

BGIA-Report 6/2008

Grenzwerteliste 2008

Sicherheit und Gesundheitsschutz
bei der Arbeit

Verfasser: Chemische Einwirkungen:
Wolfgang Pflaumbaum, Helmut Blome, Horst Kleine, Nadja von Hahn

Biologische Einwirkungen:
Annette Kolk

Physikalische Einwirkungen:
Martin Liedtke, Siegfried Fischer, Uwe Kaulbars, Thomas von der Heyden, Harald Siekmann, Detlef Schwaß,
Bert Aengenvoort, Fritz Börner, Helmut Zilligen, Markus Post, Olaf Mewes

BGIA – Institut für Arbeitsschutz der DGUV, Sankt Augustin

Verantwortlich f. d. Zusammenstellung: Helmut Blome, Wolfgang Pflaumbaum, BGIA – Institut für Arbeitsschutz der DGUV,
Sankt Augustin

Broschürenversand: info@dguv.de

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
Mittelstraße 51, D – 10117 Berlin
Telefon: 030 288763-800
Telefax: 030 288763-808
Internet: www.dguv.de
– 2., korrigierte Auflage (S. 67), Oktober 2008 –

Satz und Layout: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)

Druck: Druckerei Plump OHG, Rheinbreitbach

ISBN: 978-3-88383-739-0
ISSN: 0173-0387

Kurzfassung Grenzwerteliste 2008

Das BGIA – Institut für Arbeitsschutz hat in der „Grenzwerteliste 2008“ die wichtigsten Grenzwerte zu chemischen, biologischen und physikalischen Einwirkungen zusammengestellt, die für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz von Bedeutung sind. Die Grenzwerteliste enthält die Gefahrstoffgrenzwerte (Arbeitsplatzgrenzwert, AGW, und Biologische Grenzwerte, BGW) aus der TRGS 900 und 903 sowie die Einstufungen der TRGS 905 in einer Tabelle zusammengefasst sowie Grenzwerte und Beurteilungswerte für Innenräume, Lärm, Vibration, thermische Belastungen, Strahlung, Elektrizität, biomechanische Belastungen und Hinweise zu biologischen Einwirkungen.

Abstract Limit Value List 2008

The „2008 List of Limit Values“ issued by the BGIA – Institute for Occupational Safety and Health contains the most important limit values for chemical, biological and physical agents which have an impact on health and safety in the workplace. The list contains a table of the limit values for hazardous substances (occupational exposure limit value [AGW] and biological limit value [BGW]) from the following points in the technical code of practice on hazardous substances (TRGS) TRGS 900, TRGS 903 „biological limit value“ and also the classifications of TRGS 905. Also included are limit values for indoor air, noise, vibration, thermal stress tolerance, radiation, electricity, bio-mechanical stress tolerance and notes on the effects of biological agents.

Résumé

Liste des valeurs-limites 2008

Dans sa «Liste des valeurs limites 2008», le BGIA – Institut des Berufsgenossenschaften pour la sécurité au travail a établi les principales valeurs limites pour les actions chimiques, biologiques et physiques qui revêtent de l'importance pour la sécurité et la santé sur les emplacements de travail. La liste des valeurs limites regroupe dans un tableau les valeurs limites pour substances dangereuses (AGW, valeur limite d'exposition professionnelle et BGW, valeur limite biologique) issues de la TRGS^{*)} 900 et TRGS 903 ainsi que les classements de la TRGS 905 ainsi que les valeurs limites pour l'air intérieur, les bruits, les vibrations, les sollicitations thermiques, le rayonnement, l'électricité, les sollicitations biomécaniques et les remarques sur les actions biologiques.

Resumen

Lista de valores limite 2008

El BGIA – Instituto de las Berufsgenossenschaften para la Seguridad laboral ha reunido en la «Lista de valores máximos 2008» los valores máximos más significativos respecto de los efectos químicos, biológicos y físicos, de importancia para la higiene y seguridad del trabajo. La lista de valores máximos contiene una enumeración resumida de los valores máximos de sustancias nocivas (AGW [valor límite de exposición profesional] y BGW [valor límite biológico]) de TRGS 900^{*)} y TRGS 903 así como las clasificaciones de TRGS 905 así como los valores máximos para espacios interiores, ruido, vibraciones, agentes térmicos, radiación, electricidad, agentes biomecánicos y advertencias acerca de los efectos biológicos.

^{*)} TRGS signifie Règlements techniques pour les substance dangereuses

^{*)} TRGS: Normas técnicas para sustancias nocivas

Inhaltsverzeichnis

Seite

Einleitung	9
Chemische Einwirkungen	11
1 Gefahrstoffgrenzwerte (AGW, BGW)	11
1.1 Gefahrstoffliste mit Vorbemerkungen	11
Anhang 1: Biologische Grenzwerte (BGW)	104
Anhang 2: Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA)	107
1.2 Besondere Stoffgruppen	113
2 Gefahrstoffe in Innenräumen und in der Außenluft	115
2.1 Einführung und Erläuterungen	115
2.2 Tabelle der Beurteilungswerte der Gefahrstoffexposition in der Außen- und Innenluft	117
2.3 Spezielle Beurteilungswerte und Indikatoren für Innenraumarbeitsplätze	125
2.3.1 Stäube	125
2.3.2 Kohlendioxid	126
2.3.3 Ozon	126
2.3.4 Formaldehyd	126
2.3.5 Flüchtige organische Verbindungen	126
2.4 Literatur	131
Biologische Einwirkungen	133
1 Einführung und Erläuterungen	133
2 Kontrollwertkonzept	134
2.1 Technischer Kontrollwert	134
2.2 Messstrategie/Messverfahren	135
2.3 Schwankungsbreite von Messergebnissen	135
2.4 Glossar	135
3 Grenzwerte	136
3.1 Technischer Kontrollwert für biologische und andere Abfallbehandlungsanlagen	136
3.2 Endotoxine	137
3.3 Luftbefeuchtungseinrichtungen	137
3.4 Innenräume	137
4 Literatur	139
Physikalische Einwirkungen	143
1 Lärm	143
1.1 Einführung und Erläuterungen	143
1.1.1 Gehörgefährdung	143
1.1.2 Extraaurale Lärmwirkungen	143
1.1.3 Unfallgefahren	143
1.2 Auslösewerte und maximal zulässige Expositionswerte	144
1.2.1 Gehörgefährdung	144
1.2.2 Extraaurale Lärmwirkungen	144
1.2.3 Unfallgefahren	145
1.3 Literatur	145

2	Vibration	146
2.1	Einführung und Erläuterung relevanter Grenzwerte in Normen und Verordnungen.....	146
2.2	Bestimmung von A(8)	146
2.2.1	Bezug zwischen A(8) und Schwingstärke.....	146
2.2.2	Berechnung der Tagesschwingungsbelastung für Hand-Arm-Vibrationen	147
2.2.3	Berechnung der Tagesschwingungsbelastung für Ganzkörper-Vibrationen.....	147
2.3	Richtwertkurven für die Prävention	148
2.3.1	Richtwertkurve Hand-Arm-Vibrationen	148
2.3.2	Richtwertkurve Ganzkörper-Vibrationen.....	148
2.4	Einfaches Verfahren zur Gefährdungsanalyse	148
2.4.1	Punktwerte für Hand-Arm-Vibrationen.....	148
2.4.2	Punktwerte für Ganzkörper-Vibrationen	151
2.5	Literatur	154
3	Thermische Belastungen.....	155
3.1	Klimatische Belastungen.....	155
3.1.1	Erläuterungen	155
3.1.2	Klimabereiche und Grenzbetrachtungen.....	155
3.1.3	Klimabewertung.....	155
3.1.3.1	Thermoregulation des Menschen	155
3.1.3.2	Behaglichkeits-/Warmbereich	155
3.1.3.3	Hitzebelastungen	157
3.1.4	Literatur	159
3.2	Berührungen heißer Oberflächen.....	160
3.2.1	Erläuterungen	160
3.2.2	Grenzwerte.....	160
3.2.3	Empfehlungen	160
3.2.4	Literatur	160
3.3	Berührungen kalter Oberflächen.....	160
3.3.1	Erläuterungen	160
3.3.2	Grenzwerte.....	161
3.3.3	Empfehlungen	161
3.3.4	Literatur	161
4	Strahlung	162
4.1	Ionisierende Strahlung	162
4.1.1	Erläuterungen	162
4.1.2	Grenzwerte.....	162
4.1.3	Literatur	166
4.2	Optische Strahlung (ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung).....	166
4.2.1	Erläuterungen	166
4.2.2	Ultraviolette Strahlung	167
4.2.2.1	Wirkungen.....	167
4.2.2.2	Grenzwerte.....	167
4.2.2.3	Messung und Bewertung von UV-Strahlenexpositionen.....	170
4.2.3	Sichtbare und Infrarotstrahlung	170
4.2.3.1	Wirkungen.....	170
4.2.3.2	Grenzwerte.....	170
4.2.3.4	Messung und Bewertung von sichtbarer und infraroter Strahlung	173
4.2.4	Literatur	173
4.3	Laserstrahlung.....	173
4.3.1	Erläuterungen	173
4.3.2	Literatur	173
4.3.3	Grenzwerte.....	173
4.4	Elektromagnetische Felder.....	181
4.4.1	Erläuterungen	181
4.4.2	Grenzwerte.....	181
4.4.3	Literatur	181
4.4.4	Zulässige Werte nach BGV B11.....	181

5	Elektrizität	192
5.1	Einführung und Erläuterungen.....	192
5.2	Grenzwerte.....	192
5.3	Empfehlungen	192
5.4	Literatur	192
6	Biomechanische Belastungen.....	193
6.1	Heben und Tragen von Lasten	193
6.1.1	Einführung und Erläuterungen.....	193
6.1.2	Richtwerte	193
6.1.3	Literatur	194
6.2	Quetschen von Körperteilen	194
6.2.1	Einführung und Erläuterungen.....	194
6.2.2	Grenzwerte.....	194
6.2.3	Literatur	196

Einleitung

In diesem Report sind die für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz wichtigsten Grenzwerte für chemische, biologische und physikalische Einwirkungen auf Personen zusammengestellt. Damit wird allen mit dem Arbeitsschutz Befassten ein einfaches Hilfsmittel an die Hand gegeben, um die am Arbeitsplatz festgestellten Belastungen im Sinne der EG-Richtlinie 89/391/EWG und des Arbeitsschutzgesetzes zu bewerten. Insbesondere Klein- und Mittelbetriebe, die erfahrungsgemäß große Schwierigkeiten haben, alle für sie relevanten Informationen über Arbeitsplatzgrenzwerte verfügbar zu haben, werden die hier zusammengetragenen Informationen als nützliches Kompendium verwenden können.

Aufgenommen sind solche Grenzwerte, die im staatlichen Vorschriften- und Regelwerk niedergelegt sind. Existieren für bestimmte Einwirkungen lediglich Angaben in Normen bzw. als arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse oder Veröffentlichungen ausländischer Institutionen, so sind diese mit einer entsprechenden Bemerkung zitiert, um dem Leser eine Orientierung zu geben.

Die im April 2006 veröffentlichte Gefahrstoffliste des BGIA – Institut für Arbeitsschutz (BGIA-Report 1/2006) enthält weitergehende Informationen zum Sachgebiet „Gefahrstoffe“, insbesondere Daten zu den Bereichen „Einstufung“ und „Kennzeichnung“ sowie Hinweise auf das Regelwerk und zu Messverfahren.

Das Kapitel „Chemische Einwirkungen“ in diesem Report ist in zwei Abschnitte unterteilt:

- Der Abschnitt „Gefahrstoffgrenzwerte“ enthält die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) und Biologischen Grenzwerte (BGW) einschließlich der im Sommer 2008 veröffentlichten Änderungen.
- Der Abschnitt „Gefahrstoffe in Innenräumen und in der Außenluft“ enthält Grenzwerte und Empfehlungen für die Innen- und Außenluft.

Im Kapitel „Biologische Einwirkungen“ wird wegen des Verzichts auf Grenzwerte für den Arbeitsplatz insbesondere auf die Grundzüge einer Arbeitsplatzbeurteilung eingegangen.

Das Kapitel „Physikalische Einwirkungen“ beinhaltet zu folgenden Bereichen Grenzwerte und Erläuterungen:

- Lärm
- Vibration
- Thermische Belastungen
- Strahlung
- Elektrizität
- Biomechanische Belastungen (Heben und Tragen von Lasten)

Besonderer Wert wurde auf Vollständigkeit und korrekte Wiedergabe der Daten gelegt. Dennoch kann bei dem Umfang des Datenmaterials nicht ausgeschlossen werden, dass sich Fehler eingeschlichen haben. Die Autoren sind für entsprechende Hinweise dankbar.

Chemische Einwirkungen

1 Gefahrstoffgrenzwerte (AGW, BGW)

1.1 Gefahrstoffliste mit Vorbemerkungen

Die Stoffliste enthält Hinweise zu Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) und Biologischen Grenzwerten (BGW) und deren Herkunft sowie zur Einstufung und Gefahr der Sensibilisierung bzw. Hautresorption. Detaillierte Informationen zum Inhalt der einzelnen Spalten sind im Vorspann ausführlich erläutert.

Die Angaben wurden folgenden Veröffentlichungen entnommen:

- Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG in der gültigen Fassung (29. Anpassung)
- TRGS 906 „Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV“
- TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“
- TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“
- TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“
- 43. Mitteilung der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK- und BAT-Werte-Liste 2007), Wiley-VCH, Weinheim, 2007

Erläuterungen zur Liste

Spalte 1 – Stoffidentität

Mit „*“ gekennzeichnete Stoffe weisen auf einen neuen Arbeitsplatzgrenzwert (2007/2008) oder auf Veränderungen bei der Einstufung (Spalte 2 bis 4) und/oder den Biologischen Grenzwerten hin.

Als zusätzliches Hilfsmittel zur Identifizierung der Stoffe werden folgende Registriernummern in der Liste angegeben:

- [CAS-Nummer] (Registriernummer des „Chemical Abstract Service“)
- und unter der EG-Nummer die
 - EINECS-Nummer (Registriernummer der „European Inventory of Existing Chemical Commercial Substances“) bzw.
 - ELINCS-Nummer (Registriernummer der „European List of New Chemical Substances“)

Einstufung/Bewertung

In den Spalten 2 bis 5 wird die Einstufung bzw. Bewertung von Stoffen nach der Richtlinie 67/548/EWG, Anhang I, bzw. der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS 905) wiedergegeben.

