu erwägen. An eine zeitlich zurückliegende unzulässige Belastung durch den Arbeitsstoff, wenn der biologischen Parameter das Body Burden aufgrund der langen Halbwertszeit anzeigt, ist ebenfalls zu denken. Interaktionen mit Arbeitsstoffen oder Alkohol können ebenfalls zu dieser Konstellation führen.

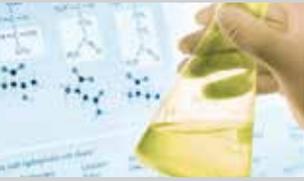
Wenn der MAK-Wert überschritten, der BAT-Wert jedoch eingehalten wird, kann das Tragen persönlicher Schuttmittel dazu führen, dass trotz einer unzulässig hohen Exposition in der Raumluft die innere Belastung gering bleibt. Eine hohe äußere Belastung ist allenfalls nur intermittierend zu messen und wird durch einen biologischen Parameter nicht erfasst, da dieser unter Umständen eine Belastung über längere Zeit anzeigt.

Entsprechend der Interpretation sind die Lösungsansätze zu wählen. Bei isolierter Überschreitung des BAT-Wertes sind vor allem persönliche Schuttmittel und die persönliche Hygiene unter die Lupe zu nehmen und

zusätzliche außerberufliche Belastungen oder Interaktionen müssen gesucht und ausgeschlossen werden. Auch wenn der MAK-Wert isoliert überschritten wird, müssen technische und organisatorische Maßnahmen auch dann getroffen werden, wenn der BAT-Wert eingehalten wird, stehen doch gemäß dem STOP-Prinzip (Substitution - technische Maßnahmen - organisatorische Maßnahmen - persönliche Schutzausrüstungen) die persönlichen Schutzausrüstungen an letzter Stelle der zu treffenden Maßnahmen.

5.11 Literatur

- [5.1] Jost, M. und Pletscher, C.: Biologisches Monitoring und biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Suva Medical (2009)
- [5.2] Lauwerys, R. R. und Hoet, P.: Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring; 3rd Edition. CRC Press (2001)



6. RISIKOMANAGEMENT BEI NICHT VORHANDENEN GRENZWERTEN

RISIKO- MANAGEMENT

Andreas Königer

Für eine Reihe von Gefahrstoffen wurden national und international gesundheits-, risiko- oder technikbasierte Richt- bzw. Grenzwerte abgeleitet und festgelegt. Diese ermöglichen es, eine Exposition von Beschäftigten bezüglich einer Gesundheitsgefährdung zu beurteilen und Schutzmaßnahmen festzulegen.

Trotz aller Bemühungen ist die Zahl der Stoffe, für die (noch) kein Grenzwert vorliegt, weitaus höher. Für diese Stoffe fehlen somit nachvollziehbare Kriterien zur Bewertung der inhalativen Exposition als Basis für die Festlegung geeigneter Schutzmaßnahmen.

Nachfolgend werden zwei Vorgehensweisen beschrieben, wie trotz Ermangelung von Arbeitsplatzgrenzwerten die Gefährdungssituation von Beschäftigten am Arbeitsplatz abgeschätzt werden kann, um geeignete Schutzmaßnahmen zu ermitteln.

6.1 Control-Banding-Ansatz

Der Control-Banding-Ansatz ist eine Strategie für ein nachvollziehbares Risk assessment und Gefahrenmanagement am Arbeitsplatz, wenn keine Grenzwerte vorhanden sind. Der Ansatz basiert auf den Stoffeigenschaften und den Arbeitsverfahren. Ziel des Modells ist es, den für die Sicherheit der Beschäftigten am Arbeitsplatz zuständigen Personen, die ggf. über keine oder nur geringe fachliche Expertise verfügen, ein einfaches leicht zu benutzendes Werkzeug an die Hand zu geben. Mit dessen Hilfe ist es möglich, mit verfügbaren Informationen ein Risk assessment durchzuführen bzw. eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen und geeignete Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten abzuleiten.

Die Vorgehensweise ersetzt aber keinesfalls regulatorische Anforderungen zur Ableitung gesundheitsbasierter Grenzwerte, wie sie beispielsweise nach der REACH-Verordnung notwendig sind. Das Modell soll weiterhin nicht die experimentelle Ermittlung der inhalativen Exposition der Beschäftigten am Arbeitsplatz als Teil der Wirksamkeitsprüfung ersetzen.

Das Modell des Control Banding findet in verschiedenen Ländern in sehr ähnlicher Weise unter unterschiedlichen Namen Anwendung [6.1]:

- Frankreich: Hierarchisation des risques potentials [6.2]
- Deutschland: Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe [6.3]
- Niederlande: Stoffenmanager [6.4]

- Norwegen: KjemiRisk [6.5]
- Großbritannien: Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Essentials [6.6]

6.1.1 Grundinformationen

Ausgangspunkt für den Bewertungsprozess sind Informationen über den zu beurteilenden Gefahrstoff, wie sie üblicherweise im Sicherheitsdatenblatt vorzufinden sind



Für ein sicheres Arbeiten ist persönliche Schutzausrüstung notwendig, wenn technische Maßnahmen nicht zur Verfügung stehen und Grenzwerte nicht eingehalten werden können.

6. RISIKOMANAGEMENT BEI NICHT VORHANDENEN GRENZWERTEN

sowie Informationen zur Arbeitsweise, zu den Prozessdaten sowie zum Risikomanagement und den angewandten Schutzmaßnahmen. Jeder Stoff und jede Tätigkeit sind getrennt zu bewerten.

