

Erläuterungen zu den  
MAK- und BAT-Werten  
Grenzwerte physikalische  
Einwirkungen  
Richtwerte physische  
Belastungen

# Grenzwerte am Arbeitsplatz

# Grenzwerte am Arbeitsplatz

## Erläuterungen zu den Grenzwerten für chemische Substanzen \*

(aktuelle MAK- und BAT-Werte: [www.suva.ch/grenzwerte](http://www.suva.ch/grenzwerte))

## Arbeitshygienische Grenzwerte für physikalische Einwirkungen

## Richtwerte für physische Belastungen

\* Die aktuell geltenden Maximalen Arbeitsplatzkonzentrations- (MAK) und Biologischen Arbeitsstofftoleranzwerte (BAT) finden Sie unter [www.suva.ch/grenzwerte](http://www.suva.ch/grenzwerte). Grenzwerte am Arbeitsplatz werden von der Suva gemäss Art. 50 Abs. 3 der Verordnung des Bundesrates vom 19. Dezember 1983 über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten erlassen. Der Erlass erfolgt im Einvernehmen mit der Grenzwert-Kommission der Schweizerischen Vereinigung für Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit (Suissepro).

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte (MAK-Werte)</b>	<b>6</b>		
<b>1.1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>6</b>		
1.1.1	Definition des MAK-Wertes	6	1.3.3	Erläuterungen zu spezifischen krebserregenden Stoffen 16
1.1.2	Kurzzeitgrenzwert (KZGW)	6	1.3.3.1	Krebserzeugende Stoffe ohne MAK-Wert 16
1.1.3	Erläuterungen	7	1.3.3.2	Bildung krebserregender Nitrosamine aus Aminen 16
1.1.4	Hinweis auf besondere Vollzugspflichten	8	1.3.3.3	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe 17
1.1.5	Vergleich von MAK-Werten mit DNEL-Werten	8	1.3.3.4	Asbest 18
			1.3.3.5	Synthetische Fasern und Faserstäube 19
			1.3.3.6	Chrom(VI) in Prozessen gemäss ChemRRV 19
<b>1.2</b>	<b>Definition der Notationen HSO<sup>1</sup>BP</b>	<b>10</b>	<b>1.4</b>	<b>Keimzellmutagene Stoffe (Notation M) 20</b>
1.2.1	H (Hautresorption)	10	<b>1.5</b>	<b>Reproduktionstoxische Stoffe (Notation R) 21</b>
1.2.2	S (Sensibilisierung)	10		
1.2.3	O <sup>+</sup> (Interaktion von Lärm und chemischen Stoffen)	10	<b>1.6</b>	<b>Beziehung zwischen fruchtschädigender Wirkung und MAK-Wert (SS-Klassen) 23</b>
1.2.4	B (Biologisches Monitoring)	11		
1.2.5	P (Provisorische Festlegung)	11		
<b>1.3</b>	<b>Krebserregende Stoffe (Notation C) 12</b>			
1.3.1	Definition der C-Kategorien	12		
1.3.2	Krebserregende Stoffe mit und ohne Schwellenkonzentration	13		
1.3.2.1	Allgemeine Bemerkungen	13		
1.3.2.2	Krebserregende Stoffe ohne Schwellenkonzentration	14		
1.3.2.3	Krebserregende Stoffe mit Schwellenkonzentration	16		

<b>1.7</b>	<b>Stäube und Nanopartikel</b>	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>Biologische Arbeitsstoff- toleranzwerte (BAT-Werte)</b>	<b>39</b>
1.7.1	Analyse von Aerosolen	24			
1.7.2	Granulär-biobeständige Stäube (GBS)	26			
1.7.3	Nanopartikel und ultrafeine Partikel	27	<b>2.1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>39</b>
1.7.4	Sensibilisierende Stäube (Getreidemehlstaub)	28	2.1.1	Arbeitsmedizinische Vorsorge und Biomonitoring	39
1.7.5	Biologisch belastete Stäube und Aerosole/biologische Einwirkungen	29	2.1.2	Definition des BAT-Wertes	40
			2.1.3	Erläuterungen	40
			2.1.4	Aufbau der Liste der BAT-Werte	41
<b>1.8</b>	<b>Spezielle Themen</b>	<b>30</b>	2.1.5	BAT-Werte von Arbeitsstoffen mit der Einstufung «krebserzeugend»	
1.8.1	Beurteilung des Gesundheitsrisikos von Arbeitsstoffen ohne MAK-Wert	30		C <sub>1A</sub> und C <sub>1B</sub>	42
1.8.2	Stoffgemische	32	2.1.6	Analytische Überwachung	42
1.8.3	Neurotoxische Substanzen	33			
1.8.4	Organische Peroxide	34			
1.8.5	Kühlschmierstoffe und Mineralöle	34	<b>3</b>	<b>Physikalische Einwirkungen</b>	<b>43</b>
1.8.6	Lösliche Metalle	35			
1.8.7	Blei und seine Verbindungen	35	<b>3.1</b>	<b>Ionisierende Strahlen</b>	<b>43</b>
<b>1.9</b>	<b>Hinweise auf Messmethoden</b>	<b>37</b>	<b>3.2</b>	<b>Nichtionisierende Strahlen</b>	<b>44</b>
1.9.1	Adressen	37	3.2.1	Laser	44
1.9.2	Einheiten	38	3.2.2	Ultraviolett	44
1.9.3	Stoffe, die gleichzeitig als Dampf und Aerosol vorliegen können	38	3.2.3	Visuelle und Infrarotstrahlung (inkohärent)	46
			3.2.4	Elektromagnetische Felder	47

<b>3.3</b>	<b>Schall und Vibrationen</b>	<b>50</b>
3.3.1	Dauerschall (Lärm)	50
3.3.2	Impulsartiger Schall	50
3.3.3	Ultraschall	50
3.3.4	Infraschall	50
3.3.5	Hand-Arm-Vibrationen	51
3.3.6	Ganzkörper-Vibrationen	51
<b>3.4</b>	<b>Hyperbare Umgebung</b>	<b>51</b>
3.4.1	Gas- und dampfförmige Stoffe	52
3.4.2	Stäube und Aerosole	52
<b>3.5</b>	<b>Hitze (Infrarotstrahlung)</b>	<b>53</b>
<hr/>		
<b>4</b>	<b>Richtwerte für physische Belastungen</b>	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>54</b>
<b>4.2</b>	<b>Richtwert für Gewichte (Manipulation von Lasten)</b>	<b>55</b>

# 1 Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte (MAK-Werte)

## 1.1 Vorbemerkungen

### 1.1.1 Definition des MAK-Wertes

Der **Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswert (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 überwiegenden Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten, die Gesundheit nicht gefährdet.

### 1.1.2 Kurzzeitgrenzwert (KZGW)

Die maximalen Arbeitsplatzkonzentrationswerte sind 8-Stunden-Mittelwerte. In der Praxis schwankt jedoch die aktuelle Konzentration der Stoffe in der Atemluft häufig in erheblichem Ausmass. Die Überschreitung des Mittelwertes bedarf bei vielen Stoffen der Begrenzung, um Gesundheitsschäden zu verhüten. Basierend auf toxikologischen und arbeitshygienischen Kriterien werden kurzzeitige Abweichungen der aktuell gemessenen Raumluftkonzentration über den publizierten, auf die Arbeitsschicht bezogenen Grenzwert des Arbeitsstoffes

hinsichtlich **Höhe, Dauer und Häufigkeit** pro Arbeitstag oder Schicht begrenzt.

Die Liste der MAK-Werte enthält in der besonderen Kolonne «KZGW» die jeweils festgelegten Kurzzeitgrenzwerte.

Der **Kurzzeitgrenzwert (KZGW)** ist jener Wert, welcher auch kurzfristig nicht überschritten werden darf. Messtechnisch gesehen bedeutet dies, dass der Mittelwert einer 15-minütigen Messung nicht über dem Kurzzeitgrenzwert liegen darf.

Bei lokal reizenden oder atemwegsensibilisierenden Stoffen entspricht der Kurzzeitgrenzwert in der Regel dem Schichtmittelwert (d. h. dem MAK-Wert). Bei resorptiv oder systemisch wirksamen Stoffen kann der Kurzzeitgrenzwert höher sein, da hier der MAK-Wert oft nicht akute, sondern kumulativ-toxische Phänomene verhindern soll.

Es sind maximal vier 15-minütige Überschreitungen des MAK-Werts pro Schicht in Höhe des Kurzzeitgrenzwertes erlaubt. Der Abstand zwischen den vier erlaubten Expositionsspitzen pro Schicht soll mindestens eine Stunde betragen. Der 8-Stunden-Mittelwert ist in jedem Falle einzuhalten.

Bei starken Reizstoffen kann durch kurzzeitige Konzentrationsspitzen die Wirkungsschwelle überschritten werden.

### 1.1.3 Erläuterungen

**Der MAK-Wert ist eine Beurteilungsgrundlage für die Bedenklichkeit oder Unbedenklichkeit** am Arbeitsplatz auftretender Konzentrationen von Stoffen. Neben der Giftigkeit der eingeatmeten Stoffe werden bei der Festlegung der MAK-Werte noch andere Faktoren berücksichtigt, u. a. Ätzwirkung, sensibilisierende und ernsthaft belastigende Eigenschaften sowie Hautdurchdringungsvermögen.

Die MAK-Werte sind keine sicheren Grenzen zwischen gefährlichen und ungefährlichen Bereichen.

Einerseits garantieren Konzentrationen eines Stoffes, die unterhalb des MAK-Wertes liegen, nicht die Gesundheit aller Exponierten. Besonders empfindliche oder in ihrer Gesundheit beeinträchtigte Personen können auch durch tiefere Konzentrationen gefährdet werden. Andererseits bedeutet eine kurzfristige Einwirkung oberhalb des MAK-Wertes noch keineswegs, dass bei den Exponierten gesundheitliche Probleme auftreten. Die **unterschiedliche Empfindlichkeit und Belastung** des arbeitenden Menschen, z. B. im Zusammenhang mit Alter,

Zu den besonders empfindlichen Personen gehören u. a. diejenigen, bei denen Haut oder Atemwege gegenüber gewissen Arbeitsstoffen sensibilisiert sind. Bei diesen können allergische Reaktionen (Überempfindlichkeitsreaktionen) durch zahlreiche Stoffe schon in minimalen Konzentrationen ausgelöst werden. Das Einhalten der MAK-Werte bietet hier nur eine beschränkte Sicherheit.

Geschlecht, Konstitution, Ernährungszustand, Klima sowie physischer und psychischer Arbeitsbelastung, wurde bei der Festlegung der MAK-Werte nach Möglichkeit berücksichtigt.

Einzelne Stoffe können auch bei Konzentrationen unterhalb des Grenzwertes Gefahren anderer Art mit sich bringen, zum Beispiel Explosionen. Solche Gefahren sind nicht Gegenstand dieser Publikation.

Die MAK-Werte, wie auch die Grenzwerte für physikalische Einwirkungen am Arbeitsplatz (siehe Kap. 3) stimmen weitgehend überein mit denjenigen, die periodisch durch die «American Conference of Governmental Industrial Hygienists» und/oder vor allem durch die «Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft» publiziert werden. Die an den Arbeitsplätzen gemessenen Konzentrationen dienen der Suva als Grundlage zur Beurteilung des Berufskrankheiten-Risikos und – wenn nötig – zum Anordnen von technischen und medizinischen Massnahmen zur Verhütung von Berufskrankheiten.

#### **Die MAK-Werte werden erarbeitet**

- epidemiologisch durch den Vergleich von am Arbeitsplatz auftretenden Konzentrationen mit der Häufigkeit entsprechender Gesundheitsschäden;
- aufgrund von experimentellen Untersuchungen;
- durch Analogieschlüsse und aufgrund anderer theoretischer Überlegungen.

Voraussetzungen für die Aufstellung eines MAK-Wertes sind ausreichende toxikologische und/oder arbeitsmedizinische Erfahrungen beim Umgang mit dem Stoff. Erfahrungen an Menschen sind bei der Beurteilung höher zu bewerten als experimentelle Untersuchungen oder Analogieschlüsse. Die MAK-Werte müssen immer wieder neuen Erkenntnissen angepasst werden. Deshalb wird die vorliegende Liste regelmässig revidiert.

#### **1.1.4 Hinweis auf besondere Vollzugspflichten**

Neben der Sicherstellung der Einhaltung der MAK-Werte hat der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass die Mitarbeitenden über die bei ihren Tätigkeiten auftretenden besonderen Gefahren in Kenntnis gesetzt und über die Massnahmen zu deren Verhütung vor der Aufnahme der Tätigkeit, und danach in den erforderlichen Zeitabständen, angeleitet werden. Er sorgt für die Befolgung dieser Massnahmen. Die Mitarbeitenden sind ihrerseits verpflichtet, die Weisungen des Arbeitgebers zu befolgen, die Sicherheitsvorschriften zu beachten sowie die Sicherheitsvorrichtungen und persönliche Sicherheitsausrüstungen zu benutzen (Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten, VUV).

#### **1.1.5 Vergleich von MAK-Werten mit DNEL-Werten**

##### **MAK-Werte**

MAK-Werte sind rechtlich verbindliche Grenzwerte, welche dem Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmer dienen. Sie werden von der Suva gemäss Art. 50.3 VUV erlassen und in der Grenzwertliste veröffentlicht. Der Erlass erfolgt im Einvernehmen mit der Grenzwertkommission

der Schweizerischen Vereinigung für Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit (Suissepro). In dieser Kommission befinden sich Experten aus Universitäten, aus Bund und Kantonen, aus der Industrie, praktisch tätige Personen aus der Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie Vertreterinnen und Vertreter der Suva. Jeder MAK-Wert wird aufgrund von wissenschaftlichen Erkenntnissen und nach Abklärungen betreffend der Machbarkeit festgelegt und in der vorliegenden Grenzwertliste veröffentlicht. Bei der Bestimmung eines MAK-Werts stehen Grundregeln der Grenzwertsetzung zur Verfügung. Diese Regeln werden für jeden Stoff individuell, entsprechend der Beurteilung durch die Experten, eingesetzt. Dabei betrachten die Fachleute unter anderem die Qualität der zugrunde liegenden Studien, die Art und Gefährlichkeit des toxischen Effekts, den Abstand zwischen den getesteten Dosierungen im Experiment und viele weitere Faktoren. Dass verschiedene internationale Komitees diese Faktoren unterschiedlich beurteilen, liegt auf der Hand und erklärt, warum sich die offiziellen Grenzwerte verschiedener Länder unterscheiden können. In der Schweizer Grenzwertliste finden sich einige Hundert MAK-Werte.

##### **DNEL-Werte**

DNEL-Werte<sup>1</sup> werden von der Industrie im Zusammenhang mit der Registrierung von Chemikalien im EWR gemäss der REACH-Verordnung<sup>2</sup> EG Nr. 1907/2006 bestimmt. Hersteller und Importeure im EWR sind gemäss dieser Verordnung

<sup>1</sup> DNEL = Derived No Effect Level

<sup>2</sup> REACH = Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals



verpflichtet, DNELs für jeden Stoff zu berechnen, welcher in einer Menge von  $\geq 10$  Tonnen/Jahr hergestellt oder in den EWR importiert wird. Dies betrifft zurzeit (2016) etwa 30 000 Substanzen, also weitaus mehr Stoffe als MAK-Werte existieren.

DNEL-Werte werden nicht von einem wissenschaftlichen Komitee hergeleitet, sondern von der betroffenen Firma selbst bestimmt. Grundlage ist eine von der ECHA<sup>3</sup> entwickelte Vorgehensweise. Dieser Algorithmus ist in einer ECHA-Leitlinie<sup>4</sup> beschrieben. Für zulassungspflichtige, besonders besorgniserregende Substanzen (SVHCs) werden vom Ausschuss für Risikobeurteilung der ECHA (Committee for Risk Assessment, RAC) sogenannte Referenz-DNELs erarbeitet.

Die strikte Vorgehensweise bei der Berechnung von DNELs erlaubt es, in kurzer Zeit DNELs für die grosse Zahl an gehandelten Chemikalien zu berechnen. Es ist möglich, dass je nach Hersteller verschiedene DNELs für eine Substanz existieren, weil diese die DNELs unterschiedlich berechnen (unterschiedliche Studien als Grundlage, andere Extrapolationsfaktoren, andere Zusammensetzung etc.). Ebenso können sich DNELs und die offiziellen MAK-Werte manchmal um Faktoren unterscheiden, weil die Beurteilung und die Zielsetzung bei der Bestimmung verschieden sind.

## **Arbeitnehmerschutz gemäss UVG**

MAK-Werte und DNELs werden auf dem Sicherheitsdatenblatt eines Stoffes angegeben und müssen gemäss Chemikalienrecht beachtet werden. Bestehen für eine Substanz sowohl ein Schweizer MAK-Wert als auch ein DNEL-Wert, so ist der MAK-Wert für den Arbeitnehmerschutz gemäss UVG in der Schweiz entscheidend – er ist rechtlich verbindlich. Wenn der DNEL tiefer ist als der MAK-Wert und durch die Risikomanagement-Massnahmen des Betriebs nicht erreicht wird, empfiehlt eine Leitlinie der EU, dass der Lieferant zwecks Überprüfung des DNELs kontaktiert werden sollte.<sup>5</sup> Gibt es für eine Substanz keinen Schweizer MAK-Wert (was für die grosse Mehrheit der Stoffe der Fall ist), so muss der Arbeitgeber die Gefährdung selber oder unter Beizug eines ASA-Spezialisten beurteilen. Hierzu können das Sicherheitsdatenblatt mit DNEL-Wert (falls vorhanden), MAK-Werte anderer Komitees und deren Begründungen, Studien, weitergehende Literatur etc. beigezogen werden. Auch die spezifische Arbeitstätigkeit soll in diese Beurteilung einfließen.

<sup>3</sup> ECHA=European Chemicals Agency

<sup>4</sup> Guidance on information requirements and chemical safety assessment; Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health

<sup>5</sup> Vorläufige Leitlinien für nationale Arbeitsaufsichtsbeamte zur Anwendung von Grenzwerten für die Exposition am Arbeitsplatz (OEL), abgeleiteten Expositionshöhen ohne Beeinträchtigung (DNEL) und abgeleiteten Expositionshöhen mit minimaler Beeinträchtigung (DMEL) bei der Bewertung der Wirksamkeit der Überwachung und Begrenzung der Exposition gegenüber chemischen Stoffen am Arbeitsplatz

## 1.2 Definition der Notationen HSO<sup>L</sup>BP

### 1.2.1 H (Hautresorption)

Bei Stoffen, welche die Haut leicht zu durchdringen vermögen, kann durch die zusätzliche Hautresorption die innere Belastung wesentlich höher werden als bei alleiniger Aufnahme durch die Atemwege. So können z. B. Anilin, Nitrobenzol, Nitroglykol, Phenole und bestimmte Pflanzenschutzmittel auch allein auf dem Wege durch die Haut gefährliche Vergiftungen erzeugen.

Bei Expositionen mit Stoffen, die mit **H** gekennzeichnet sind, kann somit die Messung der externen Belastung (Luft, Oberflächen) die tatsächliche innere Belastung resp. Beanspruchung des Organismus durch diesen Stoff unterschätzen. Für eine Arbeitsplatzbeurteilung sollte in diesen Fällen zusätzlich eine biologische Überwachung erfolgen.