In den Spalten 2 bis 4 erscheinen die nationalen Bewertungen nach TRGS 905 in Normalschrift. Wurde von der Europäischen Kommission entschieden, einen Stoff nach Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend einzustufen, ist die Einstufung durch eine fette Schreibweise hervorgehoben.

Bei einigen Stoffen finden sich in Spalte 2, 3 oder 4 zwei Eintragungen: z.B. Bromethan 2 und 3. Hierbei gilt die fett gedruckte Eintragung (Legaleinstufung) für das Inverkehrbringen von Gefahrstoffen (EG-Einstufung), während die nationale Bewertung (Kat. 2) für Tätigkeiten mit diesem Gefahrstoff gilt (TRGS 905). Das heißt, für Tätigkeiten mit diesem Gefahrstoff gelten in diesem Fall die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) für krebserzeugende und erbgutverändernde Stoffe der Kategorie 1 oder 2. Im Sicherheitsdatenblatt ist auf die Wirkung der Stoffe nach TRGS 905 hinzuweisen (§ 6 Abs. 2 GefStoffV). Sofern aufgrund der Datenlage vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) keine Einordnung in die Kategorien 1 bis 3 vorgenommen werden konnte, wird dies durch einen Strich (-) gekennzeichnet.

Spalte 2 – Krebserzeugend (K)

- 1 Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken. Der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs ist ausreichend nachgewiesen.
- 2 Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff Krebs erzeugen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:
 - geeignete Langzeit-Tierversuche
 - sonstige relevante Informationen
- 3 Stoffe, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch ungenügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen. Aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um einen Stoff in Kategorie 2 einzustufen.

R 49 kann Krebs erzeugen beim Einatmen

Spalte 3 – Erbgutverändernd (M)

- 1 Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen erbgutverändernd wirken. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und vererbbaaren Schäden vorhanden.
- 2 Stoffe, die als erbgutverändernd für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff zu vererbbaaren Schäden führen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf Folgendem:
 - geeigneten Tierversuchen
 - sonstigen relevanten Informationen
- 3 Stoffe, die wegen möglicher erbgutverändernder Wirkung auf den Menschen zur Besorgnis Anlass geben. Aus geeigneten Mutagenitätsversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um den Stoff in Kategorie 2 einzustufen.

Spalte 4 – Fortpflanzungsgefährdend (R_F, R_F)

- R_F Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) und
- R_E Fruchtschädigend (entwicklungsschädigend)
- R_F1 Stoffe, die beim Menschen die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) bekanntermaßen beeinträchtigen
- R_E1 Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) wirken
- R_F2 Stoffe, die als beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen angesehen werden sollten
- R_E2 Stoffe, die als fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) für den Menschen angesehen werden sollten
- R_F3 Stoffe, die wegen möglicher Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit) des Menschen zur Besorgnis Anlass geben
- R_E3 Stoffe, die wegen möglicher fruchtschädigender (entwicklungsschädigender) Wirkungen beim Menschen zur Besorgnis Anlass geben

Spalte 5 – Sensibilisierende Stoffe (S)

Sensibilisierungen der Haut und/oder der Atemwege können durch viele Stoffe ausgelöst werden. Wiederholter Kontakt kann zu allergischen Erkrankungen führen. Die Einhaltung der Luftgrenzwerte gibt keine Sicherheit gegen das Auftreten allergischer Reaktionen.

Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)

Spalte 6 – AGW in mg/m³ bzw. ml/m³

Die in dieser Spalte angegebenen Arbeitsplatzgrenzwerte beziehen sich auf die Konzentration (Gewichts- bzw. Volumenanteil) eines Gefahrstoffes in der Luft am Arbeitsplatz. Für die Bewertung der inhalativen Exposition ist der Massenwert als Bezugswert heranzuziehen. Arbeitsplatzgrenzwerte sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition und bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden. Kurzzeitige Überschreitungen des Schichtmittelwertes (Expositionsspitzen) werden mit Kurzzeitwerten (Spalte 7) beurteilt, die nach Höhe und Dauer gegliedert sind.

1 Allgemeiner Staubgrenzwert

Der Allgemeine Staubgrenzwert ist anzuwenden bei Vorliegen von schwer löslichen bzw. unlöslichen Stäuben, die nicht anderweitig reguliert sind. Er ist auch als Beurteilungsgrundlage heranzuziehen, wenn am Arbeitsplatz Faserstäube vorliegen, die nicht als krebserzeugend eingestuft sind (z.B. nicht biopersistente Mineralwollen oder Papierstäube). Mit einer Gesundheitsgefährdung ist nur dann nicht zu rechnen, wenn nach einschlägiger Überprüfung sichergestellt ist, dass erbgutverändernde, krebs-erzeugende, sensibilisierende, fibrogene oder sonstige toxische Wirkungen der Stäube nicht zu erwarten sind. Dies gilt zum Beispiel für folgende Stäube (siehe auch Nummer 2.5 der TRGS 900):

Aluminium, Aluminiumhydroxid, Aluminiumoxid (faserfrei, außer Aluminiumoxid-Rauch), Bariumsulfat, Eisen(II)oxid, Eisen(III)oxid, Graphit, Magnesiumoxid (außer Magnesiumoxid-Rauch), Polyvinylchlorid, Siliciumcarbid (faserfrei), Tantal und Titandioxid

Liegen dagegen Stäube oder Staubgemische vor, bei denen über die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge der allgemeinen Staubwirkung hinaus die oben genannten spezifischen Wirkungen zu erwarten sind, müssen auf alle Fälle die stoffspezifischen Grenzwerte eingehalten werden. Zusätzlich aber gilt, dass auch hier der Allgemeine Staubgrenzwert im Sinne einer allgemeinen Obergrenze eingehalten werden muss.

Die Grenzwerte sind in der TRGS 900 als Schichtmittelwerte festgelegt worden. Der Allgemeine Staubgrenzwert gilt nicht für

- lösliche Stäube
- ultrafeine Partikelfractionen
- grobdisperse Partikelfractionen
- Lackaerosole
- Arbeitsplätze, die einem überwachten und dokumentierten dosisbasierten Schutzkonzept nach Gesundheitsschutz-Bergverordnung unterliegen.

Löslichkeit

Lösliche Bestandteile wie z.B. bestimmte Alkali- oder Erdalkalisalze (u.a. Stein- und Kalisalze) fallen nicht unter den Geltungsbereich des Allgemeinen Staubgrenzwertes, werden aber wegen des damit verbundenen Aufwandes nicht separat erfasst. Für den Fall, dass dennoch eine Differenzierung erforderlich ist, steht ein Konventionsverfahren zur Ermittlung der Löslichkeit von Stäuben in der BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen (siehe Kennzahl 0412/7) zur Verfügung.

Dichte der Stäube

Die arbeitsplatztypische Staubdichte liegt in vielen Fällen im Bereich um 2,5 g/cm³. Der AGS hat auf dieser Basis abgeleitet, dass bei einer Dichte der Stäube von $\geq 2,5 \text{ g/cm}^3$ nach derzeitigen Erkenntnissen eine Gesundheitsgefährdung bei Einhaltung des Grenzwertes von 3 mg/m³ (alveolengängige Fraktion) nicht zu erwarten ist, sofern die Stäube keine spezifisch wirkenden Inhaltsstoffe enthalten.

Beurteilung der Konzentrationen nach TRGS 402

Zur Beurteilung der in der Luft des Arbeitsbereiches auftretenden Konzentrationen sind in der Regel immer die einatembare und alveolengängige Fraktion zu bestimmen. Der höhere Stoffindex ist für die Arbeitsplatzbeurteilung heranzuziehen. Liegen ausreichende Informationen über das Verhältnis von einatembare zu alveolengängiger Fraktion vor, so genügt es, die Fraktion zu bestimmen, die den höheren Stoffindex ergibt. Diese Informationen können direkt aus der Arbeitsplatzbeurteilung gewonnen werden oder in Form von standardisierten Arbeitsverfahren nach Nummer 5 der TRGS 400 vorliegen.

Gemische

Der Allgemeine Staubgrenzwert soll die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge der allgemeinen Staubwirkung verhindern. Kommen am Arbeitsplatz Stoffe als Staub oder Rauch vor, die eigene Grenzwerte haben (z.B. Mangan oder Chrom), so sind deren Stoffindizes nicht mit den Stoffindizes des Allgemeinen Staubgrenzwertes zu einem Bewertungsindex zusammenzufassen. Bei der Addition aller Indizes würde es zu einer doppelten Berücksichtigung der Mangan- oder Chromkonzentrationen kommen, da diese Metallstaubkonzentrationen auch bei der unspezifischen Staubmessung mit erfasst werden.

Bei Stoffgemischen, die chemisch-irritativ wirkende Stoffe enthalten (z.B. gasförmige Stoffe wie Ozon oder Stickstoffoxide), sind synergistische Effekte zu erwarten. Die gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnisse erlauben derzeit jedoch keine Quantifizierung dieser Einflüsse. Bis zum Vorliegen geeigneter arbeitsmedizinischer und expositionsbezogener Daten und dem Abschluss der wissenschaftlichen Diskussion werden deshalb auch bei diesen Stoffgemischen bei der Berechnung der Bewertungsindizes nach Nummer 5.2.1 der TRGS 402 die Stoffindizes für den allgemeinen Staubgrenzwert nicht berücksichtigt.

Aus den Stoffindizes für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion wird ebenfalls kein Bewertungsindex berechnet.

2 Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenwasserstoffgemische

Die Arbeitsplatzgrenzwerte sind anzuwenden auf flüssige Stoffgemische und auf Bestandteile flüssiger Stoffgemische, die ausschließlich aus Kohlenwasserstoffen bestehen, wobei unter Kohlenwasserstoffen organische Verbindungen zu verstehen sind, die sich nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammensetzen. Hierzu gehören n-Aliphaten, iso-Aliphaten, Cycloaliphaten (Naphthene) und Aromaten. Im Gegensatz zu anderen komplexen kohlenwasserstoffhaltigen Gemischen wie Kühlschmierstoffe oder Kraftstoffe enthalten Kohlenwasserstoffgemische dieser Definition keine olefinischen Kohlenwasserstoffe und keine kohlenwasserstofffremden Additive. Wenn Gemische aus Kohlenwasserstoffen und anderen Lösemitteln vorliegen, dann bezieht sich dieser Teil nur auf den Kohlenwasserstoffanteil in der Gesamtmischung einer Zubereitung.

Die in der Praxis eingesetzten Kohlenwasserstoffgemische lassen sich jedoch in der Regel nicht ausschließlich einzelnen dieser Fraktionen (RCP-Gruppen) zuordnen, da sie aus Kohlenwasserstoffen mehrerer RCP-Gruppen zusammengesetzt sind. Für diese Gemische ist auf Basis der in der Liste aufgeführten Grenzwerte und des Massengehalts (w/w) der Fraktionen im flüssigen Lösemittelgemisch der für das Gemisch maßgebliche Arbeitsplatzgrenzwert nach der RCP-Methode (RCP = reciprocal calculation procedure) mittels Formel (1) zu berechnen.

Werden Mischungen aus mehreren Kohlenwasserstoffgemischen hergestellt (z.B. in Lacken), ist ebenfalls nach Formel (1) der AGW für das neue Kohlenwasserstoffgemisch zu berechnen. In diesen Fällen gehen die einzelnen Kohlenwasserstoffgemische der Mischung mit ihren Arbeitsplatzgrenzwerten und ihrem Massengehalt (w/w) im flüssigen Lösemittelgemisch in die Berechnung ein.

Die Stoffe n-Hexan, Cyclohexan, Naphthalin, 1,2-Diethylbenzol und n-Butylbenzol werden durch die Gruppengrenzwerte nicht berücksichtigt und sind wie die RCP-Gruppen über ihren mengenmäßigen Anteil und den Einzelstoffgrenzwert (soweit festgelegt) bei der Berechnung des Grenzwertes mittels Formel (1) zu berücksichtigen.

Andere Kohlenwasserstoffe wie z.B. Pentan, Xylol und Toluol, für die ebenfalls Arbeitsplatzgrenzwerte in der TRGS 900 festgelegt sind, werden dagegen mit den jeweiligen Gruppengrenzwerten berücksichtigt. Sofern sie als Einzel-Kohlenwasserstoff einem Kohlenwasserstoffgemisch zugesetzt werden, gehen sie in die Berechnung mit ihrem RCP-Gruppengrenzwert und nicht mit ihrem stoffspezifischen AGW ein.

$$\frac{1}{AGW_{\text{Gemisch}}} = \frac{\text{Fraktion}_a}{AGW_a} + \frac{\text{Fraktion}_b}{AGW_b} + \dots + \frac{\text{Fraktion}_n}{AGW_n} \quad (1)$$

In der Formel bedeuten:

Fraktion_{a...n}

Massenanteil (w/w)

- der jeweiligen Fraktion (RCP-Gruppe) des Kohlenwasserstoffgemisches oder

- eines Einzel-Kohlenwasserstoffs oder
- eines Kohlenwasserstoffgemisches (bei Mischungen aus Kohlenwasserstoffgemischen)

im flüssigen Lösemittelgemisch.

$AGW_{a...n}$

Der zur entsprechenden Fraktion gehörende

- Gruppengrenzwert der jeweiligen Fraktion (RCP-Gruppe) oder
- stoffspezifische Arbeitsplatzgrenzwert eines Einzel-Kohlenwasserstoffs oder
- Arbeitsplatzgrenzwert eines Kohlenwasserstoffgemisches (bei Mischungen aus Kohlenwasserstoffgemischen)

Die errechneten Arbeitsplatzgrenzwerte sind wie folgt auf- oder abzurunden:

< 100 mg/m³: auf volle 25 mg/m³
 von 100 bis 600 mg/m³: auf volle 50 mg/m³
 > 600 mg/m³: auf volle 100 mg/m³

Ist im Sicherheitsdatenblatt kein Arbeitsplatzgrenzwert für das Kohlenwasserstoffgemisch angegeben und die Zusammensetzung des Kohlenwasserstoffgemisches nicht bekannt, ist der niedrigste Gruppengrenzwert (100 mg/m³) für die Beurteilung heranzuziehen. Sofern im Einzelfall detailliertere Informationen zur Zusammensetzung vorhanden sind, kann von dieser Regelung abgewichen werden. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn die Zusammensetzung des Kohlenwasserstoffgemisches in Spannbreiten angegeben wird oder bekannt ist, dass es sich um ein aromatenfreies bzw. entaromatisiertes oder ein reines aromatenhaltiges Gemisch handelt.