Angaben zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften:

- Aggregatzustand unter den Anwendungsbedingungen (fest/flüssig/gasförmig),
- Siedepunkt, Dampfdruck,
- Korngröße und Staubfreisetzungspotenzial (Wachs/Pasten, Pellets, Granulat, grobpulvrig/feinpulvrig).

Angaben zur Toxizität und zum Gefahrenpotenzial:

- Einstufung (z. B. Gefahrenklasse und -kategorie),
- Grenzwerte (wenn vorhanden).

Angaben zur geplanten Tätigkeit:

- Eingesetzte Stoffmenge,
- Prozessparameter (z. B. Druck, Temperatur),
- Arbeitsverfahren und Prozessdesign (z. B. offen, zeit-

weise offen, geschlossen, technisch dicht, abgesaugt),

- Vorhandene Schutzmaßnahmen (z. B. Absperrungen, Zugangsbeschränkungen, persönliche Schutzausrüstungen wie Arbeitskleidung, spezielle Schutzkleidung, Chemikalienschutzhandschuhe, Atemschutz).

6.1.2 Evaluation

Das Risk assessment entsprechend dem Control-Banding-Ansatz erfolgt in vier Schritten.

• Gefahrenband:

Im ersten Schritt werden Einstufungsinformationen wie die H-Sätze verwendet, um den Stoff einem Gefahrenband zuzuordnen. Je kritischer die Einstufung und bzw. oder je niedriger vorhandene Grenzwerte sind, desto höher ist das Gefahrenband.

• Freisetzungspotenzial:

Im zweiten Schritt muss unter Verwendung der physikalisch-chemischen Eigenschaften und unter Berücksichtigung

Abbildung 6.1:
Verfahrensindices

Verfahrensindex	
0,25	Die Anlage oder die Prozesskomponente ist als vollkommen geschlossen anzusehen. Ein (angenommener) AGW wird zweifelsfrei und dauerhaft eingehalten.
0,5	Die Anlage oder die Prozesskomponente ist als geschlossen anzusehen. Ein (angenommener) AGW wird unzweifelhaft eingehalten.
1,0	Die Anlage oder die Prozesskomponente ist als weitgehend geschlossen anzusehen. Ein (angenommener) AGW wird aber nicht immer mit Sicherheit eingehalten.
2,0 und 4,0	Die Anlage oder die Prozesskomponente ist als (teilweise) offen anzusehen. Ein (angenommener) AGW wird nicht mit Sicherheit eingehalten.

sichtigung der Reaktionsparameter ein Freisetzungspotenzial prognostiziert werden. Je niedriger z. B. der Siedepunkt, je höher der Dampfdruck, je größer das Staubungsverhalten und je höher die Reaktionstemperatur, desto höher ist das Freisetzungspotenzial des Stoffes.

- **Stoffmenge:**

Im dritten Schritt wird die bei der betrachteten Tätigkeit gehandhabte Stoffmenge ermittelt und einem Mengenband zugeordnet. Je größer diese Stoffmenge, desto höher ist ein potenzielles Gefährdungsrisiko.

- **Risk assessment und Risikomanagementmaßnahmen:**

Im vierten Schritt wird aus der Kombination der Ergebnisse der vorangegangenen drei Modellschritte eine Zuordnung zu empfohlenen Arbeitsverfahren und Schutzmaßnahmen abgeleitet. Je höher das Gefahrenband (Schritt 1), je größer das Freisetzungspotenzial (Schritt 2) und je größer die eingesetzte Stoffmenge (Schritt 3), desto anspruchsvoller sind die Anforderungen an die Gestaltung des Arbeitsverfahrens und die zu treffenden Schutzmaßnahmen. Diese können von der Anwendung von Mindeststandards bis hin zu einer vollständig geschlossenen Prozessführung reichen. Bei der Auswahl der Schutzmaßnahmen sind technische Schutzmaßnahmen organisatorischen oder persönlichen Schutzmaßnahmen vorzuziehen. Bei besonders hohen Risiken ist eine über den Control-Banding-Ansatz hinausgehende Einzelfallbetrachtung notwendig.

6.1.3 Umsetzung

Nachdem mit Hilfe des Control-Banding-Ansatzes Risikomanagementmaßnahmen ermittelt wurden, sind diese mit dem ursprünglich vorgesehenen Arbeitsverfahren und den Schutzmaßnahmen abzugleichen und ggf. Korrekturmaßnahmen vorzunehmen.

6.2 Verfahrensindices

Wenn für einen Stoff weder Grenzwerte noch Einstufung vorhanden sind, ist im Allgemeinen ein hohes Risiko für Mensch und Umwelt zu unterstellen. In diesem Fall ist somit zum einen der Stoff selbst zu bewerten und zum anderen die Schutzwirkung (z. B. die Dichtheit) der technischen Anlagenteile zu ermitteln bzw. zu beurteilen. Die Technische Regel für Gefahrstoffe TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ [6.7] beschreibt dafür eine Vorgehensweise.

Jedem einzelnen Anlagenbauteil wird in einer Bewertung ein sogenannter Verfahrensindex zugeordnet, der den Grad an Dichtheit repräsentiert. Dies entspricht einer Aussage über das durch die technische Lösung verbleibende Expositionspotenzial bzw. wie zuverlässig ein potenzieller Arbeitsplatzgrenzwert eingehalten wird (siehe Abbildung 6.1).