### 1.2.2 S (Sensibilisierung)

Die mit **S** gekennzeichneten Substanzen führen besonders häufig zu Überempfindlichkeitsreaktionen (allergischen Krankheiten). Allergische Erscheinungen können nach Sensibilisierung, z. B. der Haut oder der Atemwege, je nach persönlicher Disposition, unterschiedlich schnell und stark durch solche Stoffe ausgelöst werden. Auch wenn die MAK-Werte eingehalten werden, gibt es keine Sicherheit gegen das Auftreten derartiger Reaktionen. Besondere Sensibilisierungsgefahr besteht bei Acrylaten, Getreidemehlstäuben (Roggen, Weizen),  $\alpha$ -Amylase, Colophonium und Latex. Dieser Hinweis soll zu besonderer Aufmerksamkeit beim Umgang mit diesen Stoffen anregen.

### 1.2.3 O<sup>L</sup> (Interaktion von Lärm und chemischen Stoffen)

Lärmeinwirkungen können die Zellen des Innenohres schädigen und damit zu einer vorübergehenden Höreinbusse im Sinne der Vertäubung oder einer definitiven Höreinbusse mit Schwerhörigkeit führen. Tierexperimentelle und epidemiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass auch gewisse Arbeitsstoffe in der Lage sind, eine Höreinbusse zu erzeugen und/oder die Wirkung von Lärm auf das Gehör zu verstärken.

Oft stammen die Erkenntnisse zu substanzbedingten ototoxischen Wirkungen aus Tierversuchen, bei denen die Stoffkonzentrationen deutlich über dem MAK-Wert und/oder der Schallpegel über den in der Schweiz erlaubten 85 dB(A) lagen. Trotzdem kann eine Verstärkung des gehörschädigenden Effekts von Lärm auch beim Menschen unter Arbeitsplatzbedingungen nicht immer sicher ausgeschlossen werden.

**Ototoxische Substanzen**, welche die gehörschädigende Wirkung des Lärms bei Mitarbeitenden verstärken können, werden mit «**O<sup>L</sup>**» gekennzeichnet.

Stoffe, welche zwar ototoxisch sind, bei welchen aber keine hinreichenden Beweise für eine Interaktion mit Lärm bestehen, erhalten keine OL-Notifikation. Hierzu gehören zum Beispiel Blei, Quecksilber, p-Xylol oder Kohlendisulfid (nicht abschliessende Aufzählung). Neben diesen Arbeitsstoffen existieren ototoxische Medikamente, Viren- und Bakterientoxine, Suchtmittel etc., auf die im Rahmen dieser Publikation nicht eingegangen wird.

An sich ist bei Einhaltung der MAK-Werte bei ototoxischen Substanzen ein wesentlicher Hörverlust wenig wahrscheinlich<sup>6</sup>. Im Rahmen der Risikobeurteilung von Arbeitsstoffen, welche mit einem «O<sup>L</sup>» gekennzeichnet sind, ist aber die mögliche Interaktion mit Lärm einzubeziehen. Bei relevanten Expositionen gegenüber diesen Stoffen sind allenfalls bereits bei Lärmexpositionen unter 85 dB(A) technische und organisatorische Lärmreduktionsmassnahmen und/oder das Tragen eines Gehörschutzes zu empfehlen. Der Begriff «relevante Exposition» soll zum Ausdruck bringen, dass die Stoffkonzentrationen bei den Experimenten zur Ototoxizität teilweise über dem MAK-Wert lagen. Die Frage, ob die Grenzwerte für die erwähnten Arbeitsstoffe für die Interaktion mit Lärm protektiv sind, kann erst in Zukunft aufgrund weiterer Untersuchungen präziser beantwortet werden.

#### 1.2.4 B (Biologisches Monitoring)

Stoffe, bei welchen ein biologischer Grenzwert (siehe Kapitel 2) zuverlässig begründbar ist und die in der Schweiz in Speziallabors bestimmt werden können, sind mit **B** gekennzeichnet.

#### 1.2.5 P (Provisorische Festlegung)

Die MAK-Werte für diese Substanzen sind aus verschiedenen Gründen noch nicht definitiv festgelegt. Bei bisher bestehenden Grenzwerten bedeutet «**P**», dass dieser Wert aktuell aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse überprüft wird.

<sup>6</sup> DGUV: Ototoxische Arbeitsstoffe. Positionspapier der Arbeitskreise «Lärm» und «Gefahrstoffe» des Ausschusses Arbeitsmedizin der DGUV. Februar 2011.

## 1.3 Krebserregende Stoffe (Notation C)

### 1.3.1 Definition der C-Kategorien

Krebserregende Stoffe werden seit 2016 in die Kategorien C1<sub>A</sub>, C1<sub>B</sub> und C2 eingeteilt, basierend auf GHS und der CLP-Verordnung<sup>7</sup>. Bei der Wortwahl wurden zudem die Definitionen der IARC-Klassierungen mitberücksichtigt. Für Details wird auf die entsprechenden Originaldokumente verwiesen. Die Einteilung eines Stoffes in eine Kategorie in der Schweizer Grenzwertliste erfolgt unabhängig von der CLP-Verordnung und kann sich somit von dieser unterscheiden.

Bis 2015 wurde in der Schweizer Grenzwertliste die Klassierung der DFG benutzt. In der folgenden Tabelle sind die alten Notifikationen (bis 2015) den neuen Kategorien (ab 2016) gegenübergestellt. Ebenso sind die entsprechenden H-Sätze aus der CLP-Verordnung aufgeführt:

Bis 2015	Ab 2016	H-Satz
C <sub>1</sub>	C1 <sub>A</sub>	H350
C <sub>2</sub>	C1 <sub>B</sub>	H350
C <sub>3</sub>	C2	H351

### Kategorie C1

- Kategorie C1<sub>A</sub> (ehemals C<sub>1</sub>) Stoffe, die bekanntermassen beim Menschen krebserzeugend sind. Die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen beim Menschen.
- Kategorie C1<sub>B</sub> (ehemals C<sub>2</sub>) Stoffe, die **wahrscheinlich** beim Menschen krebserzeugend sind. Die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen bei Tieren.

### Kategorie C2 (ehemals C<sub>3</sub>)

Es handelt sich um Stoffe, welche **möglicherweise** beim Menschen krebserzeugend sind. Die Einstufung in die Kategorie 2 erfolgt aufgrund von Nachweisen aus Studien an Menschen und/oder Tieren, die einen Verdacht auf eine krebserregende Wirkung begründen, die jedoch nicht hinreichend genug für eine Einstufung des Stoffes in die Kategorie C1 sind.

Als «Karzinogene» werden in der **CMRD**<sup>8</sup> der EU nur jene Stoffe oder Gemische bezeichnet, welche die Kriterien zur Einstufung als krebserzeugende Stoffe der Kategorie C1<sub>A</sub> oder C1<sub>B</sub> erfüllen.

<sup>7</sup> CLP-Verordnung=Regulation (EC) No. 1272/2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures

<sup>8</sup> CMRD=Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Exposition gegenüber Karzinogenen, Mutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen bei der Arbeit.

## 1.3.2 Krebserregende Stoffe mit und ohne Schwellenkonzentration

### 1.3.2.1 Allgemeine Bemerkungen

DNA-Schäden sind häufig und treten in einer Zelle jeden Tag Tausende Male auf. Die meisten dieser DNA-Schäden sind nicht permanent, da sie von der Zelle repariert werden oder da die Zelle stirbt. Entsteht aber eine dauerhafte, vererbare DNA-Schädigung (Mutation) und findet sich diese in bestimmten Regionen der DNA wie zum Beispiel einem Tumor-Suppressorgen oder einem Proto-Onkogen, so kann dies der erste Schritt in der Entstehung von Krebs sein.

Bei der Entstehung von Krebs werden der Reihe nach folgende Schritte durchlaufen (sogenanntes «multistage model»):

1. Initiation: Entstehung einer Mutation, das heisst einer dauerhaften vererbaren Veränderung der DNA.
2. Promotion: Klonale Vermehrung der von der Initiation betroffenen Zelle zu einer präneoplastischen Läsion.
3. Progression: Maligne Entartung der präneoplastischen Läsion infolge weiterer genetischer Veränderungen.
4. Metastasierung: Verbreitung der Krebszellen in andere Teile des Körpers.

Krebserregende Stoffe können gemäss ihrem Wirkmechanismus in verschiedene Gruppen unterteilt werden. Für das Verständnis der kanzerogenen Schwellenkonzentration ist die Unterteilung in genotoxische und nicht-genotoxische Kanzerogene wichtig. Die Definitionen unterscheiden sich zwischen den verschiedenen Autoren und Kommissionen, in der Schweizer Grenzwertliste teilen

wir die verschiedenen krebserregenden Stoffe folgendermassen ein:

**Genotoxische Kanzerogene** reagieren mit der DNA. Die Reaktion mit der DNA kann durch die Substanz selbst oder durch einen Metaboliten der Substanz geschehen. Im ersten Fall spricht man von direkt-genotoxischen Substanzen, im zweiten Fall von indirekt-genotoxischen Stoffen. Beispiele von direkt-genotoxischen Kanzerogenen sind z. B. alkylierende Substanzen. Beispiele von indirekt-genotoxischen Substanzen sind PAHs, Nitrosamine, aromatische Amine oder Carbamate.

Genotoxische Kanzerogene wirken oft als Initiatoren bei der Krebsentwicklung. Sie können aber auch in den der Initiation nachfolgenden Schritten aktiv sein.

Genotoxische Stoffe können zu Mutationen von Genen oder zu Veränderungen der Struktur oder Zahl von Chromosomen, das heisst chromosomalen Aberrationen, führen. Genmutationen können zum Beispiel als Folge von DNA-Addukten oder DNA-Strangbrüchen entstehen, weil es dadurch zu einem fehlerhaften Ablesen des DNA-Strangs kommen kann. Veränderungen in der Struktur von Chromosomen (sogenannte strukturelle Aberrationen) sieht man zum Beispiel nach Brüchen in einem Chromosom mit anschliessendem Verlust oder fehlerhaftem Zusammenfügen von Chromosomenteilen. Substanzen, welche zu solchen chromosomalen Brüchen führen, werden als Klastogene bezeichnet. Veränderungen in der Zahl einzelner Chromosomen (auch Aneuploidien genannt), entstehen zum Beispiel bei Beeinträchtigungen der

Zellteilung und des Spindelapparats. Stoffe, welche solche numerische Aberrationen verursachen, werden Aneogene genannt, sie werden – je nach Definition – meistens zu den nicht-genotoxischen Kanzerogenen gezählt:

### **Nicht-genotoxische Kanzerogene**

reagieren nicht mit der DNA selbst, sondern sind in Mechanismen involviert, welche die Entstehung von Krebs begünstigen. Zu diesen nicht-stochastischen Prozessen gehören zum Beispiel die Stimulation der Zellteilungsrate, die Auslösung von chronischen Entzündungen, die Hemmung von Reparaturenzymen, die Bildung von ROS (Reactive Oxygen Species), die Hemmung der Apoptose und des Immunsystems, oder die Aktivierung von Rezeptoren wie zum Beispiel des Arylhydrocarbon-Rezeptors (AhR) oder des Östrogen-Rezeptors (ER). Zu den nicht-genotoxischen Veränderungen werden oft auch einige **epigenetische Vorgänge** gezählt wie zum Beispiel DNA-Methylierungen (enzymatisch induziert), Histon-Modifikationen (insbesondere Acetylierungen) und Veränderungen an der nicht-codierenden RNA. Es existieren verschiedene Beschreibungen des Begriffs «Epigenetik», wir verstehen darunter permanente oder vererbare Beeinflussungen des Phänotyps bzw. der Genaktivität durch Eingriffe an den Chromosomen, ohne dass aber die DNA-Sequenz verändert wird. Diese Definition basiert im Wesentlichen auf den Definitionen des Cold Spring Harbor Meetings (2008) und des NIH Roadmap Epigenomics Projects (ab 2013).

Nicht-genotoxische Substanzen können als Promotoren wirken, das heisst, dass sie die Proliferation der von einem Initiator geschädigten Zelle fördern. Es braucht meistens relativ hohe Konzentrationen über einen längeren Zeitraum, bis Promotoren wirksam werden.

### **1.3.2.2 Krebserregende Stoffe ohne Schwellenkonzentration**

Bei den meisten krebserregenden Stoffen ist keine kanzerogene Schwellenkonzentration bekannt, entweder weil mechanistische oder toxikokinetische Überlegungen für diese Kanzerogene auf das Fehlen einer Schwelle hindeuten, oder weil aufgrund einer unzureichenden Datenlage eine Schwelle nicht angegeben werden kann. Kanzerogene, welche aufgrund ihres Mechanismus keine Schwelle aufweisen, sind häufig genotoxische, DNA-reaktive Stoffe. Nicht jede Schädigung der Erbsubstanz durch genotoxische Stoffe führt allerdings zu einer malignen Neoplasie, denn die betroffene Zelle kann mit diversen Mechanismen wie DNA-Reparatur, Zellzyklusregulation, Apoptose, Detoxifizierung oder immunologischen Vorgängen die Weiterentwicklung einer geschädigten Zelle in einen malignen Tumor verhindern. Diese Mechanismen bieten aber keinen zuverlässigen Schutz und bewegen sich in einem so tiefen Konzentrationsbereich, dass eine lineare Extrapolation der Dosis-Wirkungs-Beziehung in den Low-Dose-Bereich in den meisten Fällen gerechtfertigt erscheint. In der Praxis behandelt man diese Substanzen deshalb konservativerweise als schwellenlos.

Bei C1-Stoffen ohne kanzerogene Wirkungsschwelle ist es nicht möglich, einen gesundheitsbasierten Grenzwert herzuleiten. Ein rechtlich verbindlicher Arbeitsplatzgrenzwert für solche Kanzerogene wird so festgelegt, dass einerseits das Krebsrisiko möglichst klein ist, und andererseits der MAK-Wert mit «verhältnismässigen» Massnahmen eingehalten werden kann. Es werden also sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse zur Exposition-Risiko-Beziehung (ERB) als auch Überlegungen zur technischen und sozioökonomischen Durchführbarkeit in die Gesamtbeurteilung miteinbezogen. Wenn möglich werden Arbeitsplatzgrenzwerte für Kanzerogene ohne Schwellenwert so festgelegt, dass das Zusatzrisiko kleiner als 4:1000 pro Arbeitsleben ist. Das Risiko bezieht sich auf eine dauerhafte Exposition in Höhe des Grenzwerts während 8 Stunden pro Tag an 5 Tagen pro Woche über einen Zeitraum von 40 Jahren. Bei einer individuellen Risikoabschätzung sind Abweichungen von Dauer und Höhe der Exposition mitzuberücksichtigen.

Je tiefer das angestrebte Risiko ist, desto weniger belastbar und desto konservativer wird die Berechnung der Korrelation zwischen Exposition und Gefährdung, und desto grösser wird der Aufwand für Schutzmassnahmen im Vergleich zum gesundheitlichen Gewinn. Aufgrund dieser Überlegungen hält die Suva es in der Regel nicht für notwendig, MAK-Werte mit Risiken unter 4:10 000 pro Arbeitsleben festzulegen.

Die Einhaltung des MAK-Werts entbindet einen Betrieb nicht von einer weiteren Minimierung der Exposition (Minimierungsgebot) – die Massnahmen müssen aber im Vergleich zur erwarteten Risikominderung mit verhältnismässigem Aufwand möglich sein (ALARA-Prinzip). Die Verhältnismässigkeit muss von Fall zu Fall beurteilt werden. Dazu gehört auch – wie oben erwähnt – die Abschätzung der individuellen Gefährdung unter Berücksichtigung der effektiven Dauer und Höhe der Exposition.

Zu den Schutzmassnahmen gehören die bekannten arbeitshygienischen und arbeitsmedizinischen Vorkehrungen:

Die arbeitshygienischen Massnahmen sind gemäss dem **STOP-Prinzip** hierarchisch gegliedert. An erster Stelle der Rangfolge steht die Abklärung, ob ein Arbeitsstoff durch eine weniger schädliche alternative Substanz ersetzt werden kann (**Substitution**). Ist die Verwendung eines Stoffes jedoch nicht zu umgehen, so sind andere Massnahmen zu treffen, um die Gefährdung der Beschäftigten soweit als möglich oder ganz auszuschalten. Hierzu gehören **technische Massnahmen**, wie geschlossene Handhabung oder Lüftungstechnische Vorkehrungen, und **organisatorische Massnahmen**, wie zum Beispiel die Vermeidung von Essen, Trinken oder Rauchen am Arbeitsplatz oder die Information über die möglichen Gefahren. Ferner sollte die Zahl der Personen, welche krebserzeugenden Stoffen oder Einwirkungen ausgesetzt sind, möglichst niedrig gehalten werden. Allenfalls sind auch **persönliche Schutzmassnahmen** wie ein ausreichender Atem- und Hautschutz einzusetzen. Als mögliche arbeitsmedizinische Massnahme kann bei Bedarf eine regelmässige ärztliche Überwachung in Betracht gezogen werden.

Diese Richtlinien entsprechen Art. 2, 4 und 5 des von der Schweiz ratifizierten Übereinkommens Nr. 139 der ILO (International Labour Organization) über die Verhütung und Bekämpfung der durch krebserzeugende Stoffe und Einwirkungen verursachten Berufskrankheiten.

### **1.3.2.3 Krebserregende Stoffe mit Schwellenkonzentration**

Verschiedene Komitees wie die SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits der EU) oder die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) kennzeichnen kanzerogene Stoffe, welche eine Wirkschwelle aufweisen, separat. In der CLP-Verordnung existieren zwar keine separaten Krebsklassen für solche Substanzen, es können aber C1-Kanzerogene mit Schwellenwert eventuell in die Krebskategorie C2 hinuntergestuft werden (siehe «Guidance on the Application of the CLP Criteria» von ECHA). Beispiele von Kanzerogenen, welche einen Schwellenwert aufweisen können, sind nicht-genotoxische oder ausschliesslich auf Chromosomen wirkende Kanzerogene sowie genotoxische Stoffe, welche bei Einhaltung des MAK-Wertes keinen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten («practical» oder «apparent» threshold).

Die Frage nach einer Wirkschwelle ist nicht immer einfach zu beantworten, denn Kanzerogene können gleichzeitig mehrere Wirkmechanismen aufweisen. So existieren Substanzen, welche für gewisse Krebslokalisationen eine Schwelle aufweisen, für andere nicht (siehe zum Beispiel 2-Acetylaminofluoren).

In der Schweizer Grenzwertliste findet sich bei C1-Stoffen mit bekannter Schwellenkonzentration, welche im Bereich oder oberhalb des MAK-Werts liegt, ein #-Zeichen und der Hinweis: «Kein relevanter Beitrag zum Krebsrisiko bei Einhalten des MAK-Werts». Damit wird die kanzerogene Wirkstärke bei der Einteilung eines Stoffes in eine Krebsklasse mitberücksichtigt, was traditionell bei Einordnung in eine Krebskategorie keine Rolle spielt. Das Minimierungsgebot ist mit Einhalten des MAK-Wertes erfüllt. C1-Stoffe, bei denen mechanistische Überlegungen die Existenz einer Schwelle implizieren, deren Höhe zurzeit aber nicht bekannt ist, werden nicht gekennzeichnet – sie werden wie Kanzerogene ohne Schwellenkonzentration behandelt.