Beurteilung von Mischexpositionen

Besteht innerhalb einer Schicht zeitlich nacheinander oder gleichzeitig durch mehrere Emissionsquellen eine Exposition gegenüber mehreren Kohlenwasserstoffgemischen verschiedener Fraktionen, so ist der niedrigste Arbeitsplatzgrenzwert der eingesetzten Fraktionen zur Beurteilung heranzuziehen, sofern eine messtechnische Differenzierung nicht vorgenommen wird oder werden kann.

Besteht neben der Exposition gegenüber einem oder mehreren Kohlenwasserstoffgemischen auch eine gleichzeitige Exposition gegenüber kohlenwasserstofffremden Lösemitteln mit Arbeitsplatzgrenzwerten wie z.B. Estern, Ketonen, Alkoholen usw. so ist das Messergebnis für das Kohlenwasserstoffgemisch zusammen mit den Ergebnissen für die anderen Stoffe in die Berechnung des Bewertungsindex für das Gemisch mit einzubeziehen.

Die Beurteilung der Exposition gegenüber Kohlenwasserstoffgemischen erfolgt ausschließlich über die RCP-Gruppengrenzwerte bzw. Arbeitsplatzgrenzwerte, die mittels der Formel (1) berechnet wurden. Die Bewertung von Kohlenwasserstoffgemischen über Einzelstoffgrenzwerte und Bildung eines Bewertungsindex für das Gemisch durch Addition der Stoffindizes ist nicht zulässig. Sofern Lösemittelgemische unter Verwendung von Einzel-Kohlenwasserstoffen und anderen Lösemittelkomponenten mit Arbeitsplatzgrenzwert hergestellt werden (z.B. Xylol + Toluol + Ethylacetat), ist die Exposition jedoch durch die Berechnung des Bewertungsindex zu beurteilen.

Weitere Informationen: BGIA-Homepage unter Fachinformationen

RCP-Rechner:

www.dguv.de/bgia/rcp-rechner

3 Partikelfraktion

Falls Stoffe partikelförmig auftreten, wird mit der Angabe „A“ bzw. „E“ ein Hinweis darauf gegeben, welche Fraktion für die Beurteilung durch Vergleich mit dem Grenzwert heranzuziehen ist. In Klammern ist die ältere, z.T. noch gebräuchliche Bezeichnung angegeben. Die neueren Bezeichnungen sind der Europäischen Norm EN 481 „Festlegung von Konventionen von Partikelgrößenfraktionen zur Messung von Schwebstoffen am Arbeitsplatz“ entnommen.

Bezeichnung	Abkürzung	Ältere Bezeichnung
Alveolengängige Fraktion	A	Feinstaub (F)
Einatembare Fraktion	E	Gesamtstaub (G)

Spalte 7 – Spitzenbegrenzung

Um Expositionsspitzen in ihrer Höhe und Dauer zu begrenzen, hat der AGS sogenannte Kurzzeitwerte festgelegt, welche die unterschiedlichen Wirkungscharakteristika verschiedener Stoffgruppen berücksichtigen. Die Kurzzeitwertkonzentration ergibt sich aus dem Produkt von Arbeitsplatzgrenzwert und Überschreitungsfaktor. Der maximale Überschreitungsfaktor beträgt 8. Bei achtfacher Überschreitung des Grenzwertes viermal pro Schicht über 15 Minuten darf eine weitere Exposition in dieser Schicht nicht mehr erfolgen, da sonst die Konzentration am Arbeitsplatz als Schichtmittelwert den Grenzwert überschreitet $[8 \cdot GW \cdot (0,25h \cdot 4)/8h + 0 \cdot GW \cdot 7h/8h = GW]$. Auch darf keine Exposition gegenüber anderen Stoffen mit Arbeitsplatzgrenzwerten bestehen, da in diesem Fall die Kriterien für Gemische nach TRGS 402 zum Tragen kommen.

Zwei Kurzzeitwertkategorien sind festgelegt:

- **Kategorie I**
Stoffe, bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist, oder atemwegssensibilisierende Stoffe
- a) Als Basiswert wird ein Überschreitungsfaktor von 1 festgelegt, der stoffspezifisch angepasst werden kann (bis maximal 8). Die Kurzzeitwertphase darf 15 Minuten nicht überschreiten. Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z.B. durch eine 15-minütige Probenahme.
- b) In begründeten Fällen kann auch ein Momentanwert festgelegt werden, der zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf. Die Stoffe werden in der Spalte „Spitzenbegrenzung“ durch das Zeichen = = und den Überschreitungsfaktor ausgewiesen (in der Regel: =2=). Die technischen und organisatorischen Maßnahmen sind so festzulegen, dass die Kurzzeitwertkonzentration nicht überschritten wird. Für die betriebliche Überwachung ist eine möglichst kurze Mitteldauer entsprechend den messtechnischen Möglichkeiten zu wählen (siehe auch TRGS 402, Anhang 3).

Bei einigen Stoffen der Kategorie I wird sowohl ein 15-Minuten-Mittelwert als auch ein Momentanwert festgesetzt. In diesem Fall werden beide Überschreitungsfaktoren in der TRGS 900 aufgeführt. Eine Spitzenbegrenzung (Kurzzeitwert) von z.B. 2, =4= (I) bedeutet, dass die zweifache Grenzwertkonzentration als Mittelwert über 15 Minuten einzuhalten ist und im gleichen Zeitraum die vierfache Grenzwertkonzentration zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf.

- **Kategorie II**
Resortiv wirksame Stoffe

Als Basiswert (15-Minuten-Mittelwert) wird ein Überschreitungsfaktor (ÜF) von 2 festgelegt, der stoffspezifisch angepasst werden kann (bis maximal 8). Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z.B. durch eine 15-minütige Probenahme. Bei Stoffen der Kurzzeitwert-Kategorie II sind auch längere Überschreitungsdauern zulässig, solange das Produkt aus Überschreitungsfaktor und Überschreitungsdauer eingehalten wird.

Bei Überschreitungsfaktoren von 8, 4 und 2 sind somit z.B. die in der Tabelle angegebenen Varianten möglich.

Expositionsdauer in Minuten	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120
ÜF = 8	8	6	4,8	4	3	2,4	2	1,5	1,2	1
ÜF = 4	4	3	2,4	2	1,5	1,2	1			
ÜF = 2	2	1,5	1,2	1						

Tabelle:
Zulässige Überschreitungsdauern in Abhängigkeit vom Überschreitungsfaktor (ÜF)

- **Zeitraum**

Für die Intervalle zwischen den Perioden mit einer Konzentration oberhalb des Grenzwertes (Kurzzeitwertphase) ist ein Zeitraum von einer Stunde anzustreben. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig.

- **Stoffe ohne Kurzzeitwert**

Für einige Stoffe wurde keine Begrenzung der Expositionsspitzen festgelegt. In diesem Fall hat der AGS in der TRGS 402, Anhang 3, Nr. A3-3.2 (4), vorgesehen, dass Expositionen, die kürzer als eine Stunde sind, den Grenzwert höchstens um den Faktor acht überschreiten dürfen. Das bedeutet, dass sich die entsprechende Messung auf die tatsächliche Expositionsdauer beziehen muss.

Spalte 8 – Bemerkungen

H (Hautresorptive Stoffe)

Verschiedene Stoffe können leicht durch die Haut in den Körper gelangen und zu gesundheitlichen Schäden führen. Bei Tätigkeiten mit hautresorptiven Stoffen ist die Einhaltung des Luftgrenzwertes für den Schutz der Gesundheit nicht ausreichend. Durch organisatorische und arbeitshygienische Maßnahmen ist sicherzustellen, dass der Hautkontakt mit diesen Stoffen unterbleibt. Bei unmittelbarem Hautkontakt ist die TRGS 401 zu beachten.

Y (AGW und Schwangerschaft)

Mit der Bemerkung „Y“ werden Stoffe ausgewiesen, bei denen ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes und des Biologischen Grenzwertes nicht befürchtet zu werden braucht.

Z

Mit der Bemerkung „Z“ werden Stoffe ausgewiesen, bei denen ein Risiko der Fruchtschädigung auch bei Einhaltung des AGW und des Biologischen Grenzwertes (BGW) nicht ausgeschlossen werden kann.

Erläuterungen

- (1) Kieselguren können, je nach Herkunft, Anteile von Quarz enthalten. Das Brennen bzw. Calcinieren von Kieselguren führt zu steigenden Cristobalitanteilen. Aktivierte Kieselgur kann bis zu 60 Massen-% Cristobalit enthalten. Bei der Beurteilung der Exposition gegenüber (gebrannten) Kieselguren sind sowohl der amorphe Anteil (Grenzwert für Kieselgur bzw. gebrannte Kieselgur) als auch die Summe der Anteile an Cristobalit und Quarz (krebserzeugend nach TRGS 906) zu ermitteln und zu bewerten.
- (2) Kolloidale amorphe Kieselsäure [CAS-Nr. 7631-86-9] einschließlich pyrogener Kieselsäure und im Nassverfahren hergestellter Kieselsäure (Fällungskieselsäure, Kieselgel)
- (3) Technische Produkte maßgeblich mit 2-Nitropropan (krebserzeugend Kat. 2) verunreinigt

- (4) Gilt nur für Rohbaumwolle
- (5) Gefahr der Hautresorption für Amin-Formulierung und Ester, nicht jedoch für die Säure
- (6) Die Reaktion mit nitrosierenden Agenzien kann zur Bildung von kanzerogenen N-Nitrosaminverbindungen führen.
- (7) Nur für Arbeitsplätze ohne Hautkontakt
- (8) $0,5 = (\text{Konzentration } \alpha\text{-HCH} \text{ dividiert durch } 5) + \text{Konzentration } \beta\text{-HCH}$
- (9) Die Bewertung bezieht sich nur auf den reinen Stoff: Verunreinigung mit Chlorfluormethan [593-70-4] ändert die Risikobeurteilung grundlegend.
- (10) Der Arbeitsplatzgrenzwert bezieht sich auf den Elementgehalt des entsprechenden Metalls.
- (11) Summe aus Dampf und Aerosolen
- (12) Der Luftgrenzwert gilt in der Regel nur für die Monomeren. Zur Beurteilung von Oligomeren oder Polymeren siehe TRGS 430 „Isocyanate“.
- (13) Eine Begründung für die Ableitung eines gesundheitsbasierten AGW liegt nicht vor.
- (14) AGW für die Summe der Luftkonzentrationen von 1-Ethoxypropan-2-ol und 2-Ethoxy-1-methylethylacetat
- (15) Für die analytische Bestimmung wird folgende Vorgehensweise empfohlen: „Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe“, Band 1 „Luftanalysen“, 14. Lieferung 2005, und „Spezielle Vorbemerkungen“, Kap. 4.7.1, S. 29-30, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, oder „Messung von Gefahrstoffen“, BGIA-Arbeitsmappe, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- (16) Der AGW ist nur als Kurzzeitwert festgelegt. Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z.B. durch eine 15-minütige Probenahme.
- (17) Der AGW gilt für die Dampfphase bei erhöhten Temperaturen und ist nicht zur Bewertung als Aerosolkonzentration heranzuziehen.
- (50) Die Europäische Kommission hat folgende verbindliche Grenzwerte festgelegt:

Stoff	EG-Richtlinie	Verbindlicher EG-Grenzwert
Asbest	2003/18/EG	100 000 F/m ³
Benzol	2004/37/EG	1 ml/m ³
Blei und anorganische Bleiverbindungen	98/24/EG	0,15 mg/m ³
Hartholzstäube	2004/37/EG	5 mg/m ³
Vinylchlorid	2004/37/EG	3 ml/m ³

Da auch bei Einhaltung der bindenden EG-Grenzwerte das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit nicht auszuschließen ist, sind entsprechend dem Minimierungsgebot der GefStoffV durch fortgesetzte Verbesserungen der technischen Schutzmaßnahmen Konzentrationen in der Luft anzustreben, die möglichst weit unterhalb der Grenzwerte liegen. Für folgende Stoffe wurden vom AGS Expositionsbegrenzungswerte festgelegt, die den Stand der Technik beschreiben:

- Holzstaub, siehe BArbBl. (2006) Nr. 12, S. 172 (2 mg/m³ E bzw. 5 mg/m³ E)
- Blei, siehe TRGS 505 (0,1 mg/m³ E)
- Asbest in mineralischen Rohstoffen, siehe TRGS 517 (15 000 F/m³)
- Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten einschließlich Messstrategie, siehe TRGS 519

Hinsichtlich der zu treffenden Maßnahmen gelten folgende Asbestfaserkonzentrationen:

- 15 000 F/m³ für Arbeiten mit geringer Exposition
- 100 000 F/m³ für Arbeiten geringen Umfangs (maximal zwei Arbeitnehmer, maximal vier Stunden)

Spalte 9 – Herkunft (Jahr)

Herkunft

Die in der TRGS 900 aufgeführten Grenzwerte werden von folgenden Institutionen vorgeschlagen:

- Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Die von der DFG-Kommission vorgeschlagenen Werte sind in der MAK- und BAT-Werte-Liste 2007 veröffentlicht.

- Europäische Kommission

Die Europäische Kommission verabschiedet Richtgrenzwerte und verbindliche Grenzwerte für eine berufsbedingte Exposition (EG-Richtlinien der Europäischen Kommission zu Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz).

- Ausschuss für Gefahrstoffe

Vorläufige Arbeitsplatzrichtwerte (ARW) werden vom AGS nach dem ARW-Konzept in der TRGS 901 abgeleitet. Mit den folgenden Kürzeln wird in Spalte 9 auf die Herkunft der Luftgrenzwerte und den Fundort für evtl. vorliegende Begründungspapiere (in Klammern) hingewiesen:

- AGS Arbeitsplatzrichtwert (ARW) Ausschuss für Gefahrstoffe (TRGS 901)
- DFG Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
- EG Kommission der Europäischen Gemeinschaften
- AUS Ausländischer Luftgrenzwert

Jahreszahl

Die Jahreszahl gibt an, in welchem Jahr der Luftgrenzwert in das technische Regelwerk aufgenommen wurde bzw. wann die letzte Änderung des Luftgrenzwertes erfolgte.