Eine gesamte Anlage oder ein Prozess kann z. B. als „vollkommen geschlossen“ angesehen werden, wenn die Verfahrensindices aller Anlagenteile mit einem Verfahrensindex von 0,25 bewertet sind. Sind einzelne Anlagenteile oder Prozessschritte einer schlechteren Bewertung zugeordnet, zeigt dies einen Handlungsbedarf entweder zur Verbesserung der technischen Maßnahmen oder zur Anweisung von zusätzlichen organisatorischen oder persönlichen Schutzmaßnahmen auf. In bestimmten Fällen ist es möglich, ein aufgrund der technischen Bewertung zunächst mit einem Verfahrensindex von 0,5 oder 1 bewertetes Anlagenteil durch zusätzliche organisatorische Maßnahmen (z. B. vorbeugende Instandhaltung) auf 0,25 oder 0,5 zu verbessern.



6. RISIKOMANAGEMENT BEI NICHT VORHANDENEN GRENZWERTEN

6.3 Literatur

Alle Internetseiten wurden am 25. Januar 2016 aufgerufen.

- [6.1] Qualitative Risk Characterization and Management of Occupational Hazards: Control Banding (CB). NIOH Publication 2009-152 (2009)
- [6.2] www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ND%202121
- [6.3] www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/EMKG/EMKG.html
- [6.4] www.stoffenmanager.nl/Default.aspx?lang=nl
- [6.5] www.ohs.no/ChemiRisk/english/about.htm
- [6.6] www.hse.gov.uk/coshh/
- [6.7] Technische Regel für Gefahrstoffe TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“
www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-500.html





7. GRENZWERTE FÜR NANOMATERIALIEN

GRENZWERTE FÜR NANOMATERIALIEN

Thomas Brock

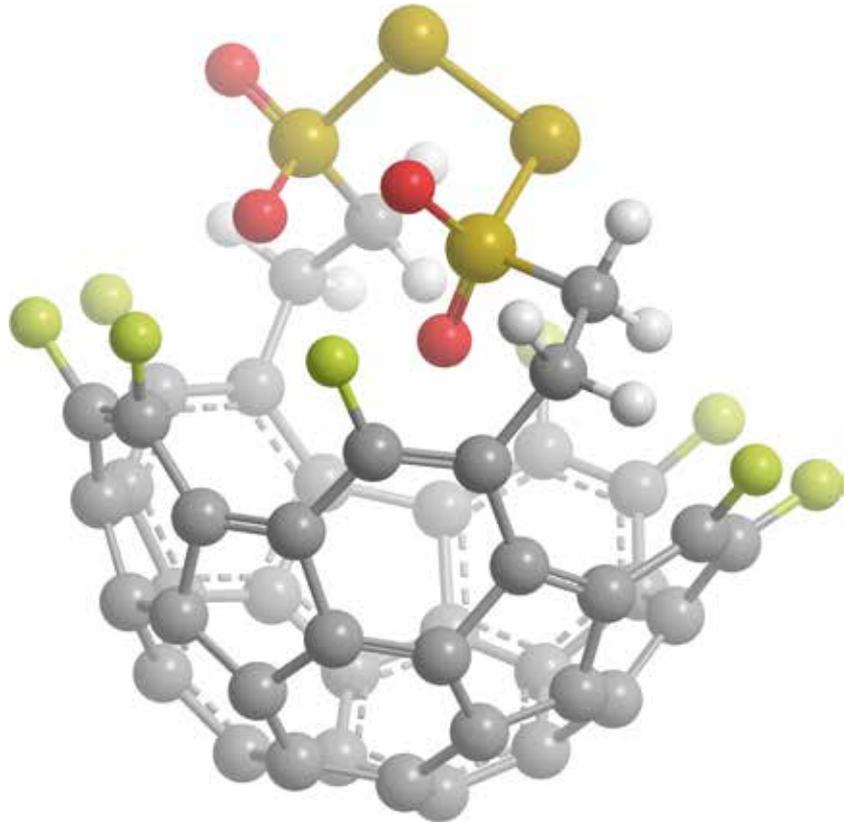
7.1 Nanomaterialien

Nanomaterialien sind Stoffe, Gemische oder auch komplexe Strukturen, die mit nanotechnologischen Verfahren hergestellt, weiter bearbeitet oder verarbeitet werden. Sie grenzen sich in diesem Zusammenhang von den nicht absichtlich hergestellten ultrafeinen Stäuben ab. Die EU fasst unter die Nanomaterialien auch Produkte, die einen gewichtsmäßig verschwindend kleinen Anteil an Teilchen im „Nanobereich“ aufweisen.

Die Dimensionen der einzelnen Teilchen bzw. der für die Eigenschaften relevanten Strukturen bewegen sich dabei im Bereich von etwa einem Nanometer bis ungefähr 100 Nanometer. Für Betrachtungen im Arbeitsschutz hat es sich als sinnvoll erwiesen, die obere Grenze bei mehreren 100 Nanometern zu ziehen. Damit bewegen sich diese Technologien im Bereich einzelner großer Moleküle oder von Verbänden von vergleichsweise wenigen Atomen oder Molekülen.

Im Jahr 2011 verabschiedete die EU-Kommission die Empfehlung für die Definition von Nanomaterialien: „Ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben.“

In besonderen Fällen und bei berechtigten Bedenken für die Umwelt, Gesundheit, Sicherheit oder Wettbewerbsfähigkeit kann der Schwellenwert von 50 % für die Anzahlgrößenverteilung durch einen Schwellenwert zwischen 1 % und 50 % ersetzt werden. Abweichend davon sollten Fullerene, Graphenfloeken und einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren mit einem oder mehreren Außenmaßen von weniger als 1 nm als Nanomaterialien betrachtet werden. Die Definition in dieser Empfehlung schließt auch Partikel in Agglomeraten oder Aggregaten ein, wenn die Größe der konstituierenden Teilchen im Bereich von 1 nm bis 100 nm liegt. Darüber hinaus entspricht ein Material mit