### **1.3.3 Erläuterungen zu spezifischen krebserregenden Stoffen**

#### **1.3.3.1 Krebserzeugende Stoffe ohne MAK-Wert**

Für gewisse krebserzeugende Stoffe sind nicht genügend Daten zur Festlegung eines MAK-Wertes vorhanden. Diese Stoffe sind in der Grenzwertliste nicht aufgeführt. Zur Beurteilung der Gefährdung sind die entsprechenden Sicherheitsdatenblätter und die ChemRRV oder andere Literatur zu konsultieren.

#### **1.3.3.2 Bildung krebserregender Nitrosamine aus Aminen**

Nitrosamine entstehen durch Nitrosierung von sekundären Aminen. Als nitrosierende Agentien kommen vor allem Stickoxide in Frage, aber auch Nitrosylchlorid, Nitritester, Metallnitrite und Nitroverbindungen. Bei der Nitrosierung gewisser



Amine entstehen kanzerogene Nitrosamine, in diesem Zusammenhang sind in der Grenzwertliste Nitrosodimethylamin (aus Dimethylamin, Thiram oder Triethylamin), Nitrosodiethylamin (aus Diethylanilin), Nitrosomethylanilin (aus Methylanilin) oder Nitrosomorpholin (aus Morpholin) aufgeführt.

Besonders oft werden Nitrosamine im Zusammenhang mit Kühlschmierstoffen erwähnt. In Kühlschmierstoffen können Nitrite als nitrosierende Agentien vorkommen. Nitrite stammen von nitrithaltigen Rostschutzmitteln oder sie entstehen, wenn im Kühlschmierstoff Bakterien vorkommen, welche Nitrate zu Nitriten reduzieren.

Der heutige Kenntnisstand reicht nicht aus, um für die Entstehung von Nitrosaminen unter den komplexen Bedingungen am Arbeitsplatz und in Gemischen von Stoffen quantitative Voraussagen zu treffen. Beim Umgang mit diesen Aminen am Arbeitsplatz sind daher zwei Vorsichtsmassnahmen geboten: Die nitrosierenden Agentien sollen entfernt bzw. durch Verbindungen ersetzt werden, die nicht zur Entstehung kanzerogener Nitrosamine führen. Insbesondere ist die Konzentration von Stickoxiden am Arbeitsplatz zu kontrollieren und gegebenenfalls zu vermindern. Ausserdem sollte die Konzentration an Nitrosaminen in der Luft am Arbeitsplatz gemessen werden. Dies gilt insbesondere bei Verwendung von Aminen, aus denen stark kanzerogene Nitrosamine entstehen können.

### **1.3.3.3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe**

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, engl. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons **PAH**) entstehen bei der Pyrolyse oder der unvollständigen Verbrennung von organischem Material, wie zum Beispiel Rohgasen von Kokereien. Je nach Ausgangsmaterialien und Reaktionsbedingungen entstehen PAH in unterschiedlicher Zusammensetzung.

Eine Arbeitsplatzexposition mit PAHs kommt bei solchen Industrieprozessen vor, bei denen

- eine Verdampfung der im Ausgangsmaterial vorhandenen PAHs aufgrund der hohen Prozesstemperaturen stattfindet. Ausgangsmaterialien, die einen hohen Anteil an PAHs enthalten, sind zum Beispiel Braun- und Steinkohlenteere, Steinkohlenteerpeche und Steinkohlenteeröle. Zu geringeren Anteilen sind PAHs in höheren Fraktionen der Erdöldestillation wie zum Beispiel in Asphalt, Bitumen und Motorölen vorhanden.
- PAHs durch Pyrolyse oder unvollständige Verbrennung von organischem Material gebildet werden. Beispielsweise enthalten Rohgase von Kokereien einen hohen Anteil an PAHs.
- ein mechanischer Abrieb von PAH-haltigen Arbeitsstoffen stattfinden kann.

Aufgrund der Ergebnisse von Kanzerogenitätsstudien und Mutagenitätstests sind vom IARC (International Agency for Research on Cancer) verschiedene PAHs als krebserregend im Tierversuch eingestuft worden. Epidemiologische Studien zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Arbeits-

platzexposition mit PAH-haltigen steinkohleteerflüchtigen Verbindungen (Coal Tar Pitch Volatiles) in Kokereien und bei der Kohlevergasung und der erhöhten Lungenkrebssterblichkeit bei Mitarbeitenden. Daneben können PAHs auch lokal zu Hautkrebs führen.

Aufgrund seiner hohen kanzerogenen Potenz und seines hohen Anteils von ca. 1 bis 5 % in PAH-Mischungen wird Benzo(a)pyren häufig als Leitsubstanz zur orientierenden Bestimmung einer PAH-Exposition gebraucht. Der MAK-Wert für Benzo(a)pyren stellt eine Grösse dar, die keine exakte Beurteilung der Kanzerogenität erlaubt, jedoch zu einer groben Einschätzung herangezogen werden kann. Da für eine Reihe von PAH mittlerweile Toxizitätsäquivalenzfaktoren entwickelt worden sind, sollte die Untersuchung der PAH-Exposition am Arbeitsplatz nicht auf Benzo(a)pyren beschränkt, sondern auf weitere PAH ausgedehnt werden, die sich als krebserregend im Tierversuch erwiesen haben, wie beispielsweise Benz(a)anthrazen, Chrysen, Benz(b)fluoranthren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Dibenz(a,h)anthrazen, Dibenz(a,i)pyren, Dibenz(a,l)pyren und Dibenz(a,e)pyren. Unter Berücksichtigung dieser kanzerogenen PAH, die an verschiedenen Arbeitsplätzen in unterschiedlichen Verhältnissen zueinander auftreten, wird eine bessere Beurteilung des Krebsrisikos aufgrund der PAH-Exposition am Arbeitsplatz möglich sein.

### 1.3.3.4 Asbest

Der Grenzwert für Asbest wurde auf 0,01 Asbestfasern/ml (= 10 000 Asbestfasern/m<sup>3</sup>) festgelegt. Dieser Wert beruht auf epidemiologischen Erkenntnissen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung bezüglich Asbest und Mesotheliom/Lungenkrebs. Für alle Arbeitsplätze, an denen nicht mit asbesthaltigem Material gearbeitet werden muss (zum Beispiel in Büroräumen), sollte eine Konzentration von 0,001 Asbestfasern/ml (= 1000 Asbestfasern/m<sup>3</sup>) nicht überschritten werden – dieser Wert entspricht der Empfehlung des BAG für Wohnräume und Räume mit Daueraufenthalt.

Als biologisch relevante Fasern werden jene Partikel betrachtet, welche ein Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 3:1 überschreiten, eine Länge von grösser als 5 µm und einen Durchmesser von weniger als 3 µm aufweisen («WHO-Faser»). Für die Beurteilung einer Gefährdung spielt neben der Fasergeometrie auch die mineralogisch-chemische Zusammensetzung eine entscheidende Rolle.

Das Risiko einer Erkrankung hängt unter anderem von der Höhe der Stoffkonzentration, der Dauer der Exposition oder der Art und Form der Asbestfaser ab. So sind lange und dünne Fasern mit einem höheren Risiko vergesellschaftet. Mit modernen Rasterelektronenmikroskopen (REM) lassen sich bei entsprechender Vergrösserung Asbestfasern bis zu einem Durchmesser von 0,1 µm nachweisen, mit Transmissionselektronenmikroskopen (TEM) lassen sich noch dünnere Fasern erkennen.

Der Grenzwert für Asbest beruht jedoch auf epidemiologischen Untersuchungen, bei denen zumeist Lichtmikroskope zum Einsatz kamen und bei denen sehr feine Fasern nicht erfasst wurden. Der Einsatz eines REM zur messtechnischen Überprüfung der Einhaltung des MAK-Wertes, wie dies zum Beispiel auch bei der deutschen VDI-3492-Methode der Fall ist, ist deshalb meistens ausreichend.

### **1.3.3.5 Synthetische Fasern und Faserstäube**

Künstliche Mineralfasern (KMF) sind anorganische Fasern, die aus mineralischen Rohstoffen hergestellt werden. Im Gegensatz zu den natürlich vorkommenden krebserzeugenden Asbestfasern, welche parallel zur Längsachse gespalten werden, brechen KMF praktisch immer quer.

Als biologisch relevante Fasern werden jene Partikel betrachtet, welche ein Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 3:1 überschreiten, eine Länge von grösser als 5 µm und einen Durchmesser von weniger als 3 µm aufweisen. Nebst der mineralogisch-chemischen Zusammensetzung spielt für die Beurteilung einer Gefährdung die Fasergeometrie eine entscheidende Rolle, wie dies auch von Asbestfeinstaub her bekannt ist.

Dies führt dazu, dass im allgemeinen die industriell verwendeten KMF meistens einen hohen Durchmesser aufweisen oder zu lang sind, um bis in die Lungenalveolen gelangen zu können. Je nach Produktionsweise und Bearbeitung können jedoch auch KMF alveolengängige Abmessungen aufweisen. Dies ist zusammen mit der generell hohen

Biobeständigkeit der KMF bei der Beurteilung eines allfälligen krebserzeugenden Potentials zu berücksichtigen.

Künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-) Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}$ ) von über 18 Gewichtsprozent werden in die Klasse der krebserzeugenden Stoffe C2 eingeteilt, sofern keine der 4 möglichen Ausschlusskriterien gemäss der Richtlinie der Europäischen Kommission 97/69/EC 23, Anpassung der Richtlinie der Europäischen Kommission 67/548/EEC, erfüllt werden. Mindestens eines dieser vier Ausschlusskriterien erfüllen u. a. die in der Schweiz hergestellten Stein- und Glaswollen, sowie Hochtemperaturfasern (bis 900 °C) mit hohem Kalium- und/oder Magnesiumanteil. Diese Fasern sind nicht als kanzerogen eingestuft. Hingegen sind die vorwiegend im Hochtemperaturbereich verwendeten Keramikfasern (Aluminiumsilikat) zurzeit in die Klasse C1<sub>B</sub> der krebserzeugenden Stoffe eingeteilt.

Für andere anorganische Synthesefasern bestehen zwar gewisse Verdachtsmomente für ein krebserzeugendes Potential in Tierversuchen; die Befunde aus Inhalationsversuchen sind jedoch nicht schlüssig, und aus den positiven Befunden bei intraperitonealer, intrapleuraler oder intratrachealer Verabreichung kann nicht ohne weiteres eine Gefährdung des Menschen bei inhalativer Exposition abgeleitet werden. Hierzu gehören u. a. Aluminiumoxidfasern. Dies gilt auch für die organischen p-Aramidfasern.

### 1.3.3.6 Chrom(VI) in Prozessen

#### gemäss ChemRRV

Chrom(VI)-Verbindungen sind krebserregende Stoffe ohne bekannte kanzerogene Wirkschwelle (siehe auch 1.3.2.2). Das Risiko einer Krebserkrankung sollte durch Minimierung von Grad und Dauer der Exposition so klein als möglich gehalten werden (Minimierungsgebot).

Die Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) verbietet im Anhang 1.17 die berufliche oder gewerbliche Verwendung bestimmter Chrom (VI)-Verbindungen. Von diesem Verbot sind einzelne Chrom(VI)-Verbindungen ausgenommen, wenn sie in Prozessen verwendet werden, in deren Endprodukten Chrom nicht in sechswertiger Form vorliegt.

Für diese ausgenommene Verwendung («Chrom(VI) in Prozessen») gilt das nach den Regeln der Technik umzusetzende Minimierungsgebot für Chrom(VI)-Verbindungen als erfüllt, wenn die Exposition der Arbeitnehmenden gemittelt über einen Arbeitstag (8 Stunden)  $0,001 \text{ mg/m}^3$  (als Cr berechnet) nicht überschreitet. Die betroffenen Verbindungen in der ChemRRV sind Natriumdichromat (CAS 7789-12-0), Chromtrioxid (CAS 1333-82-0) sowie Säuren, die sich aus Chromtrioxid bilden wie Chromsäure (CAS 7738-94-5) oder Dichromsäure (CAS 13530-68-2).

## 1.4 Keimzellmutagene Stoffe (Notation M)

Keimzellmutagene Stoffe lösen Mutationen in den Keimzellen von Menschen aus, welche an die Nachkommen weitergegeben werden können. Keimzellmutagene Stoffe werden seit 2016 in die Kategorien  $M1_A$ ,  $M1_B$  und M2 eingeteilt, basierend auf GHS und der CLP-Verordnung (EG Nr. 1272/2008). Für Details wird auf die Originaldokumente verwiesen. Die Einteilung eines Stoffes in eine Kategorie erfolgt unabhängig von der CLP-Verordnung und kann sich von dieser unterscheiden. In der folgenden Tabelle sind die alten Notifikationen der Schweizer Grenzwertliste (bis 2015) den neuen Notifikationen (ab 2016) gegenübergestellt, ebenso wurde der entsprechende H-Satz aus der CLP-Verordnung angefügt:

Bis 2015	Ab 2016	H-Satz
$M_1$	$M1_A$	H340
$M_2$	$M1_B$	H340
$M_3$	M2	H341

#### Kategorie M1

- Kategorie  $M1_A$  (ehemals M1) Stoffe, die **bekanntermassen** vererbare Mutationen an menschlichen Keimzellen auslösen. Die Einstufung in die Kategorie  $M1_A$  beruht auf positiven Befunden aus epidemiologischen Studien an Menschen.
- Kategorie  $M1_B$  (ehemals M2) Stoffe, die **wahrscheinlich** vererbare Mutationen an menschlichen Keimzellen auslösen und so angesehen werden sollten, als wenn sie vererbare Mutationen bewirken.

Die Einstufung in Kategorie M1<sub>B</sub> beruht auf

- positiven Befunden aus in-vivo-Prüfungen auf vererbare Keimzellmutagenität bei Säugern, oder
- positiven Befunden von in-vivo-Mutagenitätsprüfungen an Somazellen von Säugern in Verbindung mit Hinweisen darauf, dass der Stoff das Potenzial hat, an Keimzellen Mutationen zu verursachen (beispielsweise aus in-vivo-Mutagenitäts-/Genotoxizitäts-Prüfungen an Keimzellen, dem Aufzeigen der Fähigkeit des Stoffes oder seiner Metaboliten zur Interaktion mit dem genetischen Material der Keimzellen), oder
- positiven Befunden von Prüfungen, die mutagene Wirkungen an Keimzellen von Menschen zeigen, allerdings ohne Nachweis der Weitergabe an die Nachkommen (beispielsweise eine Zunahme der Aneuploidierate in Spermien exponierter Personen).

### **Kategorie M2** (ehemals M<sub>3</sub>)

Stoffe, die für den Menschen bedenklich sind, weil sie **möglicherweise** vererbare Mutationen in Keimzellen von Menschen auslösen können. Eine Einstufung in die Kategorie M2 beruht auf positiven Befunden von Versuchen an Säugern und/oder in manchen Fällen aus in-vivo-Mutagenitätsprüfungen an Somazellen von Säugern oder anderen in-vivo-Genotoxizitätsprüfungen an Somazellen, die durch positive Befunde aus in-vitro-Mutagenitäts-Prüfungen gestützt werden, die aber eine Einteilung in M1 nicht rechtfertigen.

<sup>9</sup> CMRD=Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Exposition gegenüber Karzinogenen, Mutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen bei der Arbeit.

Als «Mutagene» werden in der **CMRD**<sup>9</sup> der EU nur jene Stoffe oder Gemische bezeichnet, welche die Kriterien zur Einstufung als erbgutverändernde Stoffe der Kategorie M1<sub>A</sub> oder M1<sub>B</sub> erfüllen.

## **1.5 Reproduktionstoxische Stoffe (Notation R)**

Der Begriff «Reproduktionstoxizität» umfasst einerseits die Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit und Sexualfunktion bei Mann und Frau, andererseits Entwicklungsschäden bei den Nachkommen.

Zu den **Beeinträchtigungen der Fruchtbarkeit und Sexualfunktion** gehören unter anderem Veränderungen der Fortpflanzungsorgane, Störungen der Gametenbildung und des Gameten-transportes, der Regelmässigkeit des Reproduktionszyklus, des Sexualverhaltens, der Fruchtbarkeit, der Geburt, der Schwangerschaft, des Eintritts in die Pubertät, sowie vorzeitiges reproduktives Altern oder Änderungen anderer Funktionen, die von der Unversehrtheit des Fortpflanzungssystems abhängen.

Zu den **Beeinträchtigungen der Entwicklung der Nachkommen** zählt im weitesten Sinne jede Beeinträchtigung der normalen Entwicklung des Kindes vor und nach der Geburt aufgrund einer Exposition eines der Elternteile vor der Empfängnis oder aufgrund der Exposition der Nachkommen im Laufe ihrer vor-geburtlichen Entwicklung oder nach der Geburt bis zur Erlangung der Geschlechtsreife.

Beeinträchtigungen der Laktation oder unerwünschte Wirkungen als Folge der Laktation gehören auch zur Reproduktionstoxizität, sie werden aber in der CLP-Verordnung zu Einstufungszwecken gesondert behandelt. In der Schweizer Grenzwertliste wird keine eigene Notation für Beeinträchtigungen der Laktation und Gefährdungen durch die Laktation aufgeführt.

Eine weitere Kennzeichnung, welche sich mit der Gefährdung des Fetus befasst, sind die SS-Klassen (siehe Kapitel 1.6). Die SS-Klassen beschreiben, ob bei Einhaltung des MAK-Wertes mit einer Schädigung der Leibesfrucht zu rechnen ist oder ob keine Beeinträchtigung erwartet werden muss. Demgegenüber bezieht sich die in diesem Kapitel besprochene R-Notation auf den Stoff selber, ohne Information darüber, ob der Stoff bei Einhaltung des MAK-Wertes schädigend auf das Kind wirkt.

Zur Kennzeichnung und Einstufung werden reproduktionstoxische Stoffe in die Kategorien R<sub>1A</sub>, R<sub>1B</sub> und R<sub>2</sub> eingeteilt, basierend auf der CLP-Verordnung (EG Nr. 1272/2008). Die Einteilung eines Stoffes in eine Kategorie in der Schweizer Grenzwertliste erfolgt unabhängig von der CLP-Verordnung und kann sich von dieser unterscheiden. Die Einstufung als reproduktionstoxisch ist für Stoffe gedacht, die eine intrinsische spezifische Eigenschaft zur Beeinträchtigung der Fortpflanzung besitzen; sie ist jedoch nicht zulässig für Stoffe, bei denen diese Wirkung lediglich als unspezifische sekundäre Folge anderer toxischer Wirkungen auftritt. Der Einfluss der maternalen Toxizität ist bei der Beurteilung

der toxischen Wirkungen auf die Entwicklung der Nachkommen also zu berücksichtigen.