Spalte 10 – Werte im biologischen Material

Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge gemäß § 15 und 16 der GefStoffV sind neben den Expositionsgrenzwerten für Gefahrstoffe in der Luft am Arbeitsplatz auch die Biologischen Grenzwerte (BGW) zu beachten. BGW sind definiert als die beim Menschen höchstzulässige Quantität eines Gefahrstoffes bzw. eines Gefahrstoffmetaboliten oder eines Beanspruchungsindikators, die nach dem gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Kenntnis im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt. BGW können als Konzentrationen bzw. als Bildungs- oder Ausscheidungsraten (Menge/Zeiteinheit) definiert sein; sie beziehen sich wie Arbeitsplatzgrenzwerte auf eine Arbeitszeit von acht Stunden täglich und 40 Stunden wöchentlich. In Spalte 10 der Liste weist der Eintrag BGW darauf hin, dass für den jeweiligen Stoff ein Biologischer Grenzwert festgelegt ist. BGW werden von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG bzw. der Europäischen Kommission vorgeschlagen und nach Beratung durch den AGS in der TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“ veröffentlicht. Die aktuellen Werte sind in der Grenzwerteliste im Anhang 1 aufgeführt.

Eine der Voraussetzungen für die Aufstellung von BGW ist das Vorliegen ausreichender arbeitsmedizinischer und toxikologischer Erfahrungen beim Menschen. Da gegenwärtig für krebs-erzeugende Gefahrstoffe kein als unbedenklich anzusehender biologischer Wert angegeben werden kann, werden sie nicht mit Biologischen Grenzwerten belegt. Für krebs-erzeugende Gefahrstoffe, bei denen Stoff- bzw. Metabolitenkonzentrationen im biologischen Material einen Anhalt für die innere Belastung geben und bei denen eine Beziehung besteht zwischen der Stoffkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz und der Stoff- bzw. Metabolitenkonzentration im biologischen Material, werden jedoch von der DFG-Kommission EKA-Werte (Expositionsäquivalente für krebs-erzeugende Arbeitsstoffe) aufgestellt. Ihnen kann entnommen werden, welche innere Belastung sich bei ausschließlich inhalativer Stoffaufnahme ergeben würde. EKA-Werte sind keine Grenzwerte gemäß der GefStoffV.

In Spalte 10 der Liste weist der Eintrag EKA darauf hin, dass für den jeweiligen Stoff ein EKA-Wert festgelegt ist. EKA-Werte werden in Abschnitt IX der jährlich erscheinenden MAK- und BAT-Werte-Liste veröffentlicht (siehe auch Anhang 2).