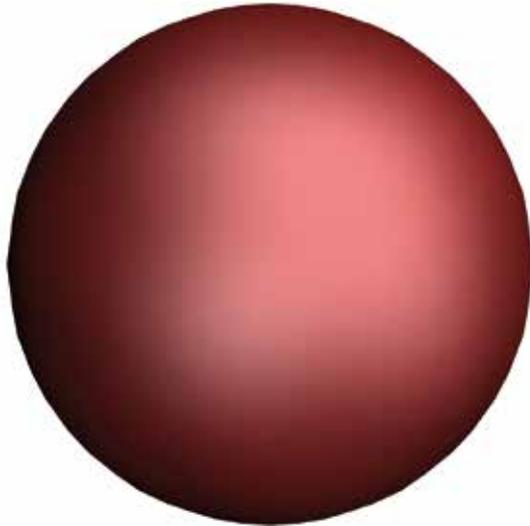
einer spezifischen Oberflächen/Volumen Relation von über $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ dieser Definition [7,8].

7.2 Nano-Objekte und nanostrukturierte Materialien

Unter dem Begriff „Nanotechnologie“ – unüblich, jedoch treffender ist der Plural „Nanotechnologien“ –, versteht man eine Vielzahl von Verfahren, die sich mit der Herstellung oder Manipulationen kleinster Strukturen beschäftigen. Die Nanotechnologie ist als Querschnittstechnologie anzusehen. Neben den klassischen Disziplinen, wie etwa der Chemie oder der Physik, sind auch Disziplinen wie Biologie, Medizin, Ingenieur- und Werkstoffwissenschaften betroffen, bei der Abschätzung der Folgen für Mensch und Umwelt auch Disziplinen der Geisteswissenschaften.



7. GRENZWERTE FÜR NANOMATERIALIEN



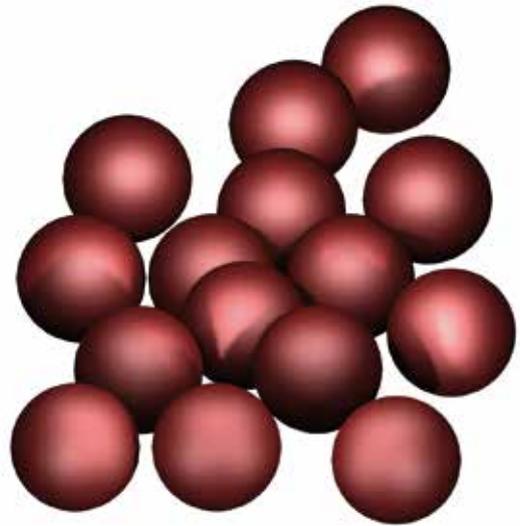
Primärpartikel

Bislang existiert keine einheitliche Nomenklatur für diese Materialien, jedoch hat sich die Einteilung der internationalen Normung als sinnvoll erwiesen. Demnach ist im Rahmen der Nanomaterialien zwischen den „Nanoobjekten“ und den „nanostrukturierten Materialien“ zu unterscheiden.

Nanoobjekte sind demnach kein Bestandteil größerer Strukturen, sondern abgegrenzt und frei, können jedoch beispielsweise in einer Flüssigkeit suspendiert vorliegen. Sie neigen zudem dazu, relativ schnell untereinander oder zu anderen Oberflächen mehr oder weniger starke Bindungen einzugehen, wodurch Agglomerate oder Aggregate entstehen, die aufgrund ihrer Größe keine Nanoobjekte darstellen. Unter bestimmten Bedingungen können die Nanoobjekte mitunter aus diesen wieder freigesetzt werden.

Nanoobjekte werden eingeteilt in:

- Nanofilme und -plättchen, die eine Dicke zwischen ca. 1 nm und ca. 100 nm aufweisen, in Länge und Breite jedoch nicht beschränkt sind. Ein Beispiel ist die Kohlen-

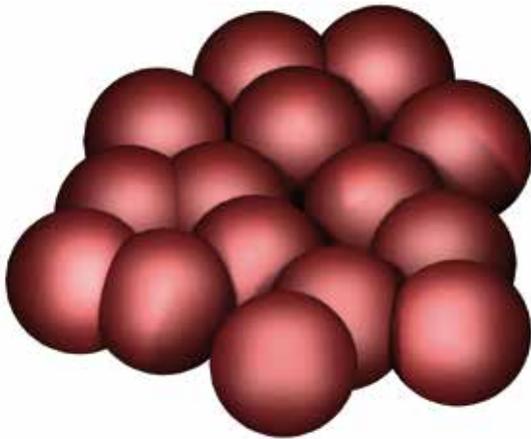


Agglomerat von Primärpartikeln

stoffmodifikation des Graphens mit ungewöhnlichen mechanischen und elektrischen Eigenschaften, dessen Entdecker mit dem Physiknobelpreis 2010 ausgezeichnet wurden.

- Nanoröhrchen, -stäbchen, -drähte und -fasern weisen einen Durchmesser in diesem Größenbereich auf, sind in ihrer Länge jedoch nicht beschränkt. Hier sind die Kohlenstoff-Nanoröhrchen die bekanntesten Vertreter, ebenfalls mit einer Reihe ungewöhnlicher Eigenschaften.
- Nanopartikel sind mehr oder weniger sphärische Objekte, die in allen drei Raumdimensionen in diesem Größenbereich liegen, sie können im Gegensatz zu den anderen zwei Arten demnach keine makroskopischen Dimensionen annehmen.