In der folgenden Tabelle sind die alten Notifikationen der Schweizer Grenzwertliste (bis 2015) den neuen Klassierungen (ab 2016) gegenübergestellt:

Bis 2015	Ab 2016	H-Satz
R <sub>1</sub>	R <sub>1A</sub>	H360D/F
R <sub>2</sub>	R <sub>1B</sub>	H360D/F
R <sub>3</sub>	R <sub>2</sub>	H361D/F

### Kategorie R1

- Kategorie R<sub>1A</sub> (ehemals R<sub>1</sub>) Stoffe, die **bekanntermassen** beim Menschen reproduktionstoxisch sind. Die Einstufung beruht weitgehend auf Befunden beim Menschen.
- Kategorie R<sub>1B</sub> (ehemals R<sub>2</sub>) Stoffe, die **wahrscheinlich** reproduktionstoxisch sind. Die Einstufung beruht weitgehend auf Daten aus Tierstudien.

### Kategorie R2 (ehemals R<sub>3</sub>)

Stoffe, die **möglicherweise** beim Menschen reproduktionstoxisch sind. Stoffe werden dann in die Kategorie R<sub>2</sub> eingestuft, wenn Befunde beim Menschen oder bei Versuchstieren vorliegen, die eine Beeinträchtigung der Sexualfunktion und Fruchtbarkeit oder der Entwicklung nachweisen, diese Nachweise aber nicht stichhaltig genug für eine Einstufung des Stoffes in die Kategorie 1 sind. Die Einstufung erfolgt nach Abwägung aller Fakten und Anhörung von Experten.

Als «reproduktionstoxische Stoffe» werden in der **CMRD\*** der EU nur jene Substanzen oder Gemische bezeichnet, welche die Kriterien zur Einstufung als reproduktionstoxischer Stoff der Kategorie R1<sub>A</sub> oder R1<sub>B</sub> erfüllen.

\* CMRD = Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer/-innen gegen Gefährdung durch Exposition gegenüber Karzinogenen, Mutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen bei der Arbeit.

## 1.6 Beziehung zwischen fruchtschädigender Wirkung und MAK-Wert (SS-Klassen)

Die MAK-Werte gelten für gesunde Personen im erwerbsfähigen Alter. Die epidemiologischen und experimentellen Untersuchungen zeigen aber, dass die Applikation der MAK-Werte für gesunde schwangere Frauen nicht ohne Vorbehalt möglich ist, da auch bei ihrer Einhaltung der sichere Schutz des ungeborenen Kindes vor fruchtschädigenden Wirkungen der Stoffe nicht immer gewährleistet ist.

Für die Beschäftigung von schwangeren und stillenden Mitarbeiterinnen wird auf die Verordnung 1 vom 10. Mai 2000 zum Arbeitsgesetz (ArGV1) und die Verordnung des EVD vom 20. März 2001 über gefährliche und beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschutz (Mutterschutzverordnung) verwiesen.

In der schweizerischen Grenzwertliste teilen wir fruchtschädigende Stoffe in folgende drei Gruppen ein:

### **Kategorie SS<sub>A</sub>**

Eine Schädigung der Leibesfrucht kann

auch bei Einhaltung des MAK-Wertes auftreten.

### **Kategorie SS<sub>B</sub>**

Eine Schädigung der Leibesfrucht kann auch bei Einhaltung des MAK-Wertes nicht ausgeschlossen werden.

### **Kategorie SS<sub>C</sub>**

Eine Schädigung der Leibesfrucht braucht bei Einhaltung des MAK-Wertes nicht befürchtet zu werden.

Diese Einteilung beruht auf Überlegungen der DFG und die Klassifizierung stimmt weitgehend mit derjenigen der DFG überein. Im Gegensatz zur R-Notation beschreibt diese Einteilung die Beziehung der entwicklungstoxischen Eigenschaft eines Stoffes in Bezug zum MAK-Wert – demgegenüber charakterisiert die R-Notation die Entwicklungstoxizität als Eigenschaft eines Stoffes an sich, ohne Bezug zum MAK-Wert. Es ist deshalb zum Beispiel möglich, dass ein Stoff zwar mit einem R versehen wurde, hingegen keine SS-Notation aufweist: In diesem Fall ist nicht bekannt, bei welcher Konzentration die reproduktionstoxische Eigenschaft des Stoffes zum Tragen kommt. Umgekehrt gibt es Stoffe, die zwar eine SS-Notation, hingegen keine R-Notation aufweisen; der Grund dieser Konstellation liegt darin, dass die beiden Notationen von verschiedenen Gremien vergeben werden und nicht aufeinander abgestimmt sind.

Kanzerogene Stoffe ohne Wirkschwelle werden keiner SS-Gruppe zugeteilt. Expositionen gegenüber solchen Stoffen sind ohnehin generell zu vermeiden oder möglichst tief zu halten.

## 1.7 Stäube und Nanopartikel

### 1.7.1 Analyse von Aerosolen

**e = einatembare Fraktion**

Unter der einatembaren Fraktion (früher: Gesamtstaub G) versteht man die Gesamtheit der Partikel in der Atemluft, welche durch Mund und Nase eingeatmet werden können.

**a = alveolengängige Fraktion**

Unter der alveolengängigen Fraktion (früher: Feinstaub F) versteht man die Gesamtheit der Partikel in der Atemluft, welche bis in die Lungenalveolen gelangen können.

Die MAK-Werte für Aerosole werden mit den Symbolen e (= einatembare Fraktion) und a (= alveolengängige Fraktion) gekennzeichnet. Die Definitionen entsprechen teilweise den früheren Bezeichnungen G und F, basieren aber auf der international anerkannten Norm EN 481 (ISO 7708).

Gemäss EN 481 sind dies Staubkollektive, die einen Vorabscheider mit der in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Charakteristik für Staubteilchen mit der Dichte 1 g/cm<sup>3</sup> passieren.

Bei Einhaltung der allgemeinen Staubgrenzwerte ist mit einer Gesundheitsgefährdung nur dann nicht zu rechnen, wenn sichergestellt ist, dass genotoxische, krebserzeugende, fibrogene, allergisierende oder sonstige toxische Wirkungen des Staubes nicht zu erwarten sind.

**Ultrafeine Partikel, deren Agglomerate und Aggregate**

Ultrafeine Teilchen (Diffusions-Äquivalentdurchmesser unter 100 nm) respektive deren Agglomerate und Aggregate entstehen im Wesentlichen bei Verbrennungsprozessen und Gasphasenreaktionen. Die lokale Wirkung der Teilchen im Atemtrakt steigt weniger masseproportional als mit der Teilchenoberfläche oder der Anzahlkonzentration an.

Aerodynamischer Durchmesser	Durchlassgrad für einatembare Aerosole	Durchlassgrad für alveolengängige Aerosole
0 µm	100,0 %	100,0 %
1 µm	97,1 %	97,1 %
3 µm	91,7 %	73,9 %
5 µm	87,0 %	30,0 %
7 µm	82,9 %	9,0 %
9 µm	79,1 %	2,5 %
10 µm	77,0 %	1,3 %
11 µm	75,8 %	0,7 %
16 µm	69,1 %	0,0 %
25 µm	61,2 %	
50 µm	52,5 %	
100 µm	50,1 %	

Durchlassgrad für einatembaren und für alveolengängigen Staub gemäss EN 481



Für ultrafeine Partikel, deren Agglomerate und Aggregate mit lokaler Wirkung lässt sich aus arbeitsmedizinisch-toxikologischer Sicht noch kein Grenzwert begründen.

## Probenahme

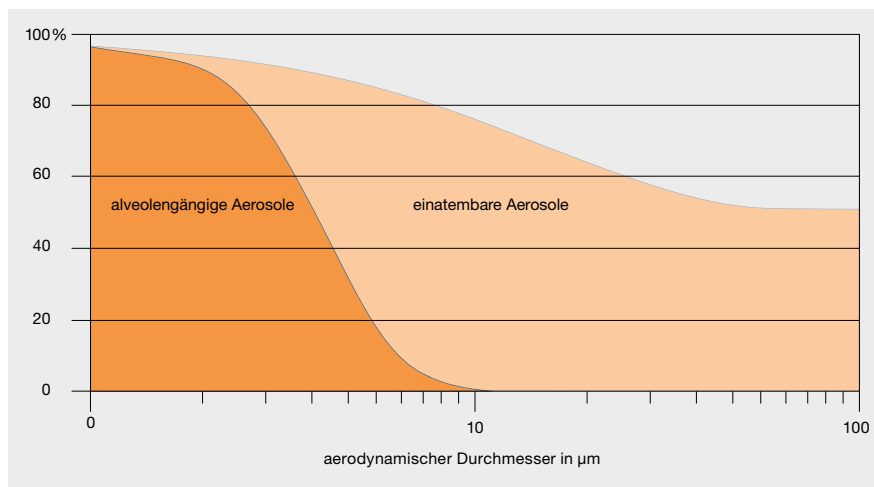
Die Probenahme und die Interpretation der Messergebnisse muss von erfahrenen Fachleuten vorgenommen werden, welche die zahlreichen, die Messung beeinflussenden Faktoren sowie die Grenzwerte am Arbeitsplatz und die zugehörigen Ausführungen kennen.

Die Grenzwerte am Arbeitsplatz sind personenbezogen. Soweit möglich sind daher Staubmessungen mittels Probenahmesystemen durchzuführen, die von den Exponierten getragen werden («personal sampling»). Bei Verwendung von stationären Messgeräten ist zu berücksichtigen, dass diese primär die Situation eines Raumes bzw. Arbeitsplatzes wiedergeben.

Für Staubmessungen müssen Apparate verwendet werden, deren Konformität mit der Norm EN 481 experimentell und im praktischen Einsatz belegt und in der Fachliteratur beschrieben ist. Für Messungen von einatembaren Stäuben ist dies beispielsweise bei den Probenahmegeräten IOM und GSP<sup>10, 11</sup> für alveolengängige Stäube bei speziell adaptierten Geräten vom Typ Zyklon der Fall. Messgeräte, welche in Übereinstimmung mit den bisherigen Vorgaben den Gesamtstaub bzw. Feinstaub gemäss Johannesburger Konvention (1959) erfassen, können bei Nachweis der Konformität mit der Norm EN 481 weiterhin eingesetzt werden. Werden Messgeräte eingesetzt, welche andere Staubkollektive als die in der

<sup>10</sup> Kenny LC: Developments in Workplace Aerosol Sampling – A review. Analyst, Sept. 1996. Vol. 121 (1233–1239)

<sup>11</sup> Kenny LC and alt: A Collaborative European Study of Personal Inhalable Aerosol. Sampler Performance. Ann. Occup. Hyg., 1997. Vol. 41, No. 2. (135–153)



Grafische Darstellung der Beziehung zwischen aerodynamischem Partikeldurchmesser und Durchlassgrad eines Vorabscheiders nach EN 481 für einatembare und alveolengängige Aerosole

EN 481 beschriebenen erfassen, ist das Ergebnis unter Verwendung eines von der Partikelgrößen-Verteilung abhängigen Umrechnungsfaktors zu korrigieren, und die Validität dieser Vorgehensweise ist zu belegen.

Quantitative Aussagen allein mit Hilfe von **Streulichtfotometern** sind in der Regel nicht möglich, da die Zusammensetzung der Stäube, z. B. bezüglich Dichte, Partikelmorphologie und Partikelgrößenverteilung oft stark variiert. Dagegen eignen sich Streulichtfotometer beispielsweise für das Aufspüren von Emissionsquellen, das Ermitteln zeitlicher Konzentrationsverläufe oder die Kontrolle der Wirksamkeit von Staubminderungsmaßnahmen.

## Sprachregelung

Deutsch	Français	English
einatembar	inhalable	inhalable
alveolengängig	alvéolaire	respirable

### 1.7.2 Granulär-biobeständige Stäube (GBS)

Als granulär-biobeständig werden solche Stäube bezeichnet, die nach heutigen Kenntnissen schwerlöslich sind, keine stoffspezifische Toxizität aufweisen und nicht chemisch mit Strukturen des Organismus interagieren und welche nicht in der Lunge abgebaut werden. Für solche Stäube gilt ein MAK-Wert von 3 mg/m<sup>3</sup> für die alveolengängige Fraktion, gemessen nach EN 481, sowie von 10 mg/m<sup>3</sup> für die einatembare Fraktion. Die alveolengängige Fraktion umfasst vor allem Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser < 5 µm, die einatembare

Fraktion solche mit einem aerodynamischen Durchmesser < 150 µm.

Der MAK-Wert für granulär biobeständige Stäube versteht sich immer unter der Voraussetzung, dass diese Stoffe keine Beimischungen an besonders gesundheitsschädlichen Substanzen, wie beispielsweise Asbest, Quarz usw. enthalten und nicht in nanoskaliger oder ultrafeiner Form vorliegen. Falls stoffspezifische tiefere Grenzwerte vorliegen, so sind diese anzuwenden. Als granulär-biobeständige Stäube gelten (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Aluminium
- Aluminiumhydroxid
- Aluminiumoxid (Alundum und Korund)
- Bariumsulfat
- Calciumcarbonat (Kreide)
- Graphit
- Kunststoffstäube (z. B. PVC, PET, Polystyrol, PTFE)
- Magnesiumcarbonat (Magnesit)
- Magnesiumoxid
- Siliciumcarbid (Carborundum), faserfrei
- Talk
- Tantal
- Titandioxid
- Zirkoniumdioxid

Die Konzentration von nicht-granulär-biobeständigen Stäuben in der Atemluft, für welche die Aufstellung eines MAK-Wertes aus Mangel an quantitativen Kenntnissen bisher nicht möglich war, darf auf keinen Fall höher sein als diejenige von granulär-biobeständigem Staub.

Der MAK-Wert von  $3\text{ mg/m}^3$  für die alveolengängige Fraktion und  $10\text{ mg/m}^3$  für die einatembare Fraktion von GBS wird **allgemeiner Staubgrenzwert** genannt.

Um den Vollzug einheitlich zu gestalten, wird der MAK-Wert auch für jene festen Stoffe, bei denen für die einatembare Fraktion aus toxikologischer Sicht ein MAK-Wert oberhalb des allgemeinen Staubgrenzwerts abgeleitet werden könnte, auf  $10\text{ mg/m}^3$  begrenzt.

**Nanoobjekte** sind bewusst hergestellte Strukturen, die 1, 2 oder 3 Aussenmasse im Nanomassstab (Grössenbereich von etwa 1 bis 100 nm) aufweisen. Wichtige Vertreter innerhalb der Nanoobjekte bilden **Nanopartikel** und **Nanofasern** (3 bzw. 2 Aussenmasse im Nanomassstab). Nanopartikel können durch Zerkleinerung grösserer Partikel oder durch Aufbau erzeugt werden. Nanofasern können auch eine röhrenartige Form haben wie die Kohlenstoffnanoröhrchen (Carbon Nanotubes); diese können eine oder mehrere Wände enthalten (SWCNT, Single Walled Carbon Nanotubes; MWCNT, Multi Walled Carbon Nanotubes). Für Nanofasern mit einem hohen Verhältnis zwischen Länge und Durchmesser wird auch der Ausdruck der High Aspect Ratio Nanoparticles (HARN) verwendet.

Als **ultrafeine Aerosolteilchen** (engl.: **ultrafine particles**) werden Teilchen bezeichnet, deren Mobilitäts-Äquivalentdurchmesser bei  $<0,1\text{ }\mu\text{m}$  ( $= <100\text{ nm}$ ) liegt und die im Rahmen von thermischen Prozessen (wie Vulkanausbrüche, Waldbrände, Feuerung; Dieselmotor oder Schweißen) oder durch die Bearbeitung von Werkstoffen beiläufig entstehen.

Nanopartikel und ultrafeine Partikel zeigen eine Tendenz zum Zusammenballen, das heisst sie können Agglomerate oder Aggregate bilden.

### 1.7.3 Nanopartikel und ultrafeine Partikel

Neben der Grösse und der Geometrie der Partikel bestehen weitere Unterscheidungsmerkmale von Nanopartikeln, wie die chemische Zusammensetzung, die physikochemischen Eigenschaften der Oberfläche, die Fähigkeit, reaktive Sauerstoffspezies (ROS, Reactive Oxygen Species) zu bilden oder die Löslichkeit in biologischen Medien.

In Untersuchungen bei Arbeitnehmenden mit Expositionen gegenüber Nanopartikeln im Rahmen der Nanotechnologie sind bisher in westlichen Industrienationen keine spezifischen Berufskrankheiten beobachtet worden. Es bestehen jedoch Hinweise dafür, dass sich Erkrankungen durch Nanopartikel zu einem späteren Zeitpunkt zeigen könnten, sofern der Einsatz nicht mit Umsicht erfolgt. Diese Hinweise stammen von experimentellen Untersuchungen, der Kenntnis einer Assoziation von partikulären Umweltbelastungen und Erkrankungen.

Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass Nanopartikel und ultrafeine Partikel nach Inhalation zu Entzündungsreaktionen im Bereich der Bronchien und der Alveolen führen können. Experimentelle Untersuchungen zeigen auch, dass die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies und die proinflammatorische Wirkung der Nanopartikel in der Lunge massgeblich von der chemischen Zusammensetzung respektive von den physikochemischen Eigenschaften der Oberfläche abhängen. Kohlenstoffnanoröhrchen können ebenfalls zu entzündlichen Reaktionen in der Lunge führen. Kohlenstoffnanoröhrchen haben zudem

strukturelle Ähnlichkeiten mit faserförmigen Stäuben wie beispielsweise Asbest. Generell werden Fasern dann als gefährdend betrachtet, wenn sie sehr lang sind (insbesondere über 20 µm), einen Durchmesser von weniger als 3 µm aufweisen und im Gewebe, insbesondere im Lungengewebe, biopersistent sind. Studien geben Hinweise dafür, dass CNT, insbesondere starre, lange und dünne MWCNT, krebserzeugend sein könnten.

Voraussetzungen für das Festlegen von Grenzwerten sind bekannte Dosis-Wirkungs-Beziehungen, möglichst auf der Basis epidemiologischer und experimenteller Untersuchungen. Aufgrund der bisherigen Datenlage liegen noch wenige klare Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Nanopartikel vor. Zudem stellt sich die Frage, welche Messgrößen für den Grenzwert von Nanopartikeln heranzuziehen sind, wie das Massengewicht, die Partikelanzahl, die Partikeloberfläche, physikochemische Eigenschaften der Oberfläche oder die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies.

International sind noch keine Grenzwerte publiziert worden. In den USA hat das National Institute of Occupational Safety and Health für granuläre Titandioxid-Nanopartikel einen Richtwert von 0,3 mg/m<sup>3</sup> (a-Fraktion) vorgeschlagen. Bei Mischexpositionen von ultrafeinem und feinem Titanoxid kann derzeit aufgrund des Fehlens einer Messkonvention keine präzise Quantifizierung, sondern lediglich eine Abschätzung des ultrafeinen Anteils vorgenommen werden.

In Grossbritannien wird für Kohlenstoffnanoröhrchen und -fasern ein Richtwert

von 0,01 Fasern/ml empfohlen. Derzeit sind für Kohlenstoff-Nanoröhrchen allerdings weder ein normiertes Messverfahren, noch angepasste Zählregeln (Vorgehen bei der Längenmessung, Behandlung von Knäueln etc.) verfügbar.

Aufgrund der aktuellen Datenlage kann folgender Richtwert formuliert werden:

Kohlenstoffnanoröhrchen und -fasern (Länge über 5 µm, Durchmesser weniger als 3 µm, Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von über 3:1): **0.01 Fasern/ml**. Dieser Wert entspricht dem Grenzwert für lungengängige Asbestfasern.