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
AAT s. 2-Aminoazotoluol											
Acetaldehyd [75-07-0], 200-836-8	3					91	50	1; =2=(I)		DFG	
Acetamid [60-35-5], 200-473-5	3										
Acetanhydrid s. Essigsäureanhydrid											
Aceton [67-64-1], 200-662-2						1200	500	2(I)		DFG (1994)	BGW
Acetonitril [75-05-8], 200-835-2						34	20	2(II)	H, Y	DFG (2003)	
Acetophenon, Formaldehyd, Cyclohexylamin, Methanol und Essigsäure, Reaktionsprodukt von 406-230-1	3				S						
Acetylaceton s. Pentan-2,4-dion											
Acetylentetrachlorid s. 1,1,2,2-Tetrachlorethan											
N-[2-(3-Acetyl-5-nitrothiophen- 2-ylazo)-5-diethylaminophenyl]- acetamid 416-860-9				3	S						
Acridinorange s. N,N,N',N'-Tetramethylacridin- 3,6-yldiaminhydrochlorid											
Acrolein s. Acrylaldehyd											
* Acrylaldehyd [107-02-8], 203-453-4	-	-	-	-		0,2	0,09	2(I)	H	AGS (2007)	
Acrylamid [79-06-1], 201-173-7	2	2		3	S				H		
Acrylnitril [107-13-1], 203-466-5	2				S				H		EKA
* Acrylsäure [79-10-7], 201-177-9						30	10	1(I)	Y, H	DFG (2007)	
Acrylsäure-n-butylester s. n-Butylacrylat											
Acrylsäureethylester s. Ethylacrylat											
Acrylsäure-2-ethylhexylester s. 2-Ethylhexylacrylat											
Acrylsäuremethylester s. Methylacrylat											
Aktinolith s. Asbest											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Alachlor [15972-60-8], 240-110-8	3				S						
Aldrin [309-00-2], 206-215-8	3					0,25 E		8(II)	H	DFG	
Allgemeiner Staubgrenzwert (siehe auch Nummer 2.4 der TRGS 900 bzw. Erläuterungen zur Spalte 6) - Alveolengängige Fraktion - Einatembare Fraktion						3 10		2(II) 2(II)		AGS (2006) AGS (2006)	
Allylalkohol [107-18-6], 203-470-7	-	-	-	-		4,8	2	2,5(I)	H	EG (1997)	
5-Allyl-1,3-benzodioxol [94-59-7], 202-345-4	2	3									
4-Allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)- phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3-[6-[3- (4-allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)- phenoxy)-2-hydroxypropyl]- 4-allyl-2-(2,3-epoxy-propyl)- phenoxy]-2-hydroxypropyl]- 4-allyl-2-(2,3-epoxy-propyl)- phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2- (2,3-epoxypropyl)phenol; 4-Allyl-6-[3-(4-allyl-2,6-bis(2,3- epoxypropyl)phenoxy)-2-hydroxy- propyl]-2-(2,3-epoxy-propyl)- phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3-(4-allyl- 2,6-bis(2,3-epoxypropyl)- phenoxy)-2-hydroxy-propyl]- 4-allyl-2-(2,3-epoxy-propyl)- phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2- (2,3-epoxypropyl)phenol, Gemisch aus 417-470-1		3			S						
Allylchlorid s. 3-Chlorpropen											
Allylglycidether s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
Allylglycidylether s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
1-Allyloxy-2,3-epoxypropan [106-92-3], 203-442-4	2 3	3	-	3	S				H		
Allylpropyldisulfid [2179-59-1], 218-550-7						12	2	1(I)		DFG	
Aluminium (als Metall) [7429-90-5], 231-072-3						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Aluminiumhydroxid [21645-51-2], 244-492-7						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Aluminiumoxid [1344-28-1;1302-74-5], 215-691-6						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Aluminiumoxid-Rauch [1344-28-1], 215-691-6						s. allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Ameisensäure [64-18-6], 200-579-1						9,5	5	2(l)	Y	DFG, EG	
Ameisensäureethylester s. Ethylformiat											
Ameisensäuremethylester s. Methylformiat											
4-Aminoazobenzol [60-09-3], 200-453-6	2										
2-Aminoazotoluol (o-) (4-o-Tolylazo-o-toluidin) [97-56-3], 202-591-2	2				S				H		
2-Aminobiphenyl s. Biphenyl-2-ylamin											
4-Aminobiphenyl s. 4-Aminodiphenyl											
1-Amino-4-chlorbenzol s. 4-Chloranilin											
1-Amino-3-chlor-6-methylbenzol s. 5-Chlor-o-toluidin											
2-Amino-4-chlortoluol s. 5-Chlor-o-toluidin											
2-Amino-5-chlortoluol s. 4-Chlor-o-toluidin											
4-Amino-2,3-dimethylazobenzol s. 2-Aminoazotoluol											
4-Aminodiphenyl [92-67-1], 202-177-1 und seine Salze	1								H		
2-Aminoethanol [141-43-5], 205-483-3						5,1	2	2(l)	H, Y	DFG (1998)	
6-Amino-2-ethoxynaphthalin [CAS o. Angabe]	2										
3-Amino-9-ethylcarbazol [132-32-1], 205-057-7	3										
4-Amino-3-fluorphenol [399-95-1], 402-230-0	2				S						
5-[(4-[(7-Amino-1-hydroxy- 3-sulfo-2-naphthyl)azo]- 2,5-diethoxyphenyl)azo]-2- [(3-phosphonophenyl)azo]- benzoesäure und 5-[(4-[(7-Amino- 1-hydroxy-3-sulfo-2-naphthyl)- azo]-2,5-diethoxyphenyl)azo]- 3-[(3-phosphonophenyl)azo]- benzoesäure, Gemisch aus [163879-69-4], 418-230-9				3	S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1-Amino-2-methoxy-5-methylbenzol s. p-Kresidin											
3-Amino-4-methoxytoluol s. p-Kresidin											
1-Amino-4-methylbenzol s. p-Toluidin											
* 2-Amino-2-methylpropanol [124-68-5], 204-709-8						4,6	1	2(I)		AGS (2007)	
1-Aminonaphthalin (α-) s. 1-Naphthylamin											
2-Aminonaphthalin (β-) s. 2-Naphthylamin											
2-Aminonaphthalin-1-sulfonsäure [81-16-3], 201-331-5						6 E		4(II)		AGS (1993)	
6-Aminonaphtholether s. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin											
4-Amino-2-nitrophenol s. 2-Nitro-4-aminophenol											
2-Amino-4-nitrotoluol [99-55-8], 202-765-8 und -hydrochlorid [51085-52-0], 256-960-8	3	-	-	-					H		
2-Aminophenol [95-55-6], 202-431-1		3									
4-Aminophenol [123-30-8], 204-616-2		3			S						
p-Aminophenylether s. 4,4'-Oxydianilin											
2-Aminopropan [75-31-0], 200-860-9						12	5	=2=(I)		DFG	
* 1-Aminopropan-2-ol (MIPA) [78-96-6], 201-162-7						5,8	2	2(I)		AGS (2007)	
5-Amino-o-toluidin s. 2,4-Toluyldiamin											
3-Amino-p-toluidin s. 2,4-Toluyldiamin											
4-Aminotoluol s. p-Toluidin											
3-Amino-1,2,4-triazol s. Amitrol											
Amitrol [61-82-5], 200-521-5			3			0,2 E		8(II)	Y	DFG	
* Ammoniak [7664-41-7], 231-635-3						14	20	2(I)	Y	DFG, EG (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-{4-(2-Ammoniopropylamino)- 6-[4-hydroxy-3-(5-methyl-2- methoxy-4-sulfamoylphenylazo)- 2-sulfonatonaphth-7-ylamino]- 1,3,5-triazin-2-ylamino}-2- aminopropylhydroformiat 424-260-3				3							
Ammoniumdichromat [7789-09-5], 232-143-1	2	2	2	2	S				H		
Amorphe Kieselsäuren s. Kieselsäuren, amorphe											
Amosit s. Asbest											
Amylacetat, tert s. 1,1-Dimethylpropylacetat											
Anabolika	3	-	2	1							
Androgene	3	-	2	1							
Androgene, schwache	-	-	3	3							
Anilin [62-53-3], 200-539-3 Salze von Anilin	3	3	-	-	S	7,7	2	2(II)	H	DFG	BGW
	3	3			S				H		
o-Anisidin s. 2-Methoxyanilin											
Anon s. Cyclohexanon											
Anthophyllit s. Asbest											
Antimontrioxid (Diantimontrioxid) [1309-64-4], 215-175-0	3										
ANTU [86-88-4], 201-706-3	3										
Aromatenextrakte aus Erdöldestillat s. Extrakte											
Arprocarb s. Propoxur											
Arsenik s. Arsenitoxid											
Arsenige Säure [36465-76-6]	1										
Arsenpentoxid, [1303-28-2], 215-116-9	1										
Arsensäure und ihre Salze (Arsenate) [7778-39-4], 231-901-9	1										
Arsentrioxid [1327-53-3], 215-481-4	1										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Arzneistoffe, krebserzeugende s. Abschnitt 1.2											
Asbest [1332-21-4] Chrysotil und Amphibol- Asbeste	1					s. 50			50	EG (2003)	
* Arsenwasserstoff, Arsin [7784-42-1], 232-066-3						0,016	0,005	8(II)		AGS (2007)	
Atrazin [1912-24-9], 217-617-8					S	2 E		8(II)		DFG	
Auramin [492-80-8], 207-762-5 und seine Salze ^a Für Auramin und -hydrochlorid [2465-27-2]	3 2 ^a	3 ^a	-	-	-						
Auramin, Herstellung von s. Abschnitt 1.2	1										
Azafenidin 68049-83-2			2	3							
Azinphos-methyl [86-50-0], 201-676-1					S	0,2 E		8(II)	H	DFG	
Aziridin s. Ethylenimin											
Azobenzol [103-33-3], 203-102-5	2	3	-	-	-						
Azofarbstoffe s. Abschnitt 1.2	1 od. 2										
Azofarbstoffe auf Benzidinbasis	2										
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethoxybenzidinbasis	2										
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethylbenzidinbasis	2										
Azoimid s. Stickstoffwasserstoffsäure											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
* Bariumverbindungen, löslich (außer Bariumoxid und Bariumhydroxid)						0,5 E		1(I)	13, 10, 15	EG (2007)	
Baumwollstaub						1,5 E		1(I)	4, Y	DFG	
BBP s. Benzylbutylphthalat											
Benomyl (ISO) [17804-35-2], 241-775-7		2	2	2	S						
Benzalchlorid s. α,α -Dichlortoluol											
Benzidin [92-87-5], 202-199-1 und seine Salze	1										
Benzo[e]acephenanthrylen s. Benzo[b]fluoranthen											
Benzo[a]anthracen [56-55-3], 200-280-6	2										
Benzo[d,e,f]chrysen s. Benzo[a]pyren											
Benzo[b]fluoranthen [205-99-2], 205-911-9	2										
Benzo[j]fluoranthen [205-82-3], 205-910-3	2										
Benzo[k]fluoranthen [207-08-9], 205-916-6	2										
Benzol [71-43-2], 200-753-7	1	2				s. 50			H, 50	EG (2003)	
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C ₆₋₈ -verzweigte Alkylester, C7-reich [71888-89-6], 276-158-1	-	-	2	3							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C ₇₋₉ -verzweigte und lineare Alkylester [68515-41-3], 271-083-0	-	-	3	-							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C ₇₋₁₁ -verzweigte und lineare Alkylester [68515-42-4], 271-084-6	-	-	2	3							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C ₉₋₁₁ -verzweigte und lineare Alkylester [68515-43-5], 271-085-1	-	-	3	-							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester, verzweigt und linear [84777-06-0], 284-032-2 n-Pentyl-isopentylphthalat Di-n-pentylphthalat [131-18-0], 205-017-9 Diisopentylphthalat (DIPP) [605-50-5], 210-088-4			2	2							
α- und β-Benzolhexachlorid s. 1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan											
Benzol-1,2,4-tricarbonsäure- 1,2-anhydrid (Rauch) [552-30-7], 209-008-0					S	0,04 A		1(I)		DFG	
Benzo[a]pyren [50-32-8], 200-028-5	2	2	2	2	S				H		
Benzo[e]pyren [192-97-2], 205-892-7	2										
Benzothiazol-2-thiol [149-30-4], 205-736-8					S	4 E			Y	DFG (2006)	
Benzotrichlorid s. α,α,α-Trichlortoluol											
Benzoylperoxid s. Dibenzoylperoxid											
Benzyl-n-butylphthalat [85-68-7], 201-622-7	-	-	2	3							
Benzylchlorid s. α-Chlortoluol											
Benzyl-2,4-dibrombutanoat [23085-60-1], 420-710-8				3	S						
Benzylidenchlorid s. α,α-Dichlortoluol											
Benzyl violett 4 B [1694-09-3], 216-901-9	3										
Beryllium [7440-41-7], 231-150-7 und seine Verbindungen *) Von der Einstufung ausgenommen sind Beryllium- Tonerdesilikate	2*) R49				S						
Berylliumoxid [1304-56-9], 215-133-1	2 R49				S						
BHC (ISO) s. HCH (ISO)											
Binapacryl (ISO) [485-31-4], 207-612-9			2						H		
2,2'-Bioxiran s. 1,2,3,4-Diepoxybutan											
Biphenylether s. Diphenylether											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
3,3',4,4'-Biphenyl-tetramin s. 3,3'-Diaminobenzidin											
Biphenyl-2-ylamin [90-41-5], 201-990-9	3										
Bis(4-aminophenyl)ether s. 4,4'-Oxydianilin											
Bis(p-aminophenyl)ether s. 4,4'-Oxydianilin											
(7-(4,6-Bis-(2-ammoniopropyl- amino)-1,3,5-triazin-2-ylamino)- 4-hydroxy-3-((2-methoxyphenyl)- azo)naphthalin-2-sulfonato)- monoformiat [108225-03-2], 402-060-7	2										
Bis-2-chlorethylether s. 2,2'-Dichlordiethylether											
Bis(2-chlorethyl)-methylamin s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
Bis(2-chlorethyl)sulfid s. 2,2'-Dichlordiethylsulfid											
Bis(chlormethyl)ether [542-88-1], 208-832-8	1								H		
Bis(cyclopenta-1,3-dienid- bis(2,6-difluor-3-(1H-pyrrol-1-yl)- phenolid)titan(IV) [125051-32-3], 412-000-1				3							
[4[4,4'-Bis(dimethylamino)- benzhydryliden]cyclohexa- 2,5-dien-1-ylidene]dimethyl- ammoniumchlorid s. C.I.Basic violet 3											
4,4'-Bis(dimethylamino)- benzophenon s. Michlers Keton											
Bis[4-(dimethylamino)- phenyl]methanon s. Michlers Keton											
Bis(dimethylthiocarbamoyl)- disulfid s. Thiram											
1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)benzol s. Diglycidylresorcinerether											
S-[1,2-Bis(ethoxycarbonyl)ethyl]- O,O-dimethyldithiophosphat s. Malathion											
Bis(2-ethylhexyl)phthalat [117-81-7], 204-211-0	-	-	2	2	10		8(II)	Y	DFG		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4-[[Bis-(4-fluorphenyl)methylsilyl]-methyl]-4H-1,2,4-triazol; 1-[[Bis-(4-fluorphenyl)-methylsilyl]methyl]-1H-1,2,4-triazol, Gemisch aus 403-250-2	3		2								
Bis(4-fluorphenyl)(methyl)(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)silan s. Flusilazol											
* 2,5-(und 2,6-)Bis(isocyanatomethyl)bicyclo[2.2.1]heptan 411-280-2					S	0,045	0,005			AGS (2007)	
1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan) [112-49-2], 203-977-3	-	-	2	2 3							
Bis(2-methoxyethyl)ether [111-96-6], 203-924-4			2	2		28	5	8(II)	H, Z	DFG (1996)	
Bis(2-methoxyethyl)ether s. Diethylenglykol-dimethylether											
Bis(2-methoxyethyl)phthalat [117-82-8], 204-212-6			2	3							
Bis-2-methoxypropylether s. Dipropylenglykolmono- methylether											
Bis(pentabromphenyl)ether [1163-19-5], 214-604-9	3	-	-	-							
Bisphenol A s. 4,4'-Isopropylidendiphenol											
* Bis(tributylzinn)oxid [56-35-9], 200-268-0			3	2		0,05	0,0021	1(II)	H, Y	DFG (2000)	
1,3-Bis(vinylsulfonylacetamido)- propan [93629-90-4], 428-350-3		3			S						
4,4'-Bi-o-toluidin s. 3,3'-Dimethylbenzidin											
Blausäure s. Cyanwasserstoff											
Blei [7439-92-1], 231-100-4			1	3		s. 50			50	EG	BGW
Bleiacetat, basisch [1335-32-6], 215-630-3	3		1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleialkyle, C _n = 1-5			1	3		s. -tetraethyl s. -tetramethyl			H		