Auch wenn derzeit noch eine sehr begrenzte Zahl von Nanomaterialien den Weg in die praktische Anwendung gefunden hat, so ist doch die Vielzahl theoretisch möglicher Nanomaterialien geradezu unüberschaubar. Neben Unterschieden in der chemischen Zusammensetzung sind es insbesondere die vielen möglichen und unterschiedlich wirksamen Strukturen, die diese Mannigfal-



Aggregat von Primärpartikeln

tigkeit ausmachen. Daher können keine allgemeinen Aussagen der Art: „Nanomaterialien machen dies oder das“ getroffen werden, selbst die Betrachtung von „Kohlenstoff-Nanoröhrchen“ würde hierbei Zehntausende unterschiedlicher Nanoröhrchentypen unzulässig verallgemeinern. Allerdings können durch das steigende Verständnis der Wirkmechanismen immer bessere Kategorisierungen vorgenommen werden.

7.3 Eigenschaften und Verwendung von Nanomaterialien

Nanomaterialien zeichnen sich durch besondere Eigenschaften aus, die von der Kleinheit der Objekte oder Strukturen und der begrenzten Anzahl von darin organisierten Atomen oder Molekülen herrühren. Ins Auge fällt zunächst die im Vergleich zur Stoffmenge riesige Oberfläche. Dies bedeutet, dass im Gegensatz zu makroskopischen Objekten, in denen „fast alle“ Atome oder Moleküle im Inneren des Objektes „verborgen“ sind, ein großer bis überwiegender Anteil an der Oberfläche sitzt

und mit der chemischen und biologischen Umgebung in Wechselwirkung treten kann. Dies zeigt sich etwa an der Staubexplosionsfähigkeit mancher Nanomaterialien, bei denen die Mindestzündenergie erheblich herabgesetzt sein kann. Manche dieser Materialien sind daher auch katalytisch sehr aktiv, was von der selbstreinigenden Oberfläche durch Reaktion mit (Sonnen-) Licht und Sauerstoff bis zur chemischen Synthese mit verbessertem Wirkungsgrad gegenüber herkömmlichen Katalysatoren führen kann.

Die Oberflächen können durch chemische Reaktionen zusätzlich modifiziert werden, wodurch sich die Eigenschaften weiter verändern können. An der Oberfläche können Moleküle aus der Umgebung adsorbiert und mittransportiert werden. Ebenso können manche Nanomaterialien auch Atome und Moleküle einschließen und wie mit einer Tarnkappe (zur Umgebung hin ganz andere Eigenschaften „vortäuschend“) transportiert werden, etwa durch biologische Strukturen hindurch zur Freisetzung von Wirkstoffen innerhalb der Zelle. Die aerodynamischen Eigenschaften kleinerer Nanoobjekte ähneln eher denen von Gasen als denen von Stäuben.

Dies alles führt zu interessanten Produktentwicklungen oder bereits marktreifen Produkten. So können beispielsweise Werkstoffe mit erheblich verbesserten Eigenschaften wie der Festigkeit hergestellt werden, die Nanomedizin erlaubt Therapiemöglichkeiten für schwere Erkrankungen wie Krebs und neue Möglichkeiten der Energiespeicherung oder -konversion versprechen Unterstützung bei der nachhaltigeren Nutzung der Ressourcen unseres Planeten. Während bislang die meisten Produkte noch darauf beruhen, dass Nanoobjekte wie Kohlenstoff-Nanoröhrchen oder Metalloxid-Partikel zur Verbesserung der Eigenschaften zugemischt werden, so sind Entwicklungen im Gange, die von einer viel „intelligenteren“ Nutzung Gebrauch machen werden, hin bis zu selbstorganisierenden Systemen oder gar – aber das ist bislang nur Spekulation – zu selbst reproduzierenden Systemen, die die Grenze zur synthetischen Biologie dann ganz überschreiten könnten.



7. GRENZWERTE FÜR NANOMATERIALIEN

7.4 Abschätzung der biologischen Effekte

Eine Beurteilung der Risiken ist nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnis nicht abschließend möglich. Nach wie vor bestehen Lücken im Verständnis der Eigenschaften und Wirkungen auf Mensch und Umwelt, die weiterhin erheblichen Aufwandes bedürfen, um geschlossen zu werden. Aus in-vitro- und in-vivo-Versuchen liegen Hinweise vor, dass zumindest einige Nanomaterialien negative Effekte haben können. So zeigen bestimmte Nanoröhrchen nach der Inhalation im Tierversuch eine besorgniserregende Wirkung auf die Lunge. Aus Nanomaterialien können Metallionen freigesetzt werden, oxidativer Stress kann auftreten und um Nanoobjekte im Körper kann sich eine Proteinkorona mit bislang wenig bekannten Eigenschaften bilden.

Es konnte gezeigt werden, dass manche Nanoobjekte (Partikel und faserartige Strukturen) eine Translokation erfahren, also biologische Barrieren wie Zellmembranen durchdringen können, wodurch ein Übertritt aus der Lunge in das Blut möglich ist. Wichtige Faktoren sind dabei neben der Dosis die Dimensionen und die Stabilität von Nanomaterialien im Körper. Nanomaterialien, die sich rasch im Körper auflösen, wirken nicht über ihre spezifische Nanostruktur, sondern – wenn überhaupt – durch freigesetzte und in Lösung gehende chemische Verbindungen und Metallionen. Die experimentellen Befunde gelten keineswegs pauschal für alle Nanomaterialien, sondern immer nur für bestimmte einzelne oder Gruppen von Materialien. Auch ist mit diesen experimentellen Befunden keineswegs immer automatisch eine negative Wirkung verbunden. Diese zeigen jedoch zumindest, dass es einer erhöhten Wachsamkeit bedarf.