#### 1.7.4 Sensibilisierende Stäube (Getreidemehlstaub)

Getreidemehlstäube wie Weizen- oder Roggenmehlstaub wirken sensibilisierend und können eine irritative Wirkung auf die Atemwege haben. Die sensibilisierende Wirkung ist in der Praxis besonders wichtig, da das Asthma bei mehlstaub-exponierten Mitarbeitenden zu den häufigsten beruflich bedingten Asthmaformen zählt. Bei bereits eingetretener Sensibilisierung können sehr geringe Einwirkungen zu Beschwerden und Funktionsbeeinträchtigungen führen. Das Risiko des Eintretens einer Sensibilisierung ist einerseits von der Intensität der Einwirkung (Mehlstaubkonzentration), andererseits von persönlichen Faktoren (Atopie) abhängig. Die Dosiswirkungsbeziehungen zwischen Mehlstaubexposition und Auftreten einer Sensibilisierung respektive einer manifesten Atemwegsallergie sind bei Personen mit oder ohne Atopie unterschiedlich. Aufgrund der bisher bekannten Dosiswirkungsbeziehungen ist es nicht möglich, einen

Aus den bekannten Dosiswirkungsbeziehungen kann abgeleitet werden, dass für Getreidemehlstaub eine Konzentration im Bereich von **<1 mg/m<sup>3</sup> (e-Staub)** respektive – gemessen über einen Zeitraum von 15 Minuten – von 2 mg/m<sup>3</sup> anzustreben ist.

NOAEL (No Observable Adverse Effect Level) und damit einen gesundheitsbasierten Grenzwert festzulegen.

Da kurzzeitige hohe Mehlstaubexpositionen für die Sensibilisierung eine wichtige Rolle spielen, sollen Spitzenexpositionen möglichst vermieden werden. Wenn dies mit technischen und organisatorischen Mitteln nicht erreicht werden kann, sind personenbezogene Schutzmassnahmen anzuwenden. Zusätzlich wird im Rahmen einer medizinischen Berufsberatung eine Eignungsuntersuchung für angehende Lernende und Mitarbeitende mit Einwirkungen gegenüber Getreidemehlstaub empfohlen.

#### **1.7.5 Biologisch belastete Stäube und Aerosole/biologische Einwirkungen**

Der Schutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer vor Gefährdung durch Mikroorganismen wird in der Verordnung des Bundesrates vom 25. 8. 1999 (SAMV) geregelt. Insbesondere bezüglich der Gruppen von Mikroorganismen sowie der Liste der eingeteilten Mikroorganismen und der biologischen Sicherheitssysteme gemäss Art. 3 und Art. 4 der SAMV wird auf diese Verordnung verwiesen. In Art. 5 wird der Arbeitgeber verpflichtet, bei jedem Umgang mit Mikroorganismen und bei jeder Exposition gegenüber Mikroorganismen die Gefahr zu ermitteln und das damit verbundene Risiko zu bewerten. Der Arbeitgeber hat zudem der zuständi-

gen Behörde auf Verlangen die Kriterien mitzuteilen, die er zur Gefahrenermittlung und Risikobewertung verwendet.

Wissenschaftlich begründete Grenzwerte für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe können gegenwärtig nicht festgelegt werden. Probleme sind unter anderem die unterschiedliche Pathogenität von Mikroorganismen, die häufig vorkommenden Mischexpositionen gegenüber sehr unterschiedlichen Mikroorganismen, die im Gegensatz zu chemischen Arbeitsstoffen grössere Schwankungsbreite der Empfindlichkeit der Arbeitnehmenden, unter anderem wegen der individuellen Abwehrlage sowie die noch nicht standardisierten Probenahmen- und Analysenmethoden.

Gegenwärtig können demnach nur Richtwerte zur Beurteilung von Endotoximmessungen und Keimzahlmessungen angegeben werden, die immer auch unter Berücksichtigung der aktuellen Arbeitsplatzbedingungen, der angewandten Mess- und Analysemethodik, der qualitativen Beurteilung der Mikroorganismen sowie von Besonderheiten des Gesundheitszustandes der Arbeitnehmenden zu interpretieren sind. Zusätzlich ist auch die Hintergrundbelastung durch Mikroorganismen in der Umgebungsluft zu beachten, die natürlichen Schwankungen durch die Jahreszeit und Witterung unterworfen ist. Die Hintergrundbelastung beträgt üblicherweise zwischen 10<sup>2</sup> und 10<sup>3</sup> KBE/m<sup>3</sup> Luft (KBE = koloniebildende Einheiten).

Diese Orientierungswerte zielen darauf ab, Wirkungen von Mikroorganismen und deren Bestandteilen, die nicht deren Infektiosität zuzuschreiben sind, wie akute Atemwegsentzündungen, chronische Atemwegsentzündungen oder ein Inhalationsfieber («organic dust toxic syndrome») zu verhindern. Zu beachten ist, dass durch biologische Einwirkungen auch allergische Krankheitsbilder (wie allergisch bedingter Schnupfen, ein Asthma bronchiale oder Lungenbläschenallergien – sogenannte allergische Alveolitis) verursacht werden können.

Als **Orientierungswerte**, unter den erwähnten Einschränkungen, können für die Gesamtkeimzahl aerober mesophiler Keime (AMK) als akzeptable Arbeitsbelastung Werte von  $10^4$  KBE/m<sup>3</sup>, für gramnegative Bakterien  $10^3$  KBE/m<sup>3</sup>, für Schimmelpilze  $10^3$  KBE/m<sup>3</sup> und für Endotoxine 1000 EU/m<sup>3</sup> (grosse Streubreite aufgrund unterschiedlicher Analyseverfahren) verwendet werden.

## 1.8 Spezielle Themen

### 1.8.1 Beurteilung des Gesundheitsrisikos von Arbeitsstoffen ohne MAK-Wert

Voraussetzungen für die Aufstellung eines MAK-Wertes sind ausreichende toxikologische und/oder arbeitsmedizinische Erfahrungen beim Umgang mit dem Stoff. Für viele Substanzen, die gewerblich Verwendung finden, gibt es keine Klassifizierung mit einem MAK-Wert. Das heisst aber nicht, dass diese Substanzen ungefährlich sind.

In der Grenzwertliste werden nur Stoffe aufgeführt, von denen MAK-Werte bekannt sind. Krebserregende, sensibilisierende oder hautpenetrierende Stoffe ohne MAK-Wert finden sich nicht in der Liste.

Der Umgang mit diesen Substanzen unterscheidet sich in keiner Weise von demjenigen mit einem bestehenden MAK-Wert. Auch beim Umgang mit diesen Substanzen ist eine Beurteilung des Gesundheitsrisikos vorzunehmen. Diese Beurteilung setzt die Kenntnis der betrieblichen Gegebenheiten voraus und umfasst mehrere Schritte<sup>12</sup>:

- Gefahrenanalyse
- Expositionsermittlung und -bewertung
- Festlegung der Massnahmen
- Erneute Beurteilung nach einer bestimmten Zeit oder beim Vorliegen neuer Daten.

<sup>12</sup> Schriftenreihe ESICS, Heft 13 (1998), Arbeitshygiene.

Eine wichtige Informationsquelle für die Beurteilung des Gesundheitsrisikos ist das Sicherheitsdatenblatt. Darin sind u. a. die wichtigsten bekannten Eigenschaften, Schutzmassnahmen sowie die Erste-Hilfe-Massnahmen aufgeführt. Das Sicherheitsdatenblatt ist jedem Produkt beigelegt oder kann beim Inverkehrbringer bezogen werden.

Wenn für eine Substanz kein MAK-Wert vorliegt, so ist es u. U. schwierig, eine Expositionsbewertung vorzunehmen und daraus angemessene Massnahmen abzuleiten. In der Praxis haben sich für diese Problemstellung unter anderem die nachfolgend beschriebenen Vorgehensweisen bewährt. Diese Vorgehensweisen setzen jedoch fundierte arbeitsmedizinische, toxikologische und arbeitshygienische Kenntnisse voraus.

### **Festlegung eigener Richtwerte**

Wenn ausreichende betriebseigene toxikologische Daten vorliegen und/oder die pharmakologische Wirkung genügend bekannt ist, so kann unter Umständen ein Wert ermittelt werden, bei dessen Einhaltung keine gesundheitlich beeinträchtigenden Einwirkungen zu erwarten sind (No observed adverse effect level, NOAEL). Bei Kenntnis des NOAEL und unter Berücksichtigung zusätzlicher Sicherheitsfaktoren können eigene Richtwerte für solche Stoffe festgelegt werden. Dieses Vorgehen kommt beispielsweise in der pharmazeutischen Industrie zur Anwendung, um Richtwerte für selbst hergestellte Substanzen abzuleiten. Die Massnahmen sind in diesem Fall so festzulegen, dass die Richtwerte eingehalten werden können. Gibt es für einen Stoff einen MAK-Wert, so geht dieser den selbst festgelegten Richtwerten vor.

### **Control Banding**

Wenn es keine ausreichenden Informationen zur Bestimmung eigener Richtwerte gibt, so ist es unter Umständen trotzdem möglich, Substanzen anhand der vorhandenen Kenntnisse über deren physikalischen und chemischen Eigenschaften zu kategorisieren und darauf gestützt die Massnahmen abzuleiten. Als Vorgehen kann beispielsweise das «Control Banding» angewandt werden. Bei dieser Methode werden Gruppen bzw. «Bänder» definiert, in welche Substanzen mit ähnlichen Gesundheitsrisiken anhand ihrer Stoffeigenschaften eingeteilt werden. Zu jedem Band wird gleichzeitig ein Massnahmenpaket definiert, welches auf das Risikoniveau des jeweiligen Bandes abgestimmt ist.

Weitergehende Informationen zum Control Banding finden sich bei:

- Zalk D.M. et al.: Band the World Together; the global growth of Control Banding and qualitative occupational risk management. ICOH Newsletter 9 (2011); 3:4-7
- ILO ICCT (International Labour Organization: International Chemical Control Toolkit)
- AIHA (American Industrial Hygiene Association)
- HSE COSHH (Health and Safety Executive: Control of Substances Hazardous to Health): Essential Sector guidance sheets
- ECETOC TRA (European Centre for Exotoxicology and Toxicology of Chemicals: Targeted Risk Assessment)
- REACH EMKG-Expo tool (Einfaches Massnahmenkonzept Gefahrstoffe)

### 1.8.2 Stoffgemische

In der Praxis ist man in der Regel nicht reinen Stoffen, sondern Stoffgemischen ausgesetzt. Die MAK-Werte gelten aber definitionsgemäss für Expositionen gegenüber reinen Stoffen. Sie sind für die Beurteilung von Stoffgemischen und von technischen Produkten, die Begleitstoffe oder Verunreinigungen höherer Toxizität enthalten, nur bedingt geeignet. Grund für diese Einschränkung ist der Umstand, dass die toxikologische Beurteilung von Gemischen, deren Komponenten sich in ihrer Wirkungsweise gegenseitig sowohl verstärken wie auch abschwächen können, aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse noch zuwenig gesichert ist. Trotzdem muss die Luftqualität an Arbeitsplätzen, an denen Schadstoffgemische auftreten, nach einheitlichen Kriterien beurteilt werden können.

Wenn keine Interaktionen auftreten, kann bei unterschiedlichem Zielorgan von einer unabhängigen Wirkung der Stoffe ausgegangen werden. Beim gleichen Zielorgan stellt sich eine **additive Wirkung** ein. Diese entspricht der toxischen Wirkung der Totalkonzentration der einzelnen Arbeitsstoffe bzw. der Summe der Einzelkonzentrationen der involvierten Substanzen. Die additive Wirkung kommt also nicht durch eine «Effect Addition», sondern durch eine «Dose Addition» zustande.

Bei Mehrfachexpositionen gegenüber Arbeitsstoffen treten aber oft Interaktionen auf. In diesem Fall werden die Konzentration toxischer Stoffe oder Metaboliten (Umwandlungsprodukte) am Zielorgan beeinflusst und die Parameter

des biologischen Monitoring verändern sich. Generell können Interaktionen im Bereich der Absorption, Verteilung, Biotransformation (Aktivierung von Arbeitsstoffen zu aktiven Metaboliten oder Entgiftung zu inaktiven Metaboliten) und der Ausscheidung auftreten. In diesem Fall spricht man von **toxikokinetischen Interaktionen**. Interaktionen können auch am Zielorgan im Bereich von Rezeptoren für Arbeitsstoffe auftreten. Dies sind **toxikodynamische Interaktionen**.

Hemmt ein Arbeitsstoff den Stoffwechsel eines anderen Arbeitsstoffes, so verlangsamt sich die Entgiftung der aktiven Substanz zu einem (in)aktiven Metaboliten. Auch eine gegenseitige Hemmung des Stoffwechsels ist bekannt. In dieser Situation kommt es bei gleichzeitiger Einwirkung dieser Stoffe zu erhöhten Konzentrationen der toxisch wirkenden Arbeitsstoffe im Blut mit einer **supra- oder hyperadditiven Gesamtwirkung**. Die Ausscheidung von inaktiven Metaboliten im Urin ist verzögert und weist einen kleineren Peak auf. Dies kann zu einer Fehlinterpretation führen, da eine zu geringe innere Belastung der Mitarbeitenden mit diesen Stoffen angenommen wird.



Die Wirkung eines Arbeitsstoffes kann durch einen anderen Stoff auch abgeschwächt werden (**infraadditiver Effekt** oder **Antagonismus**), zum Beispiel durch eine Beschleunigung des Stoffwechsels.

In der betrieblichen Praxis wird bei Gemischen, die auf die gleichen Zielorgane einwirken und deren Komponenten sich in ihrer Wirkung unabhängig voneinander im Sinne der oben erwähnten Dose Addition verstärken, z. B. bei Lösemittelgemischen, die folgende Annahme als Beurteilungsgrundlage angewandt:

$$\frac{C_1}{MAK_1} + \frac{C_2}{MAK_2} + \frac{C_3}{MAK_3} + \dots + \frac{C_i}{MAK_i} \leq 1$$

Übersteigt dabei die Summe der MAK-Wert-Anteile der einzelnen Komponenten den Wert 1, muss deren Gesamtkonzentration durch geeignete Massnahmen so weit gesenkt werden, dass der Summenindex 1 mit Sicherheit unterschritten wird.

Liegen Stoffgemische vor, die auf verschiedene Zielorgane einwirken bzw. deren Komponenten sich in ihrer Gesamtwirkung gegenseitig nicht verstärken, z. B. bei Fahrzeugabgasen, ist die folgende Berechnung anwendbar:

$$\frac{C_1}{MAK_1} \leq 1; \frac{C_2}{MAK_2} \leq 1; \dots; \frac{C_i}{MAK_i} \leq 1$$

Im Gegensatz zum Summenindex kann im vorliegenden Fall, analog wie beim reinen Stoff, nur von einer unzulässigen Belastung der Luft am Arbeitsplatz gesprochen werden, sofern der MAK-Wert einer oder gleichzeitig mehrerer Komponenten überschritten wird.

Bei einer Risikoanalyse müssen neben Mehrfacheinwirkungen am Arbeitsplatz auch ausserberufliche Faktoren wie Alkoholgenuss, Medikamente oder Rauschen beachtet werden, welche mit beruflichen Einwirkungen interagieren können. Zu beachten ist ausserdem die unterschiedliche Toxikokinetik bzw. Halbwertszeit der Metaboliten der involvierten Arbeitsstoffe.

Durch das biologische Monitoring kann die innere Belastung durch einen Arbeitsstoff oder eine Beanspruchung als Reaktion des Organismus auf den Arbeitsstoff beurteilt werden. Toxikokinetische Interaktionen können durch eine sinnvolle Strategie im biologischen Monitoring dokumentiert werden. Auch Interaktionen zwischen Arbeitsstoffen können bezüglich der potenziellen toxischen Wirkung mittels des biologischen Monitorings beurteilt werden.

Im Rahmen der Risikobeurteilung ist die Interaktion zwischen Lärm und ototoxischen Arbeitsstoffen einzubeziehen. Darauf wird im Kapitel 1.2.3 eingegangen, wo die Notifikation «O<sup>L</sup>» (lärmverstärkende Ototoxizität) eingeführt wird.

### 1.8.3 Neurotoxische Substanzen

Eine Reihe von Arbeitsstoffen können toxische Wirkungen auf das zentrale und periphere Nervensystem entfalten.

Für Arbeitsstoffe mit adversen Effekten auf das Zentralnervensystem ist eine Risikobeurteilung durch einen Spezialisten der Arbeitssicherheit wichtig. Im Rahmen der Risikobeurteilung sind insbesondere Co-Expositionen mit neurotoxischen Stoffen, eine allfällige erhöhte Empfind-

lichkeit der Mitarbeitenden im Rahmen von Nacht-/Schichtarbeit, eine zusätzliche adverse Wirkung durch die Einnahme von bestimmten Medikamenten sowie die Notwendigkeit einer strikten Alkoholabstinenz vor der Arbeitsschicht zu beachten.

### 1.8.4 Organische Peroxide

Bei den organischen Peroxiden ist die entzündliche und ätzende Wirkung auf die Haut und die Schleimhäute sehr verschieden stark ausgeprägt.

Manche Peroxide führen noch in starker Verdünnung und kleinsten Mengen zu tiefgreifenden Hautnekrosen oder Kornealnektrosen mit Verlust des Auges. Die Einatmung der Dämpfe ruft unterschiedlich starke Reizerscheinungen an den Atemwegen hervor. Die Gefahr einer resorptiven Wirkung ist in der Praxis gering. Sensibilisierungen sind beobachtet worden.

### 1.8.5 Kühlschmierstoffe und Mineralöle

Kühlschmierstoffe werden zur Kühlung und Schmierung bei verschiedenen metallverarbeitenden Prozessen eingesetzt. Sie sind komplexe Gemische aus unterschiedlichsten Komponenten, welche mit Wasser mischbar oder nicht-mischbar sind. Grundsätzlich bestehen Kühlschmierstoffe aus einem Basisöl, Additiven und Sekundärstoffen. Der Basisstoff ist entweder ein Mineralöl, ein natürliches Esteröl oder ein synthetischer Stoff. Heutzutage werden in aller Regel Additive zum Basisstoff hinzugegeben, zum Beispiel Biozide, Emulgatoren, Korrosionsschutzmittel, Konservierungsmittel, Antischaumzusätze, Hochdruckzusätze, Antialterungsmittel etc. Während des Gebrauchs eines Kühlschmierstoffes können sich weitere Substanzen (Sekundärstoffe) ansammeln oder bilden, beispielsweise PAH (bei hohen Temperaturen), Metallpartikel, Reinigungsmittel, Lacke, Farben oder Lösungsmittel. Desweiteren kann es zu einer mikrobiellen Besiedlung kommen mit Bildung von

Organisches Peroxid	Konzentration	Wirkung auf die Haut
Di-tert. Butylperoxid		praktisch fehlend oder sehr schwach
Dibenzoylperoxid	50 %	
Dilauroylperoxid	50 %	
Tert. Butyl-hydroperoxid		mässig
Tert. Butylperacetat	50 %	
Cumolhydroperoxid		sehr stark
Methylethylketonperoxid	40 %	
Cyclohexanonperoxidgemische	50 %	
Dicyclohexylperoxid	50 %	
Diacetylperoxid	30 %	
Peressigsäure	40 %	

Endotoxinen und Nitrosaminen. Nitrosamine entstehen aus sekundären Aminen bei gleichzeitigem Vorliegen von nitrosierenden Substanzen (siehe Kapitel 1.3.3).