Bleiazid [13424-46-9], 236-542-1			1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleichromat [7758-97-6], 231-846-0	3		1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleichromatmolybdatulfatot [12656-85-8], 235-759-9	3		1	3		s. Blei- verbindungen					BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bleidi(acetat) [301-04-2], 206-104-4			1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleihexafluorsilikat [25808-74-6], 247-278-1			1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleihydrogenarsenat [7784-40-9], 232-064-2	1		1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Blei(II)methansulfonat [17570-76-2]			1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleisulfochromatgelb [1344-37-2], 215-693-7	3		1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleitetraethyl [78-00-2], 201-075-4			1	3		0,05		2(II)	H, 10	DFG (1996)	BGW
Bleitetramethyl [75-74-1], 200-897-0			1	3		0,05		2(II)	H, 10	DFG (1997)	BGW
Blei-2,4,6-trinitroresorcinat [15245-44-0], 239-290-0			1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Bleiverbindungen mit Ausnahme der namentlich genannten			1	3		s. 50 anorg. Verb.			50	EG	BGW
* Borsäure und Natriumborate [10043-35-5], 233-139-2						0,5		2(I)	Y, 10	AGS (2007)	
* Bortrifluorid [7637-07-2], 231-569-5						1	0,35	2(II)	Y	AGS (2007)	
* Bortrifluorid-Dihydrat [13319-75-0], 231-569-5						1,5	0,35	2(II)	Y	AGS (2007)	
* Brom [7726-95-6], 231-778-1						0,7		1(I)		EG, AGS (2007)	
Bromchlortrifluoethan s. Halothan											
2-Brom-2-chlor-1,1,1- trifluoethan s. Halothan											
Bromethan [74-96-4], 200-825-8	2 3										
Bromethen (Bromethylen) [593-60-2], 209-800-6	2										
Brommethan [74-83-9], 200-813-2	-	3	-	-					H		
(R)-5-Brom-3-(1-methyl-2- pyrrolidinylmethyl)-1H-indol [143322-57-0], 422-390-5				3	S						
Bromoform s. Tribrommethan											
Bromoxynil [1689-84-5], 216-882-7			3		S						
Bromoxynil-Heptanoat [56634-95-8], 260-300-4			3		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bromoxyniloctanoat s. 2,6-Dibrom-4-cyanphenyl- octanoat											
1-Brompropan [106-94-5], 203-445-0	-	-	3	2							
2-Brompropan [75-26-3], 200-855-1				1							
1-Brom-3,4,5-trifluorbenzol [138526-69-9], 418-480-9	3										
Bromtrifluormethan (R13B1) [75-63-8], 200-887-6						6 200	1 000	8(II)	Y	DFG (1993)	
Bromwasserstoff s. Hydrogenbromid											
Buchenholzstaub s. Abschnitt 1.2	1					s. 50			50	EG	
1,3-Butadien [106-99-0], 203-450-8	1	2									
n-Butan [106-97-8], 203-448-7						2 400	1 000	4(II)		DFG	
iso-Butan [75-28-5], 200-857-2						2 400	1 000	4(II)		DFG	
Butanal s. Butyraldehyd											
1,4-Butandiol [110-63-4], 203-786-5						200	50	4(II)		AGS (1995)	
1-Butanol (n-) [71-36-3], 200-751-6						310	100	1(I)	Y	DFG	BGW
iso-Butanol [78-83-1], 201-148-0						310	100	1(I)	Y	DFG	
tert-Butanol s. 2-Methyl-2-propanol											
Butanon [78-93-3], 201-159-0			-			600	200	1(I)	H, Y	DFG (1998)	BGW
2-Butanonoxim [96-29-7], 202-496-6	3				S				H		
Butansulfon s. 1,4-Butansulton											
1,4-Butansulton [1633-83-6], 216-647-9	3										
2,4-Butansulton [1121-03-5], 214-325-2	2										
δ-Butansulton s. 1,4-Butansulton											
Butan-1-thiol [109-79-5], 203-705-3						1,9	0,5	2(II)	Y	DFG	
2-Butenal [123-73-9], 204-647-1 [4170-30-3], 224-030-0	-	3	-	-					H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,2-Butenoxid s. 1,2-Epoxybutan											
* But-2-in-1,4-diol [110-65-6], 203-788-6					S	0,2 E		1(I)	H, Y	DFG (2007)	
Butoxydiethylenglykol s. Butyldiglykol											
1-n-Butoxy-2,3-epoxypropan [2426-08-6], 219-376-4	3	2 3			S				H		
1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan [7665-72-7], 231-640-0	-	3	-	-	-				H		
2-Butoxyethanol [111-76-2], 203-905-0						98	20	4(II)	H, Y	DFG	BGW
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol s. Butyldiglykol											
2-Butoxyethylacetat [112-07-2], 203-933-3						130	20	4(II)	H, Y	DFG	BGW
n-Butylacrylat [141-32-2], 205-480-7					S	11	2	2(I)		DFG	
Butylalkohol (n-, sec-, tert- oder iso-) s. Butanol											
4-tert-Butylbenzoesäure [98-73-7], 202-696-3						2 E		2(II)	H	DFG (2006)	
N-Butyl-1-butanamin s. Di-n-butylamin											
n-Butylchlorformiat [592-34-7], 209-750-5						1,1	0,2	2(I)	Y	DFG (2006)	
n-Butylchlorid s. 1-Chlorbutan											
Butyldiglykol [2-(2-Butoxyethoxy) ethanol] [112-34-5], 203-961-6						100		1(I)	Y	DFG (1993)	
5-tert-Butyl-3-[2,4-dichlor-5- (prop-2-ynyloxy)phenyl]-1,3,4- oxadiazol-2(3H)-on s. Oxadiargyl											
2-tert-Butyl-4,6-dinitrophenol s. Dinoterb											
2-sec-Butyl-4,6-dinitrophenyl-3- methylcrotonat s. Binapacryl											
1,2-Butylenoxid s. 1,2-Epoxybutan											
Butylglycidether n-Butylglycidylether s. 1-n-Butoxy-2,3-epoxypropan											
tert-Butylglycidylether s. 1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Butylglykol s. 2-Butoxyethanol											
Butylglykolacetat s. 2-Butoxyethylacetat											
Butylmercaptan s. Butanthiol											
(tert-Butyl)methylether [1634-04-4], 216-653-1						180	50	1,5(I)	Y	DFG (2003)	
4-tert-Butylphenol (p-) [98-54-4], 202-679-0						0,5	0,08	2(II)	H	DFG	BGW
2-(4-tert-Butylphenoxy)cyclohexyl- prop-2-ynylsulfid s. Propargit											
2-(4-tert-Butylphenyl)ethanol [5406-86-0], 410-020-5				3							
cis-4-[3-(p-tert-Butylphenyl)- 2-methylpropyl]-2,6- dimethylmorpholin [67564-91-4], 266-719-9			3								
Butyl-2-[4-[[5-(trifluormethyl)- 2-pyridyl]oxy]-phenoxy]propionat s. Fluazifop-butyl											
Butyl-(R)-2-[4-[[5-(trifluormethyl)- 2-pyridyl]oxy]-phenoxy]propionat s. Fluazifop-P-butyl											
5-tert-Butyl-2,4,6-trinitro-m-xylol [81-15-2], 201-329-4	3	-	-	-							
Butyraldehyd [123-72-8], 204-646-6						64	20	1(I)		AGS (1993)	
5-(3-Butyryl-2,4,6-trimethyl- phenyl)-2-[1-(ethoxyimino)- propyl]-3-hydroxycyclohex-2- en-1-on [138164-12-2], 414-790-3			3	3							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Cadmium [7440-43-9], 2311528 und seine Verbindungen *) bioverfügbar, in Form atembarer Stäube/Aerosole, ausgenommen die namentlich aufgeführten	2*)								H		
Cadmium (pyrophor und stabilisiert)	2	3	3	3							
Cadmiumchlorid [10108-64-2], 233-296-7	2	2	2	2							
Cadmiumfluorid [7790-79-6], 232-222-0	2	2	2	2							
Cadmiumoxid [1306-19-0], 215-146-2	2	3	3	3							
Cadmiumsulfat [10124-36-4], 233-331-6	2	2	2	2							
Cadmiumsulfid [1306-23-6], 215-147-8	2	3	3	3							
Calciumarsenat s. Arsensäuresalze											
Calciumcarbimid s. Calciumcyanamid											
Calciumchromat [13765-19-0], 237-366-8	2										
Calciumcyanamid [156-62-7], 205-861-8						1 E		2(II)	H	DFG	
Calciumsulfat [7778-18-9], 231-900-3						6 A				DFG (1990)	
Campechlor [8001-35-2], 232-283-3	3								H		
ε-Caprolactam [105-60-2], 203-313-2						5 E		2(I)	11, Y	DFG (1990)	
Captafol (ISO) [2425-06-1], 219-363-3	2				S						
Captan (ISO) [133-06-2], 205-087-0	3				S						
Carbadox (INN) [6804-07-5], 229-879-0	2										
Carbaminsäureethylester s. Ethylcarbamat											
Carbanil s. Phenylisocyanat											
Carbaryl [63-25-2], 200-555-0	3					5 E		4(II)	H	DFG	
9H-Carbazol-3-amino-9-ethyl s. 3-Amino-9-ethylcarbazol											
Carbendazim (ISO) [10605-21-7], 234-232-0		2	2	2							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4,4'-Carbonimidoylbis(N,N-dimethylanilin) und seine Salze s. Auramin											
Carbonylchlorid s. Phosgen											
Chinomethionat [2439-01-2], 219-455-3				3	S				H		
Chlor [7782-50-5], 231-959-5						1,5	0,5	1(I)	Y	DFG	
2-Chloracetaldehyd [107-20-0], 203-472-8	3	-	-	-					H		
2-Chloracetamid [79-07-2], 201-174-2	-	-	-	3	S						
Chloracetamid-N-methylol s. N-Methylol-chloracetamid											
Chloralkane C10-13, Cl1-13 [85535-84-8], 287-476-5	3										
γ-Chlorallylchlorid s. 1,3-Dichlorpropen											
2-Chlorallyldiethyl-dithiocarbamat s. Sulfallat											
Chlorameisensäurebutylester s. Butylchlorformiat											
Chlorameisensäuremethylester s. Methylchlorformiat											
4-Chlor-2-aminotoluol s. 5-Chlor-o-toluidin											
5-Chlor-2-aminotoluol s. 4-Chlor-o-toluidin											
4-Chloranilin (p-) [106-47-8], 203-401-0	2				S				H		
Chlorbenzol [108-90-7], 203-628-5						47	10	2(II)	Y	DFG (1997)	BGW
4-Chlorbenzotrichlorid (p-) [5216-25-1], 226-009-1	2	-	-	2 3					H		
2-Chlor-1,3-butadien [126-99-8], 204-818-0	2	-	-	-					H		
1-Chlorbutan [109-69-3], 203-696-6						95,5	25	1(I)		AGS (1993)	
Chlordan [57-74-9], 200-349-0	3					0,5 E		8(II)	H	DFG	
Chlordecone [143-50-0], 205-601-3	3								H		
(2-Chlor-3-diethylamino-1-methyl-3-oxoprop-1-enyl)- dimethylphosphat s. Phosphamidon											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2-Chlor-2',6'-diethyl-N-(methoxymethyl)acetanilid s. Alachlor											
1-Chlor-1,1-difluoethan (R 142 b) [75-68-3], 200-891-8 s. Monochlordifluormethan						4 200	1 000	8(II)		DFG (1990)	
Chlordifluormethan (R 22) [75-45-6], 200-871-9						3 600			9	EG (1997)	
2-Chlor-1-(difluormethoxy)-1,1,2-trifluoethan s. 2-Chlor-1,1,2-trifluoethyl-difluormethylether											
5-Chlor-1,3-dihydro-2H-indol-2-on [17630-75-0], 412-200-9				3	S						
Chlordimeform (ISO) [6164-98-3], 228-200-5	3								H		
Chlordimeformhydrochlorid [19750-95-9], 243-269-1	3										
Chlordimethylether s. Monochlordimethylether											
Chlordioxid [10049-04-4], 233-162-8						0,28	0,1	1(I)		DFG	
1-Chlor-2,3-epoxypropan (Epichlorhydrin) [106-89-8], 203-439-8 [51594-55-9], 424-280-2	2				S				H		
Chloressigsäure [79-11-8], 201-178-4						4	1	1(I)	H	AGS (1996)	
Chloressigsäureethylester s. Ethylchloracetat											
Chloressigsäuremethylester s. Methylchloracetat											
* Chlorethan [75-00-3], 200-830-5	3					110	40	2(II)		AGS (2007)	
2-Chlorethanol [107-07-3], 203-459-7						3,3	1	1(II)	H, Y	DFG	
6-(2-Chlorethyl)-6-(methoxyethoxy)-2,5,7,10-tetraoxa-6-silaundecan [37894-46-5], 253-704-7			2								
Chlorfluormethan (R 31) [593-70-4], 209-803-2	2										
N-Chlorformyl-morpholin s. Morpholin-4-carbonylchlorid											
2-Chlor-N-hydroxy-methylacetamid s. N-Methylol-chloracetamid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
(3-Chlor-2-hydroxypropyl)- trimethylammoniumchlorid [3327-22-8], 222-048-3	3	-	-	-							
Chlorierte Biphenyle (42 % Chlor) [53469-21-9]	3		2	2		1,1	0,1	8(II)	H, Z	DFG	
Chlorierte Biphenyle (54 % Chlor) [11097-69-1]	3		2	2		0,7	0,05	8(II)	H, Z	DFG	
Chloriertes Camphen s. Camphechlor											
Chlormethan [74-87-3], 200-817-4	3					100	50	2(II)	H, Z	DFG	
Chlormethyl s. Chlormethan											
3-Chlor-6-methylanilin s. 5-Chlor-o-toluidin											
Chlormethylmethylether s. Monochlordimethylether											
3-Chlor-2-methylpropen [563-47-3], 209-251-2	3				S						
1-Chlor-2-nitrobenzol [88-73-3], 201-854-9	3	-	-	3					H		
1-Chlor-4-nitrobenzol [100-00-5], 202-809-6	3	3	-	-					H		
6-Chloro-N,N'-diethyl-1,3,5- triazin-2,4-diamin s. Simazin											
Chloroform s. Trichlormethan											
2-Chloropren s. 2-Chlor-1,3-butadien											
Chlorothalonil s. Chlorthalonil											
(2RS, 3RS; 2RS, 3SR)-2-(4- Chlorphenyl)-3-cyclopropyl-1-(1H- 1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol) s. Cyproconazol											
3-(4-Chlorphenyl)-1,1- dimethylharnstoff s. Monuron (ISO)											
1-(4-Chlorphenyl)-4,4-dimethyl-3- (1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan- 3-ol [107534-96-3], 403-640-2			3								
3-(4-Chlorphenyl)-1,1- dimethyluronium-trichloracetat [140-41-0]	3										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
(2RS, 3RS)-3-(2-Chlorphenyl)- 2-(4-fluorphenyl)-[(1H-1,2,4- triazol-1-yl)methyl]oxiran [133855-98-8], 406-850-2	3		3	3							
(3-Chlorphenyl)-(4-methoxy-3- nitrophenyl)methanon [66938-41-8], 423-290-4		3									
Chlorpikrin s. Trichlornitromethan											
3-Chlorpropen [107-05-1], 203-457-6	3	3							H		
3-Chlor-1-propen s. 3-Chlorpropen											
Chlorpyrifos (ISO) [2921-88-2], 220-864-4						0,2			H	AUS-NL (1997)	
Chlorthalonil [1897-45-6], 217-588-1	3				S						
4-Chlor-o-toluidin [95-69-2], 202-441-6 und -hydrochlorid [3165-93-3], 221-627-8	1 2	3	-	-					H		
5-Chlor-o-toluidin [95-79-4], 202-452-6	3										
α-Chlortoluol [100-44-7], 202-853-6, s. auch α-Chlortoluole	2	3	3	-					H		
Chlortoluole: Gemisch aus α-Chlortoluol [100-44-7], α,α-Dichlortoluol [98-87-3], α,α,α-Trichlortoluol [98-07-7]	1								H		
Chlortoluron [15545-48-9], 239-592-2	3		3								
3-(3-Chlor-p-tolyl)-1,1- dimethylharnstoffe s. Chlortoluron											
N-(4-Chlor-o-tolyl)-N',N'- dimethylformamidin s. Chlordimeform											
4-Chlor-1-trichlormethylbenzol s. 4-Chlorbenzotrithlorid											
2-Chlor-1,1,2-trifluor- ethylidfluormethylether s. Enfluran											
Chlortrifluormethan (R 13) [75-72-9], 200-894-4						4 300	1 000	8(II)		DFG (1990)	
Chlorwasserstoff [7647-01-0], 231-595-7						3	2	2(I)	Y	DFG (2006)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Chlozolate [84332-86-5], 282-714-4	3										
* Chrom [7440-47-3], 231-157-5 und anorganische Chrom(II) und (III)-Verbindungen						2 E		1(I)	10	EG (2007)	
Chrom-III-chromate („Chromic-chromate“) [24613-89-6], 246-356-2	2				S						
Chromdioxiddichlorid s. Chromoxychlorid											
Chromdioxychlorid s. Chromoxychlorid											
Chromgelb s. Bleichromat											
Chromoxychlorid [14977-61-8], 239-056-8	2 R49	2			S						
Chromsäure (Anhydrid) s. Chromtrioxid											
Chromsäureanhydrid s. Chromtrioxid											
Chromtrioxid [1333-82-0], 215-607-8	1	2		3	S						
Chrom(VI)-Verbindungen (in Form von Stäuben/Aerosolen ausgenommen die in Wasser praktisch unlöslichen wie z.B. Bariumchromat) *) namentlich genannte sind von der Einstufung ausgenommen (Zinkchromat, Bleichromat, Calciumchromat, Chrom- III-chromate, Chromtrioxid, Strontiumchromat, Ammonium-, Kalium-, Natriumdichromat, Natrium-, Kaliumchromat und Chromoxychlorid siehe dort)	2* R49				S						