7.5 Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz

Für den Bereich des Arbeitsschutzes ist vorteilhaft, dass das Risiko negativer Auswirkungen nach aller vernünftigen Annahme nicht nur vom Material und seinen Eigenschaften abhängt, sondern auch von der Wahrscheinlichkeit der Einwirkung, insbesondere von der Dosis. Diese wiederum lässt sich sehr gut kontrollieren. Alle Untersuchungen und Messergebnisse vor Ort zeigen, dass mit den klassischen Methoden der Expositionsminimierung auch die Exposition gegenüber Nanomaterialien kontrollierbar ist, das Risiko also auf diesem Weg klein gehalten werden kann.

Allerdings wird für die Anwendung dieser Maßnahmen Sachverstand benötigt, damit sie wirksam sind. So können Nanomaterialien nach allen bisher gefundenen Messergebnissen in Laborabzügen praktisch expositionsfrei gehandhabt werden. Dies funktioniert nicht in Abzügen mit verminderter Funktionsfähigkeit – was auch für andere Stoffe gilt. Weiterhin kann ein Zuviel an Strömung dazu führen, dass leichte Materialien wie etwa Fullerene im Luftstrom mitgerissen werden und das Abzugsinnere kontaminieren. Dennoch sind die technischen Aspekte der Schutzmaßnahmen gut zu beherrschen, allerdings ist der Umgang infolge mangelnder Sorgfalt oder fehlendem Wissen gelegentlich zu verbessern. Hier besteht sicher noch Schulungsbedarf.

Die messtechnische Beurteilung ist nach wie vor nicht einfach. Angefangen bei den teuren Messgeräten bis hin zur Beurteilung ist dieses Feld im Vergleich zu anderen Gefahrstoffmessungen noch nicht weit entwickelt. Beispielsweise sind Grenzwerte nicht verfügbar und auch in naher Zukunft nicht zu erwarten. Ein Vorschlag für hilfsweise anzuwendende Werte ist beim Institut für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zu finden.

Es gibt einige Messsysteme, mit denen es möglich ist, orientierende Werte über die Belastung zu erhalten.

Diese sind dann mit komplexeren Messungen zu validieren. Die Frage der geeigneten Messgeräte ist bislang nicht eindeutig beantwortet. Während die Masse der Teilchen pro Volumeneinheit Luft sehr geringe Werte ergibt, obwohl die Anzahl der Teilchen in der gleichen Volumeneinheit sehr hoch ist, ist eine Bestimmung der verfügbaren Oberfläche pro Volumen vermutlich für die Beschreibung der Exposition am besten geeignet.

Konzentrationsangaben oder gar verbindliche – möglichst gesundheitsbasierte – Grenzwerte, die als Beurteilungsgrundlage für Messungen und daraus gegebenenfalls abzuleitende Maßnahmen dienen, sind schwer aufzustellen. Die Frage beginnt bereits mit der Problematik, dass es kaum möglich ist, für jedes der vielen (denkbaren) Nanomaterialien einen eigenen Grenzwert aufzustellen. Die vernünftige und vertretbare Gruppierung nach Wirkungen, soweit diese beurteilt werden können, ist ein erster Ansatz. Dennoch lassen die oft unsichere Datenlage bei den toxikologischen Befunden und eine noch lange nicht ausreichende messtechnische Abdeckung der Arbeitsplätze es derzeit kaum zu, gesundheitsbasierte Grenzwerte aufzustellen.

Das Nationale Institut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) hat in den USA einen Beurteilungswert für nanoskaliges Titandioxid von $0,3 \text{ mg/m}^3$ und Kohlenstoff-Nanoröhrchen von $0,007 \text{ mg/m}^3$ (jeweils für 10 Stunden pro Tag und 40 Stunden pro Woche) aufgestellt. Ein britischer Standard schlägt vor, Konzentrationen für nanoskaliges Material mit einem einheitlichen Faktor aus dem Wert für das gleiche nicht-nanoskalige Material abzuleiten. Auch einige Hersteller von Nanomaterialien haben Werte empfohlen ($0,05 \text{ mg/m}^3$ für mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren).

Die DGUV hat einen Beurteilungswert von $20.000 \text{ Partikel/cm}^3$ für biobeständige granuläre Nanomaterialien mit einer Dichte von mehr als 6 g/cm^3 im Messbereich von 1 bis 100 nm und von $40.000 \text{ Partikel/cm}^3$ für die

gleiche Art von Material mit einer geringeren Dichte vorgeschlagen. Beide Werte sind nicht gesundheitsbezogenen, sondern leiten sich von messtechnischen Erwägungen ab. Alle Grenzwerte sollten nur unter im Rahmen einer Expertenbeurteilung verwendet werden.

Der Ausschuss für Gefahrstoffe des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales schlägt ein Verfahren für die Durchführung einer Risikobewertung für Nanomaterialien vor. Dieses ist als Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 527 „Hergestellte Nanomaterialien“ veröffentlicht.

Als Mindestbewertung sollten die Effekte berücksichtigt werden, die sich aus der chemischen Zusammensetzung des Nanomaterials (z. B. Toxizität von Arsenverbindungen für nanoskaliges Arsen(III)-oxid) ergeben. Unabhängig davon sollte weiterhin die Stoffcharakterisierung als biobeständiges Nanoobjekt berücksichtigt werden (z. B. Staub einer praktisch unlöslichen Verbindung, wobei eine Löslichkeit von weniger als 100 mg in einem Liter Wasser als „unlöslich“ betrachtet wird. So wird Calciumsulfat ($0,255 \text{ g/l}$ bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$) als „löslich“, Calciumcarbonat in der Modifikation von Calcit ($6 \cdot 10^{-4} \text{ g/l}$ bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$) als „unlöslich“ definiert). Dieses Kriterium kann als Maßstab angewendet werden und steht im Einklang mit dem europäischen Arzneibuch, wobei jedoch signifikante Unterschiede zwischen der Löslichkeit in Wasser und einer Löslichkeit in Serum oder dem Surfactant der Lunge möglich sind.