Eine häufig vorkommende nitrosierende Substanz sind Nitrite, welche aus Nitraten durch bakterielle Reduktion gebildet werden.

Gesundheitlich relevant sind vor allem die Additive und Sekundärstoffe. PAH, einige Nitrosamine oder Metalle können krebserregend sein. Da diese in der Regel jedoch erst während des Gebrauchs eines Kühlschmierstoffs entstehen, werden Mineralöle und Kühlschmierstoffe nicht als krebserregend gekennzeichnet, sondern lediglich mit einem C2 versehen.

Die toxischen Stoffe reichern sich vor allem in den Aerosolen (Nebel) an, welche während des Einsatzes eines Kühlschmierstoffes entstehen. Daneben kann es wegen der Flüchtigkeit einzelner Komponenten auch zur Dampfbildung (Gasphase) kommen. In der Grenzwertliste findet sich sowohl ein Grenzwert für Aerosole als auch ein Grenzwert für die Summenkonzentration von Aerosolen und Dampf. Bei der Herleitung des Grenzwerts für Aerosole spielen gesundheitsbasierte Aspekte eine Rolle, der Grenzwert für die Summenkonzentration ist demgegenüber rein technisch-arbeitshygienisch basiert. Falls Grenzwerte und Notationen von einzelnen Kühlschmierstoffkomponenten vorhanden sind, so sind diese zu beachten (siehe zum Beispiel gewisse Erdöldestillate).

### 1.8.6 Lösliche Metalle

Aufarbeitsverfahren (Konvention) zur analytischen Bestimmung «löslicher» Metallverbindungen:

Die in der Liste der MAK-Werte als «löslich» bezeichneten Metalle bzw. deren Verbindungen werden zwecks besserer Vergleichbarkeit der Messresultate mit Vorteil gemäss folgender Konvention aufgearbeitet:

Verfahrensparameter	Bedingung
Extraktionsmittel	Salzsäure*, 0,1 mol/l
Extraktionszeit	2 Stunden
Extraktions-temperatur	Siedetemperatur
Verhältnis Probeluft-volumen zu Extraktionsvolumen	ca. 20 000 zu 1

\* Bei Gefahr der Bildung schwerlöslicher Metallchloride ist Salpetersäure einzusetzen. Eine detaillierte Begründung und Beschreibung dieses Aufarbeitsverfahrens findet sich in: J. U. Hahn, Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, Springer VDI Verlag, 60 (2000) Nr. 6 Juni, S. 241–243.

### 1.8.7 Blei und seine Verbindungen

Blei und seine Verbindungen können über die Atmung, den Magen-Darm-Trakt und im Fall von organischen Bleiverbindungen über die Haut in den Körper aufgenommen werden. Je nach Höhe der Blutbleikonzentration können unterschiedliche gesundheitliche Beeinträchtigungen auftreten, wie zum Beispiel Schädigung des Nervensystems, der Fertilität, der Nieren, des Magen-Darm-Trakts, von Blutbestandteilen oder der Störung der Entwicklung des ungeborenen Kindes.

Die gesundheitliche Gefährdung einer exponierten Person wird idealerweise über regelmässige Blutanalysen im Rahmen eines Biomonitorings abgeschätzt. Es existiert ein gesundheitsbasierter **BAT-Wert**, der auf Studien zur Neurotoxizität an Probanden beruht. Wenn möglich sollte mit einem Biomonitoring vor Antritt einer Arbeitsstelle begonnen werden, damit man den Ausgangswert kennt und eine vorbestehende Bleibelastung abgrenzen kann.

Blei lagert sich unter anderem im Knochen ab. Aus dem **Knochenpeicher** kann Blei auch nach Sistieren einer Exposition über Wochen bis Jahre ins Blut abgegeben werden, je nachdem wie viel Blei sich im Laufe der Zeit im Knochen abgelagert hat. Diesem Umstand muss Rechnung getragen werden, wenn eine Person zu hohe Blutbleispiegel aufweist und Massnahmen diskutiert werden. Fallen die Blutbleispiegel im regelmässigen Biomonitoring über die Zeit ab, so kann die Person – abhängig von der individuellen Risikoanalyse – am Arbeitsplatz belassen werden.

Blei kann unter anderem zu Störungen der Entwicklung des ungeborenen Kindes führen. Es ist nicht möglich, eine Schwelle anzugeben, unterhalb derer entwicklungstoxische Schädigungen mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. Deshalb sollte die Bleibelastung von **Frauen im gebärfähigen Alter** nicht höher als die Hintergrundbelastung in der Allgemeinbevölkerung sein, sofern die Möglichkeit einer zukünftigen Schwangerschaft besteht. Da in der Schweiz keine nationalen Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung vorliegen,

schliesst sich die Suva der EU-Richtlinie 2024/869 an. Diese empfiehlt bei Fehlen von Referenzwerten, dass der Blutbleispiegel eine Konzentration von 45 µg/l Blut nicht überschreitet. Die Suva wird spätestens 2029 den aktuellen BAT-Wert für Frauen im gebärfähigen Alter durch diese Empfehlung ersetzen. Die Blutbleiwerte von Frauen im gebärfähigen Alter mit relevanter Bleiexposition sind im Rahmen eines Biomonitorings vor dem Stellenantritt regelmässig zu kontrollieren und die Frauen über mögliche Risiken und nötige Verhaltensweisen zu informieren. Bei über der Empfehlung von 45 µg/l Blut liegenden Laborwerten sind Massnahmen aufgrund der langen Halbwertszeit des Knochenbleis schon jetzt zu diskutieren. Eine Überschreitung gilt gemäss EU-Richtlinie nicht als Indikator für feststellbare gesundheitliche Wirkungen, sondern für eine Exposition und soll auf die Abklärung weiterer Massnahmen hinweisen. Dabei soll die individuelle Gesamtsituation mitberücksichtigt werden (z. B. Möglichkeit zukünftiger Schwangerschaften). Bei Eintreten einer Schwangerschaft und während der Stillzeit sind die Vorgaben der Mutterschutzverordnung zu beachten.

Zwischen der Bleikonzentration im Blut und der **Luftkonzentration** besteht kein besonders enger Zusammenhang. Grund dafür ist, dass Blei auch peroral aufgenommen und aus dem Knochenpeicher abgegeben werden kann. Die Herleitung eines gesundheitsbasierten MAK-Werts aus einer Blutbleikonzentration ist deshalb weniger belastbar als die Festlegung eines BAT-Werts, und im Zusammenhang mit der Verhütung von Berufskrankheiten sind Luftmessungen

allein weniger aussagekräftig als regelmässige Blutanalysen. Werden wiederholt über dem Schweizer MAK-Wert liegende Luftkonzentrationen gemessen und soll die individuelle Gefährdung abgeschätzt werden, empfiehlt sich deshalb die Einrichtung eines Biomonitorings. Luftmessungen können zum Beispiel zur Beurteilung der Wirksamkeit technisch-organisatorischer Massnahmen herangezogen werden, und sie können – in Verbindung mit einem Biomonitoring – Hinweise zum individuellen Verhalten am Arbeitsplatz liefern (z. B. Nahrungsaufnahme oder Rauchen mit kontaminierten Händen, verschmutzte Arbeitsflächen oder Kleider). Nicht geeignet ist das Bleibiomonitoring zur Abbildung einer akuten Exposition.

Die Suva geht davon aus, dass Blei beim Menschen **wahrscheinlich krebs-erregend** ist, allerdings erst ab einer bestimmten Blutbleikonzentration. Blei wird deshalb mit einer  $C1_{\frac{B}{\#}}$ -Notation versehen werden. Entscheidend bei der Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung ist auch hier die Blutbleikonzentration.

## 1.9 Hinweise auf Messmethoden

Eine wichtige Methode zur Überwachung der Einhaltung der Grenzwerte (MAK-Werte) ist die Messung der Konzentration der Stoffe am Arbeitsplatz. Die Messtechnik soll die Konzentration repräsentativ erfassen.

Die Planung, Durchführung und Interpretation der Messungen ist Sache von Fachleuten.

### 1.9.1 Adressen

In der Kolonne «Messmethoden» der MAK-Liste werden die Institutionen aufgeführt, die gängige Messmethoden publiziert haben. Die aktuellen Adressen bitte im Internet nachsehen.

#### DGUV

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

- Analyseverfahren zur Festlegung der Konzentrationen von krebserzeugenden Arbeitsstoffen (DGUV Information, 213-500 ff, bisher BGI 505) (periodisch ergänzte Loseblattsammlung)

#### IFA

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

- IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen

#### DFG

Deutsche Forschungsgemeinschaft (Arbeitsgruppe «Analytische Chemie» der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe)

- Luftanalysen, analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (periodisch ergänzte Loseblattsammlung)

#### HSE

Health and Safety Executive (Occupational Medicine and Hygiene Laboratory)

- Methods for the Determination of Hazardous Substances (MDHS) (periodisch ergänzte Loseblattsammlung)

#### INRS

Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

- Prélèvement et Analyse de Polluants Organiques Gazeux; Méthodes utilisées par l'INRS. (nur Übersichtsartikel)
- Cahiers de Notes Documentaires 114, 55–61 (1984)
- Base de données MÉTROPOL

## NIOSH

National Institute for Occupational Safety and Health

- NIOSH Manual of Analytical Methods (periodisch ergänzte Loseblattsammlung)
- DHHS (NIOSH): Publikationen Nr. 84–100

## OSHA

Occupational Safety and Health Administration

- OSHA Analytical Methods Manual (periodisch ergänzte Loseblattsammlung)

### 1.9.2 Einheiten

Die MAK-Werte werden ausgedrückt:

- bei Gasen und Dämpfen in Volumenteilen pro Million Teile Luft = ml/m<sup>3</sup> (englisch: ppm=parts per million) sowie in mg/m<sup>3</sup> Luft;
- bei Schwebestoffen in mg/m<sup>3</sup> Luft.

#### Umrechnungsformeln

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{Molmasse}}{24,06} \times \text{ml/m}^3$$

$$\text{ml/m}^3 = \frac{24,06}{\text{Molmasse}} \times \text{mg/m}^3$$

24,06 l = Molvolumen bei 20°C (293 K) und 760 Torr (1013,25 mbar, 101325 Pa).

Wird bei Feststoffen ein MAK-Wert in ml/m<sup>3</sup> angegeben, so gilt dieser für die

gasförmige Phase; der Wert in mg/m<sup>3</sup> gilt dabei sowohl für die gasförmige als auch für die feste Phase (Staub).

### 1.9.3 Stoffe, die gleichzeitig als Dampf und Aerosol vorliegen können

Stoffe mit einem geringen Dampfdruck können bei Raumtemperatur sowohl als Dampf als auch als Aerosol auftreten. Der Siedepunkt dieser Stoffe liegt normalerweise zwischen 180°C und 350°C. Solche Substanzen können als Dampf- und Aerosolgemische beim Bearbeiten von Metallen und Keramiken, bei Tauchverfahren in der Galvanik, bei Sprühverfahren, bei der Heissverarbeitung von Bitumen, beim Laserschweißen und anderen Prozessen auftreten. Dies ist bei der Messung und Beurteilung solcher Stoffe zu berücksichtigen.

Gemäss prDIN EN 13936 sollte bei Substanzen, welche bei Raumtemperatur einen Dampfdruck von weniger als 100 Pa und mehr als 0,001 Pa aufweisen, in einem Probenahmesystem gleichzeitig Dampf und Aerosol bestimmt werden. Am geeignetsten sind Probenahmesysteme, bei welchen Aerosole und Dämpfe gemeinsam gesammelt werden und der Aerosolanteil als einatembare Fraktion erfasst wird. Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung empfiehlt sich dies auch für Stoffe, bei welchen sich der MAK-Wert nur auf die alveolengängige Fraktion bezieht, da die alveolengängige Fraktion an Arbeitsplätzen in der Regel nicht erfasst werden kann.

Bei Stoffen, welche gleichzeitig als Dampf und Aerosol vorliegen können, findet sich in der Grenzwertliste eine entsprechende Bemerkung.

# 2 Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte (BAT-Werte)

## 2.1 Vorbemerkungen

### 2.1.1 Arbeitsmedizinische Vorsorge und Biomonitoring

Die Überwachung der Arbeitsplatzverhältnisse anhand von Raumluftmessungen und die Beurteilung anhand der MAK-Werte wird ergänzt durch die arbeitsmedizinische Überwachung. Diese besteht in klinischen Untersuchungen (Eintrittsuntersuchungen, periodische Kontrolluntersuchungen, nachgehende Untersuchungen) sowie Bestimmungen geeigneter Laborparameter zur möglichst frühzeitigen Erkennung der toxischen Wirkung eines Stoffes (Biomonitoring). Zudem kann durch die arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen auch eine erhöhte Gesundheitsgefährdung durch nicht mit der beruflichen Arbeit im Zusammenhang stehende Krankheiten erkannt werden. Die arbeitsmedizinische Vorsorge wird gemäss der Verordnung des Bundesrates über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV) durch die Abteilung Arbeitsmedizin der Suva in Zusammenarbeit mit praktizierenden Ärztinnen und Betriebsärzten durchgeführt.

Die Beurteilung einer Exposition gegenüber chemischen Arbeitsstoffen kann aufgrund der Raumluftmessungen im Atembereich (Ambient Monitoring) oder der biologischen Überwachung (Biological Monitoring) erfolgen. Durch die Messung der Konzentration eines Arbeitsstoffes in der Raumluft im Atembereich wird die Umgebungsexposition erfasst. Die Bewertung der Situation am Arbeitsplatz erfolgt durch den Vergleich der gemessenen Expositionen mit den Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationswerten (MAK-Werten). Die biologische Überwachung stellt die Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmenden gegenüber chemischen Arbeitsstoffen durch die Bestimmung von Arbeitsstoffen oder von Metaboliten dieser Arbeitsstoffe (Belastungsparameter) im biologischen Material dar, resp. die Bestimmung eines biologischen Indikators, welcher eine Reaktion im Organismus gegenüber den chemischen Arbeitsstoffen anzeigt (Beanspruchungsparameter). Die gesundheitliche Gefährdung kann durch den Vergleich der gemessenen Werte der biologischen Parameter mit den Biologischen Arbeitsstofftoleranzwerten (BAT-Werte) beurteilt werden.

### 2.1.2 Definition des BAT-Wertes

**Der BAT-Wert (Biologischer Arbeitsstofftoleranzwert)** beschreibt die arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleitete Konzentration eines Arbeitsstoffes, seiner Metaboliten oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material, bei dem im Allgemeinen die Gesundheit eines 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 Arbeitsstoffes. Dabei orientiert sich die Ableitung des BAT-Wertes an den mittleren inneren Expositionen.

Der BAT-Wert ist überschritten, wenn bei mehreren Untersuchungen einer Person die mittlere Konzentration des Parameters oberhalb des BAT-Wertes liegt; Messwerte oberhalb des BAT-Wertes müssen arbeitsmedizinisch-toxikologisch bewertet werden. Aus einer alleinigen Überschreitung des BAT-Wertes kann nicht notwendigerweise eine gesundheitliche Beeinträchtigung abgeleitet werden. Dies gilt nicht für Stoffe, bei denen der BAT-Wert als Höchstwert im Einzelfall nicht überschritten werden darf. In diesem Fall wird beim entsprechenden Stoff in der Kolonne «Bemerkungen» ein **T** angefügt.

äusserer und innerer Belastung resp. Beanspruchung hergeleitet.

Die BAT-Werte gelten für eine Belastung für einen reinen Arbeitsstoff. Liegt eine Exposition gegenüber zwei oder mehreren Arbeitsstoffen vor, müssen die Resultate im Einzelfall aufgrund der Kenntnis der toxikokinetischen Gegebenheiten und der Interaktionen der entsprechenden Arbeitsstoffe erfolgen.

Die biologische Überwachung kann je nach Situation ergänzend zur Raumluftmessung oder allein eingesetzt werden. Durch die Beurteilung der inneren Exposition kann die biologische Überwachung sämtliche Expositionswege, d. h. auch eine zusätzliche Aufnahme durch die Haut oder den Magen-Darm-Trakt sowie eine höhere Aufnahme bei körperlicher Arbeit durch ein vermehrtes Atemminutenvolumen miterfassen. Es werden sämtliche Expositionsquellen erfasst, also auch solche aus dem Privat- und Umweltbereich. Zusätzlich kann die Effizienz von persönlichen Schutzmassnahmen überprüft werden. Diese Faktoren bewirken, dass die innere Belastung resp. Beanspruchung der Mitarbeitenden nicht in jeder Arbeitsplatzsituation streng mit der äusseren Belastung, welche anhand der Raumluftmessung beurteilt wird, korreliert.

### 2.1.3 Erläuterungen

Voraussetzung für die Festsetzung eines BAT-Wertes sind ausreichende arbeitsmedizinische, toxikologische und toxikokinetische Erfahrungen mit dem entsprechenden Arbeitsstoff. BAT-Werte werden aufgrund der Korrelation zwischen biologischen Messwerten und gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Arbeitnehmenden oder von den Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationswerten (MAK-Werte) aus der Korrelation zwischen

Im Allgemeinen entbindet die Einhaltung von BAT-Werten den Arbeitgeber nicht von einer Überwachung der Raumluftexpositionen von Arbeitsstoffen, vor allem bei Arbeitsstoffen mit toxisch irritativer Wirkung auf Haut, Konjunktiven sowie Schleimhäute der Atemwege.

Vor allem bei den mit N, Q, X und T bezeichneten BAT-Werten muss die Interpretation unter Berücksichtigung dieser Faktoren erfolgen.



Die Resultate der biologischen Analysen müssen durch Fachleute beurteilt und interpretiert werden. Die allgemeinen Vorbemerkungen im Kap. 1, Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte (MAK-Werte), und die Bemerkungen für die einzelnen Arbeitsstoffe in der Liste der MAK-Werte sind in jedem Falle mitzubeachten. Die Bestimmungen des Datenschutzes müssen eingehalten werden.

#### 2.1.4 Aufbau der Liste der BAT-Werte

Bei jedem Arbeitsstoff ist die Auswahl von Parametern aufgeführt, die in der Praxis häufig verwendet werden und für welche ausreichende arbeitsmedizinische und toxikologische Erfahrungen vorliegen. Für weitere Parameter wird auf die Literatur verwiesen. Das für die Bestimmung des Parameters notwendige oder empfohlene Untersuchungsmaterial (Urin; Vollblut; Erythrozyten; Plasma oder Serum; Alveolarluft) wird angegeben. Da der Zeitpunkt der Probennahme für die Beurteilung vieler Parameter wesentlich ist, sind unter der Rubrik Probennahmezeitpunkt die notwendigen Angaben aufgelistet. Für Arbeitsstoffe mit sehr langer Halbwertszeit und Akkumulation im Organismus über Jahre, besteht keine Beschränkung für den Probennahmezeitpunkt. Für Parameter mit kürzeren Halbwertszeiten wird der Probennahmezeitpunkt angegeben (vor nachfolgender Schicht, d.h. nach über 15 Stunden ohne Exposition; am Schichtende, d.h. im Allgemeinen innerhalb von 2 Stunden nach Expositionsende; in gewissen Situationen bei Langzeitexpositionen nach mehreren vorangehenden Schichten, d.h. im Allgemeinen nach 4 bis 5 Arbeitsschichten).