Chromylchlorid s. Chromoxychlorid											
Chrysen [218-01-9], 205-923-4	2	3									
C.I. Basic Red 9 [569-61-9], 209-321-2	2	-	-	-							
C.I. Basic Violet 3 [548-62-9], 208-953-6	3	-	-	-							
C.I. Direct Black 38 [1937-37-7], 217-710-3	2		3								
C.I. Direct Blue 6 [2602-46-2], 220-012-1	2		3								
C.I. Direct Blue 218 [73070-37-8], 277-272-4	3	-	-	-							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
C.I. Direct Red 28 [573-58-0], 209-358-4	2		3								
C.I. Disperse Blue 1 s. 1,4,5,8-Tetraaminoanthrachinon											
C.I. Disperse Yellow 3 s. N-[4-[(Hydroxy-5-methylphenyl) azo]phenyl]acetamid											
Cinerin I [25402-06-6], 246-948-0 s. Pyrethrum											
Cinerin II [121-20-0], 204-454-2 s. Pyrethrum											
C.I. Solvent Yellow 14 [842-07-9], 212-668-2	3	3	-	-	S						
Clofenotan s. DDT											
Cobalt [7440-48-4], 231-158-0, bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole) ausgenommen Hartmetalle, cobalthaltige Spinelle und organische Sikkative	3	-	-	-	S						EKA
Cobaltverbindungen, bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole) ausgenommen Hartmetalle, cobalthaltige Spinelle und organische Sikkative	3	-	-	-							
Cobaltacetat-Tetrahydrat [6147-53-1]	2 R49	3	-	2							
Cobaltcarbonat [513-79-1], 208-169-4	2 R49	3	-	2							
Cobaltdichlorid [7646-79-9], 231-589-4	2 R49	3	-	2	S						
Cobaltnitrat-Hexahydrat [10026-22-9]	2 R49	3	-	2							
Cobaltoxid [1307-96-6], 215-154-6 bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole)	3	-	-	-	S						
Cobaltsulfat [10124-43-3], 233-334-2 - Heptahydrat [10026-24-1]	2 R49	3	-	2	S						
Cobaltsulfid [1317-42-6], 215-273-3 bioverfügbar (in Form atembarer Stäube/Aerosole)	3	-	-	-	S						
p-Cresidin s. p-Kresidin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Cresylglycidylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolylxy)propan											
Cristobalit [14464-46-1], 238-455-4 s. Quarz											
Crotonaldehyd s. 2-Butenal											
Cryofluoran (R 114) [76-14-2], 200-937-7						7 100	1 000	8(II)		DFG	
s. 1,2-Dichlor-1,1,2,2- tetrafluorethan											
Cumol [98-82-8], 202-704-5						100	20	2,5(I)	H, Y	EG (2006)	BGW
Cyanacrylsäuremethylester [137-05-3], 205-275-2						9,2	2	1(I)		DFG	
Cyanamid [420-04-2], 206-992-3				S		1 E	0,58	2(II)	H, Y	DFG (2004)	
4-Cyan-2,6-diiodo-phenyloctanoat [3861-47-0], 223-375-4			3	S							
α-Cyan-4-fluor-3-phenoxybenzyl- 3-(2,2-dichlorvinyl)-2,2- dimethylcyclopropancarboxylat s. Cyfluthrin											
Cyanide [als CN berechnet]										DFG	
Cyclohexan [110-82-7], 203-806-2	-	-		-		700	200	4(II)		DFG (1998)	BGW
Cyclohexanon [108-94-1], 203-631-1	-					80	20	1(I)	H, Y	AGS (1996)	
Cycloheximid [66-81-9], 200-636-0		3	2								
N-Cyclohexyl-N-methoxy-2,5- dimethyl-3-furamid [60568-05-0], 262-302-0	3										
trans-4-Cyclohexyl-L- prolinmonohydrochlorid [90657-55-9], 419-160-1				3	S						
1-Cyclopropyl-6,7-difluor- 1,4-dihydro-4-oxochinolin-3- carbonsäure [93107-30-3], 413-760-7				3							
5-Cyclopropyl-1,2-oxazol-4- yl-α,α,α-trifluor-2-mesyl-p- tolylketon s. Isoxaflutole											
Cyfluthrin [68359-37-5], 269-855-7						0,01 E		1(I)	Y	DFG (2006)	
Cyproconazol [94361-06-5]			3								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4-D [94-75-7], 202-361-1					S	1 E		8(II)	5, Y	DFG (1996)	
Salze und Ester der 2,4-D					S	1 E		8(II)	5, Y, H	DFG (1996)	
DDT (1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4- chlorphenyl)ethan) [50-29-3], 200-024-3	3								H		
DDVP s. Dichlorvos											
Decaboran [17702-41-9], 241-711-8						0,25	0,05	2(II)	H	DFG	
Decabromphenylether s. Bis(pentabromphenyl)ether											
Decachlorpentacyclo- [5.2.1.0 ^{2,6} .0 ^{3,9} .0 ^{5,8}]-decan-4-on s. Chlordecon											
Decachlortetracyclodecanon s. Chlordecon											
DEHP s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											
Demeton [8065-48-3]						0,1	0,01		H	AUS-NL	
Demetonmethyl [8022-00-2]						4,8	0,5	2(II)	H	DFG	
Diacetonalkohol s. 4-Hydroxy-4-methylpentan- 2-on											
Diallat (ISO) [2303-16-4], 218-961-1	3										
2,4-Diaminoanisol [615-05-4], 210-406-1 und 2,4-Diaminoanisol-sulfat [39156-41-7], 254-323-9	2	3							H		
3,3'-Diaminobenzidin [91-95-2], 202-110-6, und seine Salze	3								H		
1,2-Diaminobenzol s. o-Phenylendiamin											
1,3-Diaminobenzol s. m-Phenylendiamin											
1,4-Diaminobenzol s. p-Phenylendiamin											
4,4'-Diamino-3,3'- dichlordiphenylmethan s. 4,4'-Methylen-bis(2-chloranilin)											
4,4'-Diaminodiphenyl s. Benzidin											
4,4'-Diaminodiphenylether s. 4,4'-Oxydianilin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4,4'-Diaminodiphenylmethan [101-77-9], 202-974-4	2	3			S				H		
4,4'-Diaminodiphenylsulfid s. 4,4'-Thiodianilin											
1,3-Diamino-4-methylbenzol s. 2,4-Toluyldiamin											
1,5-Diaminonaphthalin s. 1,5-Naphthylendiamin											
Diaminotoluol s. Methyl-phenylendiamin											
2,4-Diaminotoluol s. 2,4-Toluyldiamin											
o-Dianisidin s. 3,3'-Dimethoxybenzidin											
Diantimontrioxid s. Antimontrioxid											
Diarsenpentaoxid s. Arsenpentoxid											
Diarsentrioxid s. Arsentrioxid											
Diazinon [333-41-5], 206-373-8						0,1 E		2(II)	H, Y	DFG (1997)	
Diazomethan [334-88-3], 206-382-7	2										
Dibenz(a,h)anthracen [53-70-3], 200-181-8	2										
Dibenz[b,e](1,4)dioxin s. 2,3,7,8-Tetrachlor- dibenzo-p-dioxin											
Dibenzodioxin, chloriert s. 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p- dioxin											
Dibenzoylperoxid [94-36-0], 202-327-6					S	5 E		1(I)		DFG	
Dibrom s. Naled											
1,2-Dibrom-3-chlorpropan [96-12-8], 202-479-3	2	2	-	1					H		
2,6-Dibrom-4-cyanphenyloctanoat [1689-99-2], 216-885-3			3		S						
2,6-Dibrom-4-cyanphenyl- Heptanoat s. Bromoxynil-Heptanoat											
1,2-Dibrom-2,2-dichlorethyl- dimethylphosphat s. Naled											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,2-Dibromethan [106-93-4], 203-444-5	2								H		
3,5-Dibrom-4-hydroxy-benzonitril s. Bromoxynil (ISO)											
2,2-Dibrom-2-nitroethanol [69094-18-4], 412-380-9	3				S						
2,3-Dibrompropan-1-ol [96-13-9], 202-480-9	2	-	-	3					H		
Di-n-butylamin [111-92-2], 203-921-8						29	5	1(I)	H, 6	AGS (1993)	
N,N-Di-n-butylnitrosamin s. N-Nitrosodi-n-butylamin											
Di-n-butylphthalat [84-74-2], 201-557-4	-	-	2	3 2							
Dichloracetylen [7572-29-4]	3 2										
S-2,3-Dichlorallyldiiso- propylthiocarbamat s. Diallat											
3,3'-Dichlorbenzidin [91-94-1], 202-109-0 und seine Salze	2				S				H		
1,2-Dichlorbenzol (o-) [95-50-1], 202-425-9						61	10	2(II)	H, Y	DFG (2003)	BGW
1,3-Dichlorbenzol (m-) 541-73-1], 208-792-1						20	3,3	4(II)	H	AGS (1996)	
* 1,4-Dichlorbenzol (p-) 106-46-7], 203-400-5	3	-				120	20	2(II)	H, 13	EG (2007)	BGW EKA
1,4-Dichlor-2-buten [764-41-0], 212-121-8	2								H		
2,2'-Dichlor-diethylether [111-44-4], 203-870-1	3					59	10	1(I)	H	DFG	
2,2'-Dichlor-diethylsulfid [505-60-2]	1								H		
Dichlordifluormethan (R 12) [75-71-8], 200-893-9						5 000	1 000	2(II)	Y	DFG	
Dichlordimethylether s. Bis(chlormethyl)ether											
1,1'-Dichlordimethylether s. Bis(chlormethyl)ether											
3,5-Dichlor-N-(1,1-dimethylprop- 2-ynyl)benzamid [23950-58-5], 245-951-4	3										
1,1-Dichlorethan [75-34-3], 200-863-5						410	100	2(II)		DFG	
1,2-Dichlorethan [107-06-2], 203-458-1	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1,1-Dichlorethen [75-35-4], 200-864-0	3					8	2	2(II)	Y	DFG	
1,2-Dichlorethen sym. [540-59-0], 208-750-2 (cis- [156-59-2] und trans- [156-60-5])						800	200	2(II)		DFG	
Dichlorethin s. Dichloracetylen											
1,2-Dichlorethylen s. 1,2-Dichlorethen											
1,2-Dichlorethylmethylether s. 1,2-Dichlormethoxyethan											
α,β-Dichlorethylmethylether s. 1,2-Dichlormethoxyethan											
Dichlorfluormethan (R 21) [75-43-4], 200-869-8						43	10	2(II)		DFG	
α-Dichlorhydrin s. 1,3-Dichlor-2-propanol											
* Dichlormethan [75-09-2], 200-838-9	3					260	75	4(II)		AGS (2007)	BGW EKA
1,2-Dichlormethoxyethan [41683-62-9]	-	3	-	-					H		
Dichlormethylbenzol s. Dichlortoluol (Isomergemisch)											
1,3-Dichlor-4-methylbenzol s. 2,4-Dichlortoluol											
2,2'-Dichlor-N-methyldiethylamin s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
2,2'-Dichlor-4,4'-methyldianilin s. 4,4'-Methylen-bis(2-chloranilin)											
Dichlorodiphenyltrichlorethan s. DDT											
2,4-Dichlorphenoxyessigsäure s. 2,4-D											
3-(3,4-Dichlorphenyl)-1,1- dimethylharnstoff s. Diuron											
3-(3,5-Dichlorphenyl)-2,4-dioxo- N-isopropylimidazolidin-1- carboxamid [36734-19-7], 253-178-9	3										
3-(3,4-Dichlorphenyl)-1-methoxy- 1-methylharnstoff s. Linuron (ISO)											
N-3,5-Dichlorphenyl-5-methyl-5- vinyl-1,3-oxazolidin-2,4-dion s. Vinclozolin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4-Dichlorphenyl-4-nitrophenylether s. Nitrofen											
(±)-2-(2,4-Dichlorphenyl)-3-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)propyl-1,1,2,2-tetrafluorethylether [112281-77-3], 407-760-7	3										
1,3-Dichlor-2-propanol [96-23-1], 202-491-9	2								H		
E,Z-1,3-Dichlorpropen [542-75-6], 208-826-5 (gilt nur für das technische Gemisch)	2	3	-	-	S				H		
2,3-Dichlorpropen [78-88-6], 201-153-8		3							H		
3-[2,4-Dichlor-5-(2-propynyloxy)-phenyl]-5-(1,1-dimethylethyl)-1,3,4-oxadiazol-2(3H)-on s. Oxadiargyl											
2,4'-Dichlor-α-(pyrimidin-5-yl)-benzhydrylalkohol s. Fenarimol											
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan s. Cryofluoran (R 114)											
α,α-Dichlortoluol [98-87-3], 202-709-2 s. auch α-Chlortoluole	3								H		
Dichlortoluol (Isomerengemisch, ringsubstituiert) [29797-40-8], 249-854-8						30	5	4(II)	H	AGS (1995)	
2,4-Dichlortoluol [95-73-8], 202-445-8						30	5	4(II)	H	AGS (1995)	
2,2-Dichlor-1,1,1-trifluorethan (R 123) [306-83-2], 206-190-3	3	-	-	-							
(2,2-Dichlorvinyl)- dimethylphosphat s. Dichlorvos											
Dichlorvos [62-73-7], 200-547-7					S	1	0,11	2(II)	H, Y	DFG	
Dicyclohexylnitrosamin [947-92-2]	-	3	-	-							
Dicyclopentadien(3a,4,7,7a-Tetrahydro-4,7-methanoinden) [77-73-6], 201-052-9						2,7	0,5	1(I)		DFG	
Dieisentrioxid s. Eisen(III)oxid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Dieldrin (HEOD) [60-57-1], 200-484-5	3					0,25 E		8(II)	H	DFG	
1,2,3,4-Diepoxybutan [1464-53-5], 215-979-1	2	2	-	3					H		
1,3-Di(2,3-epoxypropoxy)benzol s. Diglycidylresorcinether											
Dieselmotor-Emissionen s. Abschnitt 1.2	2										
N,N-Diethanolnitrosamin s. N-Nitrosodiethanolamin											
Diethylamin [109-89-7], 203-716-3						15	5	=2(I)	H, 6	EG, DFG (1999)	
2-Diethylaminoethanol [100-37-8], 202-845-2						24	5	1(I)	H	DFG (2000)	
Diethylcarbaminsäurechlorid [88-10-8], 201-798-5	3										
Diethylendioxid s. 1,4-Dioxan											
Diethylenglykol [111-46-6], 203-872-2						44	10	4(II)	Y	DFG (1997)	
Diethylenglykoldimethylether s. Bis(2-methoxyethyl)ether											
Diethylenglykol-monobutylether s. Butyldiglykol											
Diethylether [60-29-7], 200-467-2						1200	400	1(I)		DFG	
Di-(2-ethylhexyl)phthalat s. Bis(2-ethylhexyl)phthalat											
O,O-Diethyl-O-(4-nitro- phenyl)thiophosphat s. Parathion											
N,N-Diethylnitrosamin s. N-Nitrosodiethylamin											
Diethylsulfat [64-67-5], 200-589-6	2	2							H		
1,1-Difluorethen (R 1132a) [75-38-7], 200-867-7	3										
1,1-Difluorethylen s. 1,1-Difluorethen											
Difluormonochlorethan s. 1-Chlor-1,1-difluorethan											
Difluormonochlormethan s. Monochlordifluormethan											
Diglycidylether [2238-07-5], 218-802-6	3								H		
1,3-Diglycidyloxybenzol s. Diglycidylresorcinether											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diglycidylresorcinether 1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)benzol [101-90-6], 202-987-5	2 3	3			S				H		
Diglyme s. Diethylenglykoldimethylether											
Di-iso-heptylphthalat s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C6-8-verzweigte Alkylester											
N,N'-Dihexadecyl-N,N'-bis(2- hydroxyethyl)propandiamid [149591-38-8], 422-560-9				3							
* Dihydrogenselenid (Selenwasserstoff) [7783-07-5], 231-978-9						0,05	0,015	2(l)	Y	DFG (2007)	
(S)-2,3-Dihydro-1H-indol-2- carbonsäure [79815-20-6], 410-860-2				3	S						
(E)-4,5-Dihydro-6-methyl-4-(3- pyridylmethylenamino)-1,2,4- triazin-3(2H)-on s. Pymetrozin											
1,2-Dihydro-5-nitro- acenaphthylen s. 5-Nitroacenaphthen											
* 1,3-Dihydroxybenzol (Resorcin) [108-46-3], 203-585-2					S	20 E	4	1(l)	Y, H	AGS (2007)	
1,4-Dihydroxybenzol [123-31-9], 204-617-8	3	3	-	-	S				H		
4-[4-(1,3-Dihydroxyprop-2-yl)- phenylamino]-1,8-dihydroxy-5- nitroanthrachinon [114565-66-1], 406-057-1	3				S						
m-Diisocyanattoluol [26471-62-5], 247-722-4	3				S	0,035	0,005	1; =4=(l)	12	AGS (2003)	
2,4-Diisocyanattoluol [584-84-9], 209-544-5	3				S	0,035	0,005	1; =4=(l)	12	AGS (2003)	
2,6-Diisocyanattoluol [91-08-7], 202-039-0	3				S	0,035	0,005	1; =4=(l)	12	AGS (2003)	
Di-(isooctyl)phthalat s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											
Diisopentylphthalat (DIPP) s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Di-isopropylether [108-20-3], 203-560-6						850	200	2(l)		DFG (2003)	
N,N-Diisopropyl-nitrosamin s. N-Nitrosodi-i-propylamin											
3,3'-Dimethoxybenzidin [119-90-4], 204-355-4 und seine Salze	2								H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,2-Dimethoxyethan [110-71-4], 203-794-9	-	-	2	2							