Daher lassen sich vier Klassen von Nanomaterialien definieren:

- lösliche Nanomaterialien (Klasse I),
- biobeständige Nanomaterialien mit spezifischen toxikologischen Eigenschaften (Klasse II),
- biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxikologische Eigenschaften (granuläre biobeständige Partikel) (Klasse III),
- biobeständige faserförmige Nanomaterialien (Klasse IV).



7. GRENZWERTE FÜR NANOMATERIALIEN

Für Materialien der Klasse I ist eine Risikobewertung anhand der allgemeinen Prinzipien der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung“ (www.baua.de) ausreichend.

Sofern keine Daten für das Gegenteil vorliegen, müssen für Materialien der Klasse II gesundheitsschädliche Effekte oder toxische Eigenschaften der mikroskaligen Form in Betracht gezogen werden. Grenzwerte für derartige Materialien liegen typischerweise bei weniger als 0,1 mg/m³.

Da Materialien der Klasse III keine substanzspezifische Toxizität aufweisen, werden diese manchmal mit dem veralteten Begriff „inerte Substanzen“ bezeichnet, obwohl sie sich tatsächlich im biologischen System nicht wirklich inert verhalten. Wenn keine Grenzwerte aus qualifizierten Quellen zur Verfügung stehen (z. B. internationale oder vorgeschlagene Grenzwerte, vorläufige unternehmensinterne Beobachtungs- oder Aktionsniveaus, DNELs) kann als Beurteilungsmaßstab der halbe Arbeitsplatzgrenzwert (bezogen auf den aktuell gültigen rechtsverbindlichen Arbeitsplatzgrenzwert für die A-Staubfraktion gemäß TRGS 900) verwendet werden. Der Beurteilungsmaßstab zur Bewertung der Exposition am Arbeitsplatz sollte jedoch nicht höher als 0,5 mg/m³ für ein Material mit einer Dichte von 2,5 g/cm³ sein.

Die Risikobewertung für faserförmige Materialien der Klasse IV ist anspruchsvoller. Neben den schwierigen Messmethoden sollten sich die Grenzwerte für diese Materialien an den Grenzwerten für Asbest orientieren, da einige von ihnen ähnliche Wirkungen zeigen können. Dies ist nicht erforderlich sofern ein bestimmtes Produkt diese Effekte nachweislich nicht zeigt oder belegt ist, dass die Fasern die Faserkriterien der WHO nicht erfüllen.

Jedoch sind auch diese Ansätze nur ein Versuch mit der Unsicherheit umzugehen. Dennoch können mangelnde Grenzwerte eine Untätigkeit nicht rechtfertigen; vielmehr findet hier das Vorsorgeprinzip Anwendung. Eine Minimierung bis auf Null käme dabei dem „starken

Vorsorgeprinzip“ gleich, was mit einem Einstellen aller Tätigkeiten und der Verwendung aller Produkte de facto gleich käme.

Das kann sicherlich nicht die Lösung für das Problem sein. Von einem philosophischen Standpunkt aus betrachtet, wäre sogar zu fragen, ob es zulässig sein kann, eine Technologie, die in vielerlei Hinsicht nicht nur eine Verbesserung der Lebensumstände der Menschen, einen schonenderen Umgang mit der Umwelt und die konkrete Hilfe für einzelne Personen, beispielsweise von Krebspatienten, einem Moratorium zu unterwerfen, bis auch die letzten Fragen abschließend geklärt sind.

7.6 Empfehlungen

Würden keine Anwendungen mehr erlaubt werden, fehlte es sicherlich an der Motivation, sich den komplexen Fragestellungen zu stellen. Es kommt daher sinnvoller Weise das sogenannte „schwache“ Vorsorgeprinzip zur Geltung. Denn „schwach“, wie es die Bezeichnung suggeriert, ist dieses Prinzip eigentlich nicht. Nicht nur bei Fragen des Einsatzes der Expositionsminderung stehen hilfreiche Werkzeuge zur Verfügung, auch für eine Aufstellung von Konzentrationswerten, die einer Beurteilung von Arbeitsplätzen dienlich sein können, sind zumindest erste Ansätze verfügbar. Ein solcher Ansatz besteht in den Werten, die das IFA insbesondere unter Berücksichtigung des Standes der Technik und der messtechnischen Möglichkeiten vorgeschlagen hat. Größe und Dichte der Nanomaterialien dienen hier als Richtwerte.

Ein mehrstufiger Ansatz für die Messung von Nanomaterialien in der Luft am Arbeitsplatz wird im Abschnitt 7.7 vorgestellt.

Jüngere Forschungsergebnisse zeigen, dass eine unkoordinierte Flut zusätzlicher Studienergebnisse mehr

zur Verwirrung als zur Aufklärung beiträgt. Aus diesem Grund bleibt ein intensiver, spezialisierter aber auch öffentlicher Dialog zwischen Forschern und Nutzern eine Notwendigkeit. Dabei ist ein richtiges Verständnis der Risiken für alle Beteiligten erforderlich.

Das Gebiet der Nanotechnologie wird sicherlich auch weiterhin für einen langen Zeitraum ein wichtiges Thema für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz bleiben. Obwohl geprüfte und wirksame Strategien zur Überwachung und Verringerung der Exposition zur Verfügung stehen, ist es ratsam, zukünftige Entwicklungen des Themas wachsam zu verfolgen.