#### Untersuchungsmaterial

- B Vollblut
- E Erythrozyten
- U Urin
- A Alveolarluft
- P/S Plasma/Serum

#### Probennahmezeitpunkt

- a keine Beschränkung
- b Expositionsende, bzw. Schichtende
- c bei Langzeitexposition: nach mehreren vorangegangenen Schichten
- d vor nachfolgender Schicht

In der Stoffliste werden folgende zusätzliche Bemerkungen geführt:

#### N Nicht spezifischer Parameter

Die mit «N» gekennzeichneten biologischen Parameter sind nicht für den aufgeführten Arbeitsstoff spezifisch, sondern können auch nach Expositionen gegenüber bestimmten anderen Arbeitsstoffen im biologischen Material gemessen werden. In der Praxis hat sich die Bestimmung dieser Stoffe jedoch bewährt. Bei speziellen Problemen empfiehlt sich zusätzlich die Bestimmung eines spezifischen Parameters.

#### Q Quantitative Interpretation schwierig

Bei den mit «Q» gekennzeichneten biologischen Parametern ist die exakte quantitative Interpretation schwierig. Als Screening-Test kann der biologische Parameter verwendet werden, ebenfalls als Zusatzuntersuchung nach der Bestimmung nicht spezifischer Parameter (N).

#### X Umwelteinflüsse

Die mit «X» gekennzeichneten biologischen Parameter werden auch in unterschiedlicher Quantität bei beruflich Nichtexponierten gemessen, da sie zusätzlich auf Umwelteinflüsse zurückgeführt werden können. Die Festsetzung des BAT-Wertes berücksichtigt bei diesen Parametern auch die Einflüsse von Umweltfaktoren.

### **P Provisorische Festlegung**

Die BAT-Werte für diesen biologischen Parameter sind aus verschiedenen Gründen noch nicht definitiv festgelegt.

### **T Akuttoxischer Effekt**

Bei den mit «T» gekennzeichneten Stoffen gilt der BAT-Wert als Höchstwert im Einzelfall und darf nicht überschritten werden.

### **# Kanzerogene mit Schwellenwert**

Bei Kanzerogenen, bei welchen der BAT-Wert mit einer #-Notation versehen ist, besteht kein relevanter Beitrag zum Krebsrisiko bei Einhalten des BAT-Werts.

## **2.1.5 BAT-Werte von Arbeitsstoffen mit der Einstufung «krebserzeugend» C1<sub>A</sub> und C1<sub>B</sub>**

Für die Beurteilung der Exposition gegenüber krebserzeugenden Arbeitsstoffen mit der Einstufung C1<sub>A</sub> und C1<sub>B</sub> wird auf das Kapitel 1.3 verwiesen. Die BAT-Werte krebserzeugender Arbeitsstoffe unterliegen den gleichen Einschränkungen wie die MAK-Werte der krebserzeugenden Stoffe. Bei krebserzeugenden Stoffen mit Schwellenwert ist bei Einhalten des BAT-Wertes nicht von einer erhöhten Krebsgefährdung auszugehen, sofern der Schwellenwert im entsprechenden biologischen Material bekannt ist. Stoffe, bei welchen bei Einhalten des BAT-Wertes kein oder kein wesentlicher Beitrag zum Krebsrisiko besteht, werden in der Kolonne «Bemerkungen» der BAT-Liste mit einem #-Zeichen versehen.

## **2.1.6 Analytische Überwachung**

Die verwendeten Analysemethoden sollen richtige und präzise Ergebnisse liefern. Die Laboratorien, welche die Analysen durchführen, müssen für eine statistische Qualitätssicherung, die auf internen und externen Qualitätskontrollen beruhen, sorgen. Die Unterlagen für die Qualitätskontrollen wird bei den Laboratorien aufbewahrt; den zuständigen Durchführungsorganen der Arbeitssicherheit muss Einsicht in die Unterlagen der Qualitätskontrolle gewährt werden.

# 3 Physikalische Einwirkungen

## 3.1 Ionisierende Strahlen

Die höchstzulässigen Bestrahlungsdosen durch Einwirkung ionisierender Strahlen von aussen oder durch Einwirkung

inkorporierter radioaktiver Stoffe im Körper sind durch das Strahlenschutzgesetz vom 22. März 1991 und die Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017 geregelt.

**Tabelle 1**

F ( $\lambda$ ) bedeutet, dass die maximale Leistung von der Wellenlänge  $\lambda$  abhängig ist und der Norm entnommen werden muss.

Klasse	Wellenlängenbereich (nm)	Maximale Leistung	Gefährdung
1	alle	F ( $\lambda$ )	Ungefährlich (eigensicher)
1 M	alle	F ( $\lambda$ )	Können gefährlich sein, wenn ein optisches Instrument (Mikroskop, Fernglas) verwendet wird. Eine Brille gilt hier nicht als optisches Instrument.
1C	alle	je nach Anwendung	Die emittierte Leistung entspricht der Klasse 3R, 3B oder 4. Laser der Klasse 1C emittieren nur in Kontakt mit einer Oberfläche Strahlung. Die Strahlfreigabe muss durch eine oder mehrere Sicherheitseinrichtungen überwacht sein. Damit wird eine Gefährdung der Augen verhindert.
2	400–700 (nur sichtbar)	1 mW	Der natürliche Augenschliessreflex schützt das Auge vor unzulässiger Bestrahlung. Wird absichtlich in den Strahl geblickt, kann die Netzhaut geschädigt werden.
2 M	400–700 (nur sichtbar)	1 mW	Können gefährlich sein, wenn ein optisches Instrument verwendet wird. Der Augenschliessreflex schützt ungenügend.
3R	400–700	5 mW	Können auch ohne ein optisches Instrument die Netzhaut schädigen.
	übrige	5 x Klasse 1	
3 B	alle	500 mW	Strahl und spiegelnde Reflexionen können auch bei kurzer Einwirkzeit Augenschäden verursachen.
4	alle	unbegrenzt	Strahl und Reflexionen (evtl. auch diffuse) gefährden in hohem Masse Augen und Haut. Durch deren Einwirkung auf gewisse Materialien können gesundheitsgefährdende Stoffe freigesetzt und Brände entfacht werden.

## 3.2 Nichtionisierende Strahlen

### 3.2.1 Laser

Für sämtliche Laser gilt die Europäische Norm SN EN 60825-1. Aufgrund der Gefährdung der zugänglichen Strahlung werden Laser in die verschiedenen Laserklassen 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B und 4 eingeteilt und gekennzeichnet (Tab. 1). Anhand der Laserklasse sind entsprechende Massnahmen für den sicheren Umgang am Arbeitsplatz zu treffen. Für die Datenübertragung mittels Lichtwellenleiter gilt die Norm SN EN 60825-2. Weitere Informationen gibt die Broschüre «Achtung Laserstrahl» unter [www.suva.ch/66049.d](http://www.suva.ch/66049.d).

### 3.2.2 Ultraviolett

Wellenlängenbereich 180 bis 400 nm.

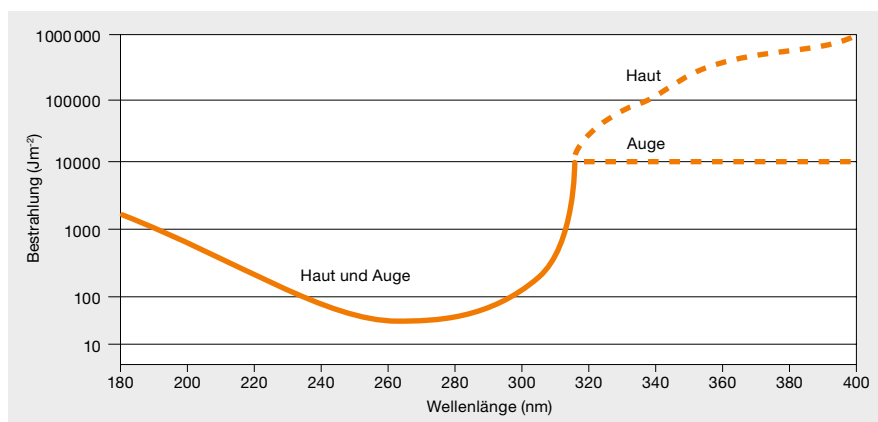
Die Werte der zulässigen UV-Bestrahlung für das Auge oder die Haut sind anwendbar für Strahlenquellen wie Bogenlampen, Gas- oder Dampfentladungslampen, Fluoreszenz- und Glühlampen, Sonnenstrahlung. Sie sind anwendbar für

kontinuierliche Bestrahlung, deren Dauer nicht kürzer als 0,1 s ist. Für Laser gelten die speziellen Vorschriften unter 3.2.1.

Photosensible Personen (durch Veranlagung oder durch bestimmte Stoffe und Medikamente sensibilisiert) sind möglicherweise auch beim Einhalten dieser Empfehlung ungenügend geschützt; dies gilt auch für Personen mit Operation des grauen Stars in Bezug auf die zulässige UV-Bestrahlung der Augen.

Bei schmalbandigen, monochromatischen UV-Strahlenquellen kann der ermittelte Bestahlungswert direkt mit der zulässigen Bestrahlung bei der entsprechenden Wellenlänge (Tab. 2) verglichen werden. Für breitbandige UV-Strahler oder, wenn ein Gemisch von monochromatischen UV-Strahlungskomponenten vorliegt, muss zuerst die effektive Bestrahlungsstärke berechnet werden. Damit wird der Bezug zur Referenzwellenlänge von 270 nm hergestellt.

$$E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} \cdot s_{\text{rel}} \cdot \Delta\lambda$$



Figur 1: UV-Bestrahlungs-Grenzwerte innerhalb von 8 Stunden (Arbeitsdag). Grafische Darstellung der Bestahlungsgrenzwerte aus Tabelle 2.

**Tabelle 2**UV-Bestrahlungs-Grenzwerte innerhalb von 8 Stunden (Arbeitstag), relative spektrale Wirksamkeit  $S_{\text{rel}}$ .

Haut und Auge			Haut			Auge	
Wellenlänge	Bestrahlungs-Grenzwert	relative spektrale Wirksamkeit	Wellenlänge	Bestrahlungs-Grenzwert	relative spektrale Wirksamkeit	Bestrahlungs-Grenzwert	relative spektrale Wirksamkeit
(nm)	(J·m <sup>-2</sup> )	(-)	(nm)	(J·m <sup>-2</sup> )	(-)	(J·m <sup>-2</sup> )	(-)
180	2500	0.012	315	10000	0.003	10000	0.003
190	1600	0.019	316	13000	0.0024		
200	1000	0.030	317	15000	0.0020		
205	590	0.051	318	19000	0.0016		
210	400	0.075	319	25000	0.0012		
215	320	0.095	320	29000	0.0010		
220	250	0.120	322	45000	0.00067		
225	200	0.150	323	56000	0.00054		
230	160	0.190	325	60000	0.00050		
235	130	0.240	328	68000	0.00044		
240	100	0.300	330	73000	0.00041		
245	83	0.360	333	81000	0.00037		
250	70	0.430	335	88000	0.00034		
254	60	0.500	340	110000	0.00028		
255	58	0.520	345	130000	0.00024		
260	46	0.650	350	150000	0.00020		
265	37	0.810	355	190000	0.00016		
270	30	1.000	360	230000	0.00013		
275	31	0.960	365	270000	0.00011		
280	34	0.880	370	320000	0.000093		
285	39	0.770	375	390000	0.000077		
290	47	0.640	380	470000	0.000064		
295	56	0.540	385	570000	0.000053		
297	65	0.460	390	680000	0.000044		
300	100	0.300	395	830000	0.000036		
303	250	0.120	400	1000000	0.000030	10000	0.003
305	500	0.060					
308	1200	0.026					
310	2000	0.015					
313	5000	0.006					
315	10000	0.003					

wobei

$E_{\text{eff}}$  = wirksame Bestrahlungsstärke  
bezogen auf eine monochromatische Strahlung von  
270 nm [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$E_{\lambda}$  = spektrale Bestrahlungsstärke bei  
der Wellenlänge  $\lambda$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ]

$S_{\text{rel}}$  = relative spektrale Wirksamkeit  
der Strahlung bei der Wellenlänge  
 $\lambda$  [-] (Tabelle 2)

$\Delta\lambda$  = Bandbreite [nm]

Die maximal zulässige Bestrahlungsdauer in Sekunden pro Arbeitstag kann berechnet werden, indem die maximal zulässige Bestrahlung für die Referenzwellenlänge 270 nm pro 8-Stunden-Arbeitstag, gemäss Tabelle 2 beträgt diese  $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ , durch die berechnete effektive Bestrahlungsstärke  $E_{\text{eff}}$  dividiert wird.

$$t_{\text{max. 8h}} [\text{s}] = \frac{30 [\text{J} \cdot \text{m}^{-2}]}{E_{\text{eff}} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]}$$

### 3.2.3 Visuelle und Infrarotstrahlung (inkohärent)

Wellenlängenbereich 300 bis 1400 nm.

Es gelten die Grenzwerte der Publikation «ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation (Health Physics 105(1):74-91;2013)» der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP).

Quellen, die inkohärente visuelle und Infrarotstrahlung aussenden, sind an jedem Arbeitsplatz anzutreffen. In den meisten Fällen sind sie harmlos.

Die folgenden Quellen halten die oben erwähnten Grenzwerte ein und gelten deshalb im bestimmungsgemässen Gebrauch als sicher (Europäische Kommission 2011: «Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung» [S. 15]):

- Deckenbeleuchtungen
- Computerbildschirme
- Flutlicht mit Energiesparlampen

**Tabelle 3**

Quelle	Sicherer Einsatz unter folgenden Umständen
Deckenbeleuchtung mit Leuchtstofflampen ohne Diffusor	Sicher bei normaler Beleuchtungsstärke (ca. 600 lx)
Halogen-Metaldampf-/Quecksilberhochdruck-Flutlicht	Sicher, sofern vordere Glasabdeckung intakt und Strahlung nicht in Sichtlinie
Beamer	Sicher, sofern nicht direkt in den Strahl geblickt wird
Niederdruck-UVA-Strahler (Schwarzlicht)	Sicher, sofern Strahlung nicht in Sichtlinie
Jegliches Produkt der Risikogruppe 0 und 1 gemäss EN 62471	Sicher, sofern Strahlung nicht in Sichtlinie; evtl. nicht sicher, wenn Abdeckung entfernt wird
Fahrzeugscheinwerfer	Sicher, sofern ein längerer Direktblick in die Strahlung vermieden wird
Starker Fotoblitz	Sicher, sofern nicht direkt in den Strahl geblickt wird

- Glühlampen
- LED-Anzeigen
- Fahrzeugblink- und Rückfahrlichter, Brems- und Nebelleuchten
- gasbetriebene Deckenheizstrahler
- Strassenbeleuchtungen

Die Tabelle 3 beschreibt die Umstände unter denen die jeweiligen Quellen wahrscheinlich kein Gesundheitsrisiko darstellen (Europäische Kommission 2011: «Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung» [S. 15]).

Bei Lampen, die in Tabelle 3 nicht erwähnt sind oder die nicht in sicherer Form verwendet werden, gibt die zugeordnete Risikogruppe Auskunft über deren Gefährlichkeit (siehe Tabelle 4). Sämtliche eingesetzten Leuchtmittel müssen durch den Lieferanten gemäss der Norm SN EN 62471:2008 (Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen) einer dieser Risikogruppen zugeordnet werden. Die Gefährdung nimmt mit steigender Risikogruppe zu.

Vorsicht ist geboten bei Quellen, die Blendungen verursachen, insbesondere wenn die Arbeitsweise verlangt, dass man häufig in die Quelle blicken muss.

In diesen Fällen sind weitere Abklärungen nötig.

### 3.2.4 Elektromagnetische Felder

Frequenzbereich: statische Felder (0Hz) bis 300GHz.

Die Grenzwerte (Tabelle 5) gelten für Situationen, wo der ganze Körper dem elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist. Sie sind für den unbesetzten Arbeitsplatz definiert, da durch die Anwesenheit einer Person insbesondere die elektrische Feldstärke stark beeinflusst wird. Sie gelten beispielsweise für Arbeitsplätze im Bereiche von Elektromagneten, Magnetresonanztomographen, Transformatoren, Induktionsschmelzöfen, HF-Schweissanlagen, HF-Trocknungsanlagen, industriellen Mikrowellenöfen. Sie sind auch anwendbar für Beschäftigte in der Energieerzeugung und -Verteilung (Bahnen, Elektrizitätswerke, Industrie) und an Sendeanlagen.

Um sicher zu stellen, dass die Basisgrenzwerte nach ICNIRP eingehalten sind, dürfen im statischen und niederfrequenten Bereich die Felder zu keinem Zeitpunkt die Grenzwerte nach Tabelle 5 übersteigen.

**Tabelle 4**

Risikogruppe	Beschreibung
Risikogruppe 0 (freie Gruppe)	Diese Lampen stellen im Sinne der Kriterien der Norm keine Gefahr dar.
Risikogruppe 1 (geringes Risiko)	Diese Lampen stellen bei normalem Gebrauch keine Gefahr dar.
Risikogruppe 2 (mittleres Risiko)	Diese Lampen stellen aufgrund von Abwenderaktionen wegen Blendung durch helle Lichtquellen oder wegen thermischer Unbehaglichkeit keine Gefahr dar.
Risikogruppe 3 (grosses Risiko)	Diese Lampen stellen sogar bei kurzzeitiger Bestrahlung eine Gefahr dar.

Für den Nahbereich von medizinischen Magnetresonanztomografen muss der Arbeitgeber eine Risikoanalyse durchführen und Schutzmassnahmen festlegen. Bei modulierten und gepulsten HF-Feldern soll eine mittlere Leistungsdichte über eine repräsentative Periode von 6 Min. bestimmt werden. Die Spitzenwerte von kurzen HF-Impulsen (Radar) sollen den 1000-fachen Wert der Leistungsdichte P nach Tabelle 5 nicht übersteigen.

Diese Grenzwerte sollen Personen am Arbeitsplatz vor direkter thermischer Gefährdung durch Hochfrequenz-Felder sowie Belästigungen durch niederfrequente und statische Felder schützen. Es ist möglich, dass beim Berühren von ausgedehnten Metallstrukturen trotzdem belästigende Empfindungen wahrgenommen werden. In solchen Fällen soll mit selektiver Erdung oder Isolation dieser Strukturen Abhilfe geschaffen werden, bis der Berührungstrom ( $I_{ber}$ ) genügend gering ist und keine Belästigung mehr auftritt (0–2,5 kHz:  $I_{ber} < 1 \text{ mA}$ ).