7.7 OECD-Hilfen zu Arbeitsschutz bei Nanomaterialien

Stefan Engel

„Ein mehrstufiger Ansatz zur Expositionsermittlung und -bewertung nanoskaliger Aerosole, die aus synthetischen Nanomaterialien in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden.“ Hinter diesem Titel verbirgt sich ein Strategiepapier, das der Verband der Chemischen Industrie (VCI) gemeinsam mit dem IFA, der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem Institut für Energie und Umwelttechnik (IUTA) erarbeitet hat [7.9]. Initiiert hatte das Projekt der VCI. Das Ziel: Praktikern in Industrie und Behörden soll beim Arbeiten mit Nanomaterialien ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, um eine mögliche Exposition durch luftgetragene Nanopartikel am Arbeitsplatz messen, das Risiko bewerten und daraus Maßnahmen für ein Höchstmaß an Sicherheit am Arbeitsplatz ableiten zu können.

Auf Grundlage dieses Strategiepapiers hat die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) jetzt ein wegweisendes Papier als Hilfe zur Umsetzung des Arbeitsschutzes beim Umgang

mit Nanomaterialien publiziert. Und damit eine international auf hohem Niveau harmonisierte Grundlage für eine weltweit sichere Handhabung von Nanomaterialien gelegt.

Bereits 2007 hatte der VCI mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) den „Leitfaden zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ formuliert. Auch Stakeholder waren im Vorfeld intensiv eingebunden. Um die Mini-Teilchen verantwortungsvoll zu handhaben, ist eine effiziente, zuverlässige und zugleich auch pragmatische Beurteilung der Exposition ein entscheidendes Element. Hierfür haben die Arbeitsschutz-Experten aus Industrie, Wissenschaft und Behörden mit ihrem Mehrstufen-Modell ein Instrument geschaffen, das sich sowohl für kleine und mittlere Unternehmen als auch für weltweit tätige Großunternehmen eignet: Sie können mithilfe dieses Modells adäquate Maßnahmen für den Arbeitsschutz ableiten. Dieser Ansatz ermöglicht die Realisierung einer umsichtigen Bewertungsstrategie, bei der nur in unvermeidlichen Fällen teure und komplexe Ausrüstungen verwendet werden. Dies hat den Vorteil, dass es möglich ist, eine größere Anzahl an Arbeitsplätzen mit einfacher Ausrüstung messtechnisch zu erfassen und die Verfügbarkeit von Expositionsdaten an Arbeitsplätzen zu erhöhen.

Aus Sicht des VCI könnte dieses international abgestimmte Vorgehen zum sicheren Umgang mit Nanomaterialien künftig auch als Vorbild für den Umgang mit anderen modernen Technologien dienen. Unabdingbare Voraussetzung dafür ist eine offene Kommunikation und Transparenz gepaart mit hoher Kompetenz.



7. GRENZWERTE FÜR NANOMATERIALIEN

7.8 Literatur

Alle Internetseiten wurden am 25. Januar 2016 aufgerufen.

- [7.1] Brock, T. H.; Beth-Hübner, M.; Prinz, W.; Thierbach, M.; Berges, M.; Möhlmann, C.; Milde, J. in: DGUV Forum 12/2009. www.dguv-forum.de
- [7.2] Berges, M.; Brock, T. H.; Dahmann, D.; Hacke, S.; Milde, J.; Möhlmann, C.; Neumeister, L.; Pallapies, D.; Rietschel, P. and Ziegler, C. in: DGUV Forum 5/2013. www.dguv-forum.de
- [7.3] Berges, M.; Vogel, U.; Savolainen, K.; Wu, Q.; van Tongeren, M.; Brouwer D. H. (ed.): Handbook of Nanosafety: Particle Measurement, Exposure Assessment and Risk Management of Engineered Nanomaterials. Elsevier (2013)
- [7.4] Berges, M.; Pallapies, D.: Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen, www.dguv.de/ifa/Fachinfos/Nanopartikel-am-Arbeitsplatz/Beurteilung-von-Schutzma%C3%9Fnahmen/index.jsp
- [7.5] Committee on Hazardous Substances (AGS): Announcement on Hazardous Substances 527: Manufactured Nanomaterials, GMBI 25, 498 (2013)
- [7.6] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Verband der chemischen Industrie (VCI): Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz: www.vci.de/Presse/Pressemitteilungen/Seiten/Aktualisierter-Leitfaden-fuer-den-Umgang-mit-Nanomaterialien.aspx#
- [7.7] DGUV-I 213-855 Nanomaterialien im Labor – Hilfestellungen für den Umgang: www.dguv.de/fb-rci/Sachgebiete/labor/Publikationen/index.jsp
- [7.8] COMMISSION RECOMMENDATION of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial (2011/696/EU)
- [7.9] Tiered Approach to an Exposure Measurement and Assessment of Nanoscale Aerosols Released from Engineered Nanomaterials in Workplace Operations www.vci.de/vci/downloads-vci/tiered-approach.pdf



Besuchen Sie die Seiten der IVSS-Sektionen:

Agriculture: www.issa.int/prevention-agriculture

Chemistry: www.issa.int/prevention-chemistry

Construction: www.issa.int/prevention-construction

Education: www.issa.int/prevention-education

Electricity: www.issa.int/prevention-electricity

Health: www.issa.int/prevention-health

Information: www.issa.int/prevention-information

Iron and Metal: www.issa.int/prevention-metal

Machine and System Safety: www.issa.int/prevention-machines

Mining: www.issa.int/prevention-mining

Prevention Culture: www.issa.int/prevention-culture

Research: www.issa.int/prevention-research

Transport: www.issa.int/prevention-transportation