**Tabelle 5**

Grenzwerte (Effektivwerte) für ausgewählte Industriefrequenzen; f = Frequenz, H = magnetische Feldstärke, B = magnetische Flussdichte, E = elektrische Feldstärke, P = Leistungsdichte

<sup>1)</sup> bei dieser Frequenz nicht relevant

<sup>2)</sup> Für spezielle Anwendungen können Expositionen bis zu 8000 mT gerechtfertigt werden, wenn die Umgebung kontrolliert wird und entsprechende Verhaltensmassnahmen zur Vermeidung von bewegungsinduzierten Effekten getroffen werden.

f	H (kA/m)	B (mT)	E (kV/m)	P (W/m <sup>2</sup> )
statisch	1600 6400	2000 (für Kopf und Rumpf) <sup>2)</sup> 8000 (für Glieder) <sup>2)</sup>	40	<sup>1)</sup>
f (Hz)	H (A/m)	B (μT)	E (V/m)	P (W/m <sup>2</sup> )
16 <sup>2)</sup> <sub>3</sub>	1200	1500	20	<sup>1)</sup>
50	400	500	10	<sup>1)</sup>
400	50	62,5	1,25	<sup>1)</sup>
30 000	24,4	30,7	0,61	<sup>1)</sup>
f (MHz)	H (A/m)	B (μT)	E (V/m)	P (W/m <sup>2</sup> )
13,56	0,16	0,20	61	10
27,12	0,16	0,20	61	10
40,68	0,16	0,20	61	10
433,92	0,17	0,21	62,5	11
900	0,24	0,30	90	22,5
1800	0,34	0,42	127	45
2450	0,36	0,45	137	50
5800	0,36	0,45	137	50
24 125	0,36	0,45	137	50



Personen mit Herzschrittmachern oder anderen elektromedizinischen Hilfsgeräten sind möglicherweise auch beim Einhalten dieser Grenzwerte ungenügend geschützt. In solchen Fällen ist eine besondere Abklärung erforderlich.

Durch das Einhalten dieser Grenzwerte wird nicht sichergestellt, dass bestimmte EM-sensible Geräte wie Navigationsgeräte, Bildschirme, Elektronenmikroskope, Analysengeräte, Radioempfangsgeräte ungestört bleiben. Auch können elektroexplosive Vorrichtungen gezündet oder Explosionen durch Funkenbildung ausgelöst werden. Es können erhebliche Störungen auftreten, die eventuell auch zu sekundärer Gefährdung führen könnten. Dies ist jedoch Gegenstand von speziellen Vorschriften insbesondere über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) von technischen Einrichtungen und Geräten. (Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit, SR 734.5).

Die Grenzwerte für die **statischen Magnetfelder** in der Tabelle 5 entsprechen den Referenzwerten für den Arbeitsplatz (Occupational) der Richtlinie über die Begrenzung der Immissionen magnetischer Felder (0 Hz) der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP-Guidelines 2009, Health Physics 96(4), 504-514).

Die Grenzwerte für die **Wechselfelder** in der Tabelle 5 entsprechen den Referenzwerten für den Arbeitsplatz (Occupational) der Richtlinie über die Begrenzung der Immissionen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Wechselfelder (bis 300 GHz) der Internationalen

Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP-Guidelines 1998, Health Physics 74, 494-522).

Für den Schutz bei **Schwangerschaft und Mutterschaft** müssen die Grenzwerte der Verordnung des WBF über gefährliche und beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschutz eingehalten werden (s. Anhang 1 zu Art. 12 Abs. 3 der Mutterschutzverordnung).

Für den Schutz der **allgemeinen Bevölkerung** («Public Health») und die Raumplanung gilt die Verordnung über den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (NISV) SR 814.710.

### 3.3 Schall und Vibrationen

Die **Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz** erfolgt gemäss der Norm SN EN ISO 9612. Typische Lärmexpositionen an Arbeitsplätzen finden sich in den Schallpegeltabellen unter [www.suva.ch/86005.d](http://www.suva.ch/86005.d). Nähere Angaben über die zu treffenden Schutzmassnahmen sind im Informationsblatt «Akustische Grenz- und Richtwerte» unter [www.suva.ch/86048.d](http://www.suva.ch/86048.d) und in der Checkliste «Lärm am Arbeitsplatz» unter [www.suva.ch/67009.d](http://www.suva.ch/67009.d) zu finden.

Die **Messung und Beurteilung von Vibrationsbelastungen** erfolgt gemäss den Normen ISO 5349 (Hand-Arm-Vibrationen) und ISO 2631 (Ganzkörper-Vibrationen). Typische Vibrationsbelastungen an Arbeitsplätzen, Maschinen und Geräten stehen in den Vibrationstabellen unter [www.suva.ch/86705.m](http://www.suva.ch/86705.m). Die zu treffenden Schutzmassnahmen und weitere Informationen sind in der Publikation «Risikofaktor Vibrationen» dargestellt unter [www.suva.ch/44089.d](http://www.suva.ch/44089.d).

#### 3.3.1 Dauerschall (Lärm)

Erreicht oder überschreitet der auf einen Arbeitstag bezogene Lärmexpositionspegel  $L_{EX}$  den Wert von 85 dB(A) (Auslösewert), sind Lärmschutz-Massnahmen zu treffen.

Der auf ein Arbeitsjahr bezogene Lärmexpositionspegel  $L_{EX, 2000h}$  muss unter 85 dB(A) liegen (Expositions-Grenzwert).

#### 3.3.2 Impulsartiger Schall

Erreichen Schallereignisse einen Schall-druckspitzenpegel  $L_{peak}$  von 135 dB(C) (Auslösewert), sind Lärmschutzmassnahmen zu treffen.

Bei solchen Schallereignissen darf der über eine Stunde aufsummierte Schall-expositionspegel  $L_E$  höchstens 120 dB(A) erreichen (Expositions-Grenzwert).

#### 3.3.3 Ultraschall

Ultraschall von 20 kHz bis 100 kHz verursacht nach heutigem Stand des Wissens keine Schädigung, wenn in diesem Frequenzbereich der Maximalpegel  $L_{Fmax}$  unter 140 dB und der auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene äquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  unter 110 dB liegen<sup>13</sup>.

#### 3.3.4 Infraschall

Infraschall von 2 Hz bis 20 Hz verursacht nach heutigem Stand des Wissens keine Gehörschädigung, wenn in diesem Frequenzbereich der Maximalpegel  $L_{Fmax}$  unter 150 dB und der auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene äquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  unter 135 dB liegen<sup>13</sup>.

Störungen des Wohlbefindens können auftreten, wenn äquivalente Dauerschall-pegel  $L_{eq}$  von 120 dB überschritten werden.

<sup>13</sup> Schallpegel von Ultraschall und Infraschall sind ohne Frequenzbewertung (linear) zu messen.

### 3.3.5 Hand-Arm-Vibrationen

Erreicht oder überschreitet die auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene Vibrationsbelastung  $A(8)$  den Wert von  $2.5 \text{ m/s}^2$  (Auslösewert), sind Massnahmen zu treffen und es ist eine vertiefte Risiko- beurteilung durchzuführen.

Die auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene Vibrationsbelastung  $A(8)$  soll  $5 \text{ m/s}^2$  nicht überschreiten (Expositions- Grenzwert).

### 3.3.6 Ganzkörper-Vibrationen

Erreicht oder überschreitet die auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene Vibrationsbelastung  $A(8)$  den Wert von  $0.5 \text{ m/s}^2$  (Auslösewert), sind Massnahmen zu treffen und es ist eine vertiefte Risiko- beurteilung durchzuführen.

Die auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezogene Vibrationsbelastung  $A(8)$  soll  $1.15 \text{ m/s}^2$  nicht überschreiten (Expositions- Grenzwert).

## 3.4 Hyperbare Umgebung

In gewissen Arbeitssituationen können Mitarbeitende einem äusseren Über- druck ausgesetzt sein. In erster Linie handelt sich hierbei um Bauarbeiten in Druckluft, wenn der Überdruck höher als  $0,1 \text{ bar}$  ist, oder um Taucherarbeiten, wenn sich der Taucher – ausgerüstet mit einer Taucherausrüstung – unter der Wasseroberfläche befindet. Über die Auswirkungen von Arbeitsstoffen auf den menschlichen Körper, der sich in hyper- barer Umgebung aufhält, ist noch wenig bekannt. Trotzdem kann man aufgrund theoretischer Überlegungen Empfehlun- gen abgeben. Es handelt sich hierbei aber nicht um medizinisch gesicherte Fakten. Diesem Umstand ist bei der Risi- kobeurteilung Rechnung zu tragen.

Bei den Empfehlungen unterscheidet man einerseits zwischen gas- und dampfförmigen Stoffen und andererseits zwischen Stäuben und Aerosolen.

### 3.4.1 Gas- und dampfförmige Stoffe

Steigt der Umgebungsdruck, so nimmt bei einer gas- oder dampfförmigen Substanz der Partialdruck proportional zur Änderung des Umgebungsdruckes zu, sofern der Anteil der Substanz an der Gesamtmenge Gas konstant bleibt. Da der Partialdruck in Beziehung mit der Zahl der Teilchen oder der Masse pro Volumen steht, ist eine Zunahme des Partialdrucks auch mit einer Erhöhung der Masse eines Stoffes pro Volumen vergesellschaftet. Damit sind Mitarbeitende in einer hyperbaren Umgebung den in der Umgebungsluft vorhandenen Substanzen, gegenüber der normobaren Umgebung, vermehrt ausgesetzt. Bei einem in ppm angegebenen MAK-Wert können Mitarbeitende deshalb einer unzulässig hohen Dosis eines Stoffes ausgesetzt sein, auch wenn die Konzentration dieses Stoffes – gemessen in ppm – den MAK-Wert nicht überschreitet. Der in ppm angegebene MAK-Wert muss also proportional zum Anstieg des absoluten Umgebungsdruckes gesenkt werden, damit die Masse pro Volumen nicht überschritten wird. Diese Extrapolation ist nicht nötig für MAK-Werte, welche in  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben sind. In der Praxis bedeutet dies, dass MAK-Werte, welche in ppm angegeben sind, umgerechnet werden müssen, während MAK-Werte, welche in  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben sind, unverändert angewendet werden können.

Als praktisches Beispiel sei n-Hexan aufgeführt, dessen MAK-Wert bei 500 kPa berechnet werden soll. n-Hexan ist ein gasförmiger Stoff, dessen MAK-Wert unter Normalbedingungen, also bei 101,3 kPa, 50 ppm ( $180 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) beträgt. Verfünffacht sich der Druck von 101,3 kPa

auf 500 kPa, so entsprechen 50 ppm n-Hexan  $900 \text{ mg}/\text{m}^3$ , also der fünffachen Masse pro Volumen. In der Folge muss der MAK-Wert in ppm um das Fünffache verringert werden. Nur so bleibt der Partialdruck konstant.

### 3.4.2 Stäube und Aerosole

Das physikalische Verhalten von Stäuben und Aerosolen ändert sich bei Änderungen des Umgebungsdruckes nicht, deshalb müssen die entsprechenden MAK-Werte bei Änderungen des Umgebungsdruckes nicht angepasst werden.

Detaillierte Angaben zu diesem Thema finden sich zum Beispiel im Dokument «Occupational exposure limits for hyperbaric conditions» (2000) der britischen «Health and Safety Executive» (HSE), welche in Grossbritannien wesentliche Teile des Arbeitsschutzes regelt. Eine schweizerische Verordnung zu Arbeiten in hyperbarer Umgebung ist in Bearbeitung.

### 3.5 Hitze (Infrarotstrahlung)

Eine Hitzearbeit gilt grundsätzlich als gesundheitsgefährdend, wenn die Körperkerntemperatur als unmittelbarer Beanspruchungsparameter im Verlaufe der Tätigkeit auf über ca. 38°C steigt. Die Hitzebeurteilung erfolgt anhand externer Belastungsfaktoren (Hitzebelastung) oder biologischer Beanspruchungsparameter (Hitzebeanspruchung). Sie erfordert besondere Kenntnisse in Arbeitshygiene und Arbeitsmedizin.

Zur **Beurteilung der Hitzebelastung** müssen sowohl Klimafaktoren am Arbeitsplatz (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung und Wärmestrahlung) als auch personenbezogene individuelle Belastungsfaktoren (Arbeitsschwere, Arbeitsdauer, Art der Bekleidung, Akklimatisierungsgrad etc.) berücksichtigt werden. Einfache Hitzemessungen am Arbeitsplatz können mit der WBGT-Methode (Wet-Bulb-Globe-Temperature Index) durchgeführt werden. Da in der individuellen Belastbarkeit grosse Unterschiede vorkommen, gibt es keine einfachen, allgemeingültigen Grenzwerte für die zulässige Hitzebelastung am Arbeitsplatz. Die Messung und Beurteilung von Hitzebelastungen sollte daher durch einen Arbeitshygieniker erfolgen. Als Beurteilungsgrundlagen können folgende Richtlinien verwendet werden:

- EN 27243: Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index sowie
- EN ISO 7726 Umgebungsklima-Instrumente zur Messung physikalischer Grössen.

Der Klimagrenzwert für Arbeiten im Untertagebau beträgt 28°C Trockentemperatur. Dieser Grenzwert ist in allen Hauptarbeitsbereichen, d. h. Bereichen in denen Mitarbeitende über längere Zeit arbeiten, auch als Stundenmittelwert einzuhalten. Durch technische Massnahmen, d. h. eine effiziente Kühlung, ist damit in allen Hauptarbeitsbereichen sowie auch in Arbeitsbereichen mit länger dauernden Tätigkeiten zu garantieren, dass eine Arbeitstemperatur von höchstens 28°C Trockentemperatur eingehalten wird. Wir verweisen auf die Publikation [www.suva.ch/2869-26.d](http://www.suva.ch/2869-26.d).

Zur **Beurteilung der Hitzebeanspruchung** kann die kontinuierliche Registrierung der Körpertemperatur (z. B. oral oder rektal), der Herzschlagfrequenz (z. B. Herzschlagfrequenzerhöhung gegenüber der Basalfrequenz oder Herzschlagfrequenzreserve) oder auch die Ermittlung der hitzebedingten Schweissproduktion herangezogen werden.

Die Beurteilung der Messresultate sollte durch einen Arbeitsarzt erfolgen.

Bei der **arbeitshygienisch-arbeitsmedizinischen Gesamtbeurteilung** ist vor allem die Notwendigkeit technischer und persönlicher Gesundheitsschutzmassnahmen sowie medizinischer Prophylaxemassnahmen (Eignungs- und Kontrolluntersuchungen) zu überprüfen.

# 4 Richtwerte für physische Belastungen

## 4.1 Vorbemerkungen

Bei der manuellen Handhabung von Lasten kann insbesondere eine Gefährdung der Lenden- und Halswirbelsäule entstehen. Als manuelle Handhabung von Lasten gilt jede Tätigkeit, die den Einsatz menschlicher Kraft zum Heben, Senken, Tragen oder zu anderen Tätigkeiten zur Bewegung oder zur Bewegungshemmung eines Gegenstandes erfordert.

Die gesundheitliche Gefährdung der Wirbelsäule hängt unter anderem von den Lastgewichten ab. Wichtige weitere Belastungsfaktoren sind beispielsweise Lasthöhe, Lastwinkel, horizontaler Lastabstand, Häufigkeit der Bewegung, Kraftaufwand, Hubhöhe, Belastungs- und Erholungszeit, Drehung/Seitwärtsneigung, Griffbedingungen und individuelle Faktoren. Bei den individuellen Faktoren sind Alter, Geschlecht, Körperbau, Körpergewicht, Kraft, Training, Erfahrung und physische Fitness zu berücksichtigen. Aus diesen Gründen können keine absoluten maximalen Lastgewichte definiert werden.

Für schwangere und stillende Mitarbeiterinnen wird auf die Verordnung 1 vom 10. Mai 2000 zum Arbeitsgesetz (ArGV1) und die Verordnung des EVD vom 20. März 2001 über gefährliche und

beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschaft (Mutterschutzverordnung) verwiesen.

Die Beurteilung der Beanspruchung durch die Manipulation von Lasten erfolgt anhand von methodenspezifischen Belastungsfaktoren. Generell können folgende Beurteilungsmethoden, Normen und Richtlinien im Sinne von «anerkannten sicherheitstechnischen und arbeitsmedizinischen Regeln» (Art. 3 VUV) herangezogen werden:

- Als Screeningmethode:
  - Leitmerkmalmethoden zum Heben und Tragen von Lasten (z. B.: Beurteilung der körperlichen Belastung: «Heben und Tragen von Lasten», [www.suva.ch/88190.d](http://www.suva.ch/88190.d))
  - Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten (Herausgeber: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik LASI)
- Als Beurteilungsmethoden für Spezialisten:
  - NIOSH-Gleichung (Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation; [www.cdc.gov/niosh/docs/94-110](http://www.cdc.gov/niosh/docs/94-110))
  - NF X 35-109 Manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer – Méthodologie d'analyse et valeurs seuils

- SN EN 1005-1 Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 1: Begriffe
- SN EN 1005-2 Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen
- SN EN 1005-3 Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung
- SN EN 1005-4 Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit von Maschinen
- SN EN 1005-5 Risikobeurteilung für kurzzyklische Tätigkeiten bei hohen Handhabungsfrequenzen
- ISO 11228-1 Ergonomics – Manual handling – Part 1: Lifting and carrying Ergonomie – Manuelles Handhaben von Lasten – Teil 1: Heben und Tragen
- Im Weiteren wird auf die Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) Art. 25 Lasten verwiesen
- Prüfmittel: Gesundheitsrisiken Bewegungsapparat mit dem zugehörigen Leitfaden Inspektions-Prüfmittel Gesundheitsrisiken Bewegungsapparat. (Diese Publikationen dienen gleichzeitig zum Überprüfen, ob die Anforderungen des Arbeitsgesetzes auch für andere Belastungen des Bewegungsapparates, insbesondere Zwangshaltungen und repetitive Tätigkeiten, eingehalten werden). Download als PDF unter [www.seco.admin.ch](http://www.seco.admin.ch).
- Für die Bewertung körperlicher Belastungen des Rückens durch Lastenhandhabung und Zwangshaltungen im Arbeitsprozess wird auf die

entsprechende Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM) verwiesen. ([www.dgaum.de](http://www.dgaum.de): Leitlinie Nr. 28)

## 4.2 Richtwert für Gewichte (Manipulation von Lasten)

Richtwerte für zumutbare Lastgewichte sind 25 kg für Männer und 15 kg für Frauen.

Bei regelmässigem Heben und Tragen (respektive Manipulationen) ist ab Lasten von 12 kg für Männer und 7 kg für Frauen eine Gefährdungsermittlung vorzunehmen.

## Das Modell Suva Die vier Grundpfeiler



Die Suva ist mehr als eine Versicherung; sie vereint Prävention, Versicherung und Rehabilitation.



Überschüsse gibt die Suva in Form von tieferen Prämien an die Versicherten zurück.



Die Suva wird von den Sozialpartnern geführt. Die ausgewogene Zusammensetzung des Suva-Rats aus Vertreterinnen und Vertretern von Arbeitgeberverbänden, Arbeitnehmerverbänden und des Bundes ermöglicht breit abgestützte, tragfähige Lösungen.



Die Suva ist selbsttragend, sie erhält keine öffentlichen Gelder.

### Suva

Postfach, 6002 Luzern

### Auskünfte

Tel. 058 411 12 12  
[grenzwerte@suva.ch](mailto:grenzwerte@suva.ch)

### Download

[www.suva.ch/1903.d](http://www.suva.ch/1903.d)

### Titel

Grenzwerte am Arbeitsplatz

Abdruck – ausser für kommerzielle  
Nutzung – mit Quellenangabe gestattet.  
Ausgabe: Januar 2026

### Publikationsnummer

1903.d (nur als PDF erhältlich)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Finanziert durch die EKAS  
[www.ekas.ch](http://www.ekas.ch)