Dimethoxymethan [109-87-5], 203-714-2						3 200	1 000	2(II)		DFG	
N,N-Dimethylacetamid [127-19-5], 204-826--4	-	-	2	3		36	10	2(II)	H, Y	DFG, EG (1997)	BGW
Dimethylamin [124-40-3], 204-697-4						3,7	2	2(I)	6	EG, DFG (1994)	
4,4'-Dimethylaminobenzo- phenonimid-Hydrochlorid s. Auramin											
α-[4-(4-Dimethylamino-(4- ethyl(3-natriosulfonatobenzyl)- amino]phenyl)benzyliden)- cyclohexa-2,5-dienyliden-(ethyl- ammonio)toluol-3-sulfonat s. Benzyl violett 4B											
Dimethylaminosulfochlorid, Dimethylaminosulfonylchlorid s. Dimethylsulfamoylchlorid											
N,N-Dimethylanilin [121-69-7], 204-493-5	3	-	-	-		25	5	2(II)	H	DFG	
2,4-Dimethylanilin s. 2,4-Xylidin											
N,N-Dimethylaniliniumtetrakis- (pentafluorphenyl)borat [118612-00-3], 422-050-6	3										
3,3'-Dimethylbenzidin [119-93-7], 204-358-0 und seine Salze	2								H		
1,1'-Dimethyl-4,4'-bipyridinium s. Paraquatdichlorid											
2,2-Dimethylbutan [75-83-2], 200-906-8						720	200	2(II)		DFG (1992)	
2,3-Dimethylbutan [79-29-8], 201-193-6						720	200	2(II)		DFG (1992)	
Dimethylcarbamidsäurechlorid [79-44-7], 201-208-6	2								H		
Dimethylcarbamoylchlorid s. Dimethylcarbamidsäurechlorid											
3,3'-Dimethyl-4,4'-diaminodi- phenylmethan (Methylendi-o-toluidin) [838-88-0], 212-658-8	2				S				H		
Dimethylether [115-10-6], 204-065-8						1 900	1 000	8(II)		DFG	
N,N-Dimethylformamid [68-12-2], 200-679-2			2			30	10	2(II)	Z, H	DFG (1993)	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Dimethylglykol s. 1,2-Dimethoxyethan											
1,1-Dimethylhydrazin [57-14-7], 200-316-0	2								H		
1,2-Dimethylhydrazin [540-73-8]	2								H		
Dimethylhydrogenphosphit [868-85-9], 212-783-8	3										
Dimethylhydrogenphosphonat s. Dimethylhydrogenphosphit											
N,N-Dimethylisopropylamin [996-35-0], 213-635-5						3,6	1	2(I)		DFG (2006)	
Dimethyl-1-methyl-2-(methyl- carbamoyl)-vinylphosphat s. Monocrotophos											
N,N-Dimethylnitrosamin s. N-Nitrosodimethylamin											
Dimethylphosphit, Dimethylphosphonat s. Dimethylhydrogenphosphit											
Dimethylpropan [463-82-1], 207-343-7						3 000	1 000	2(II)		DFG, EG	
1,1-Dimethylpropylacetat [625-16-1]						270	50	1(I)		EG, DFG (!998)	
Dimethylsulfamoylchlorid [13360-57-1], 236-412-4	2								H		
Dimethylsulfat [77-78-1], 201-058-1	2	3	-	-	S				H		
2,6-Dimethyl-4-tridecylmorpholin s. Tridemorph											
Dinatrium-{5-[(4'-((2,6-dihydroxy- 3-(2-hydroxy-5-sulfophenyl)azo)- phenyl)azo)(1,1'-biphenyl)-4-yl)- azo]salicylato-(4-)}cuprat(2-) [16071-86-6], 240-221-1	2										
Dinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4- 5-(3-ethoxycarbonyl-5-hydroxy-1- 4-sulfonatophenyl)-pyrazol-4-yl)- penta-2,4-dienyliden)-4,5- dihydro-5-oxopyrazol-1-yl)- benzolsulfonat und Trinatrium- 4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5- 3-ethoxycarbonyl-5-oxido-1-(4- sulfonatophenyl)pyrazol-4-yl)- penta-2,4-dienyliden)-4,5- dihydro-5-oxopyrazol-1-yl)benzol- sulfonat, Gemisch aus 402-660-9			2								
Dinickeltrioxid [1314-06-3], 215-217-8	1 R49				S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4,6-Dinitro-o-kresol (DNOC) [534-52-1], 208-601-1		3			S				H		
Dinitronaphthaline (alle Isomeren) [27478-34-8], 248-484-4	3										
Dinitrotoluole (techn. Gemisch) [25321-14-6], 246-836-1	2	3	-	3					H		
2,3-Dinitrotoluol [602-01-7], 210-013-5	2	3		3					H		
2,4-Dinitrotoluol [121-14-2], 204-450-0	2	3		3					H		
2,5-Dinitrotoluol [619-15-8], 210-581-4	2	3		3					H		
2,6-Dinitrotoluol [606-20-2], 210-106-0	2	3		3					H		
3,4-Dinitrotoluol [610-39-9], 210-222-1	2	3		3					H		
3,5-Dinitrotoluol [618-85-9], 210-566-2	2	3		3					H		
Dinocarb [39300-45-3], 254-408-0			2		S						
Dinoseb; 6-(1-Methyl-propyl)-2,4- dinitrophenol [88-85-7], 201-861-7			2	3					H		
Dinoseb, Salze und Ester			2	3					H		
Dinoterb [1420-07-1], 215-813-8			2						H		
Dinoterb, Salze und Ester			2						H		
Di-sec-octylphthalat s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											
Di-n-octylzinnverbindungen s. Zinnverbindungen, org.											
Dioxacyclopentan s. 1,3-Dioxolan											
Dioxan s. 1,4-Dioxan											
1,4-Dioxan [123-91-1], 204-661-8	3					73	20	2(I)	H	DFG (2001)	
Dioxathion (ISO) [78-34-2], 201-107-7						0,2			H	AUS-NL (1997)	
* 1,3-Dioxolan [646-06-0], 211-463-5						310	100	2(II)	H, Y	DFG (2007)	
Di-n-pentylphthalat s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Diphenyl s. Biphenyl											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diphenylether (Dampf) [101-84-8], 202-981-2						7,1	1	1(I)		DFG	
Diphenylether, Octabromderivat s. Octabromdiphenylether											
1,3-Diphenylguanidin [102-06-7], 203-002-1				3							
Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat [101-68-8], 202-966-0 ¹⁾ in Form atembarer Aerosole, A-Fraktion. Gilt auch für techn. (polymere) MDI [9016-87-9]	3 ¹⁾	-	-	-	S	0,05	0,005	1; =2=(I)	11, 12	DFG (1993)	BGW
* Diphosphorpentasulfid [1314-80-3], 215-242-4						1		4(I)	13	EG (2007)	
Diphosphorpentoxid s. Phosphorpentoxid											
DIPP s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Dipropylenglykol s. Oxydipropanol											
Dipropylenglykolmonomethylether [34590-94-8], 252-104-2 (Isomerengemisch)						310	50	1(I)		DFG, EG (1997)	
N,N-Di-n-propylnitrosamin s. N-Nitrosodi-n-propylamin											
Direct Blue 218 s. C.I. Direct Blue 218											
Distickstoffmonoxid [10024-97-2], 233-032-0						180	100	2(II)		DFG (1994)	
Disulfiram [97-77-8], 202-607-8					S	2 E		8(II)	6	DFG	
Diuron (ISO) [330-54-1], 206-354-4	3										
Divanadiumpentaoxid s. Vanadiumpentaoxid											
DNOC s. 4,6-Dinitro-o-kresol											
Dodecachlorpentacyclo- [5.2.1.02,6.03,9.05,8]decan s. Mirex											
Dodecan-1-ol [112-53-8], 203-982-0						155	20	1(I)		AGS (2006)	
DOP s. Di-(2-ethylhexyl)phthalat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	
Echtgranat-GBC-base s. 2-Aminoazotoluol											
Eichenholzstaub s. Abschnitt 1.2	1 R49					s. 50			50	EG	
Eisen(II)-oxid [1345-25-1], 215-721-8						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Eisen(III)-oxid [1309-37-1], 215-168-2						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Endrin [72-20-8], 200-775-7						0,1 E		8(II)	H, Y	DFG	
Enfluran [13838-16-9], 237-553-4						150	20	8(II)	Y	DFG (1996)	
Epichlorhydrin s. 1-Chlor-2,3-epoxypropan											
EPN, O-Ethyl-O-(4-nitrophenyl)- phenylthiophosphonat [2104-64-5], 218-276-8						0,5 E		2(II)	H	DFG	
1,2-Epoxy-3-allyloxypropan s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
1,2-Epoxybutan [106-88-7], 203-438-2	2 3								H		
1,2-Epoxy-4-(epoxyethyl)- cyclohexan s. 1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclo- hexan											
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol [111-90-0], 203-919-7						35	6	2(I)		DFG (2007)	
(Epoxyethyl)benzol s. Styroloxid											
1-(Epoxyethyl)-3,4-epoxycyclo- hexan [106-87-6], 203-437-7	2								H		
2,3-Epoxy-1,4,5,6,7,8,8- heptachlor-3a,4,7,7a-tetrahydro- 4,7-methanoindan s. Heptachlorepoxyd											
1,2-Epoxy-3-isopropoxypropan s. iso-Propylglycidylether											
1,2-Epoxy-3-phenoxypropan s. Phenylglycidylether											
1,2-Epoxypropan (Propylenoxid) [75-56-9], 200-879-2	2	2							H		
2,3-Epoxy-1-propanol s. Glycidol											
2,3-Epoxypropyl-o-tolyether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2,3-Epoxypropyltrimethyl- ammoniumchlorid s. Glycidyltrimethylammonium- chlorid											
1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan (alle Isomeren) [26447-14-3], 247-711-4	3	3			S						
Erionit [12510-42-8]	1										
* Essigsäure [64-19-7], 200-580-7						25	10	2(I)	Y	DFG (2007)	
Essigsäureamylester s. Pentylacetat											
Essigsäureanhydrid [108-24-7], 203-564-8						21	5	1(I)		DFG	
Essigsäureethylester s. Ethylacetat											
Essigsäuremethylester s. Methylacetat											
Essigsäurevinylester s. Vinylacetat											
Estrogene	3	-	3	1							
Estrogene, schwache	-	-	3	3							
Etacelasil s. 6-(2-Chlorethyl)-6-(2-methoxy- ethoxy)-2,5,7,10-tetraoxa-6- silaundecan											
Ethanal s. Acetaldehyd											
Ethandial s. Glyoxal											
1,2-Ethandiol s. Ethylenglykol											
Ethanol [64-17-5], 200-578-6						960	500	2(II)	Y	DFG (2003)	
Ethanolamin s. 2-Aminoethanol											
Ethanthiol [75-08-1], 200-837-3						1,3	0,5	2(II)		DFG	
Ethen [74-85-1], 200-815-3	-	3	-	-						EKA	
0,0'-(Ethenylmethylsilylen)di[(4- methylpentan-2-on)oxim] 421-870-1				3							
Ether s. Diethylether											
2-Ethoxy-6-aminonaphthalin s. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4-Ethoxyanilin [156-43-4], 205-855-5		3			S				H		
4'-Ethoxy-2-benzimidazolanilid [120187-29-3], 407-600-5		3									
2-Ethoxyethanol [110-80-5], 203-804-1			2	2		19	5	8(II)	Z, H	DFG (1996)	BGW
2-Ethoxyethylacetat [111-15-9], 203-839-2			2	2		27	5	8(II)	Z, H	DFG (1996)	BGW
2-Ethoxy-1-methylethylacetat [54839-24-6], 259-370-9						300	50	2(II)	Y, 14	DFG (2007)	
1-Ethoxypropan-2-ol, 1-Ethoxy-2-propanol [1569-02-4], 216-374-5						220	50	2(II)	H, Y, 14	DFG (2007)	
1-Ethoxy-2-propylacetat s. 2-Ethoxy-1-methylethylacetat											
5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4- thiadiazol [2593-15-9], 219-991-8		3							H		
Ethylacetat [141-78-6], 205-500-4						1 500	400	2(I)	Y	DFG	
Ethylacrylat [140-88-5], 205-438-8					S	21	5	2(I)	H	DFG	
Ethylalkohol s. Ethanol											
Ethylamin [75-04-7], 200-834-7						9,4	5	=2=(I)		DFG, EG (1999)	
* Ethylbenzol [100-41-4], 202-849-4						440	100	2(II)	H, 13	EG (2007)	BGW
Ethylbromid s. Bromethan											
Ethylcarbammat (Urethan) [51-79-6], 200-123-1		2							H		
Ethylchloracetat [105-39-5], 203-294-0					S	5	1	1(I)	H	AGS (1996)	
Ethylchlorid s. Chlorethan											
Ethyl-(RS)-3-(3,5-dichlorphenyl)- 5-methyl-2,4-dioxooxazolidin-5- carboxylat s. Chlozoline											
Ethylen s. Ethen											
Ethylenbromid s. 1,2-Dibromethan											
Ethylenchlorhydrin s. 2-Chlorethanol											
Ethylenchlorid s. 1,2-Dichlorethan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ethylendibromid s. 1,2-Dibromethan											
2,2'-(Ethylendioxy)diethanol [112-27-6], 203-953-2						1000 E		2(II)	Y	DFG (2007)	
Ethylenglykol (Ethandiol) [107-21-1], 203-473-3						26	10	2(I)	H, Y	DFG (1992)	
Ethylenglykoldinitrat (Glykoldinitrat) [628-96-6], 211-063-0						0,32	0,05	1(II)	7, H	DFG	BGW
Ethylenglykolmonobutylether s. 2-Butoxyethanol											
Ethylenglykolmonobutyl- etheracetat s. 2-Butoxyethylacetat											
Ethylenglykolmonoethylether s. 2-Ethoxyethanol											
Ethylenglykolmonoethyletheracetat s. 2-Ethoxyethylacetat											
Ethylenglykolmonomethylether s. 2-Methoxyethanol											
Ethylenglykolmonomethyl- etheracetat s. 2-Methoxyethylacetat											
Ethylenimin [151-56-4], 205-793-9	2	2							H		
Ethylenoxid [75-21-8], 200-849-9	2	2							H		
Ethylenthioharnstoff [96-45-7], 202-506-9	3	-	2								
Ethylether s. Diethylether											
Ethyl-3-ethoxypropionat [763-69-9], 212-112-9						610	100	1(I)	H, Y	DFG (2007)	
Ethylformiat [109-94-4], 203-721-0						310	100	1(I)	Y, H	DFG	
Ethylglykol s. 2-Ethoxyethanol											
Ethylglykolacetat s. 2-Ethoxyethylacetat											
2-Ethylhexan-1-ol [104-76-7], 203-234-3						110	20	1(I)	Y	DFG (2007)	
2-Ethylhexansäure [149-57-5], 205-743-6			3								
2-Ethylhexylacrylat [103-11-7], 203-080-7					S	82	10	1(I)		AGS (1993)	
2-Ethylhexyl-[[[3,5-bis(1,1- dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]- methyl]thio]acetat [80387-97-9], 279-452-8			2		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ethylidenchlorid s. 1,1-Dichlorethan											
Ethylmercaptan s. Ethanthiol											
Ethylmethylketon s. 2-Butanon											
Ethylmethylketoxim s. 2-Butanonoxim											
3-Ethyl-2-methyl-2-(3- methylbutyl)-1,3-oxazolidin [143860-04-2], 421-150-7				2							
4-Ethyl-4-methylmorpholinium- bromid [65756-41-4], 418-210-1		3									
1-Ethyl-1-methyl- pyrrolidiniumbromid [69227-51-6], 418-200-5		3									
O-Ethyl-O-(4-nitrophenyl) phenylthiophosphonat s. EPN											
N-Ethyl-N-nitrosoanilin s. N-Nitrosoethylphenylamin											
N-Ethyl-N-nitrosoethanamin s. N-Nitrosodiethylamin											
S-Ethyl-1-perhydroazepinthioat s. Molinat											
Ethylurethan s. Ethylcarbamat											
Etridiazol s. 5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4- thiadiazol											
Extrakte (Erdöl), leichte naphthen- haltige Destillat-Lösungsmittel [64742-03-6], 265-102-1	2										
Extrakte (Erdöl), leichte paraffin- haltige Destillat-Lösungsmittel [64742-05-8], 265-104-2	2										
Extrakte (Erdöl), leichtes Vakuum-Gasöl-Lösungsmittel [91995-78-7], 295-341-7	2										
Extrakte (Erdöl), schwere Naphthenhaltige Destillat- Lösungsmittel [64742-11-6], 265-111-0	2										
Extrakte (Erdöl), schwere Paraffin- haltige Destillat-Lösungsmittel [64742-04-7], 265-103-7	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Faserstäube, anorganische, krebserzeugend Kat. 1, 2 u. 3 (außer Asbest) s. Abschnitt 1.2											
Fenarimol [60168-88-9], 262-095-7			3	3							
Fenpropimorph s. cis-4-[3-(p-tert-Butylphenyl)- 2-methylpropyl]-2,6- dimethylmorpholin											
Fenthion [55-38-9], 200-231-9		3				0,2 E		2(II)	H	DFG	
Fentinacetat [900-95-8], 212-984-0	3		3						H		
Fentinhydroxid [76-87-9], 200-990-6	3		3						H		
Fluazifop-butyl [69806-50-4], 274-125-6			2								
Fluazifop-P-butyl [79241-46-6]			3								
Flumioxazin [103361-09-7]			2								
* Fluor [7782-41-4], 231-954-8						1,6	1	2(I)	13	EG (2007)	
N-(7-Fluor-3,4-dihydro-3-oxo-4- prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6- yl)cyclohex-1-en-1,2- dicarboxamid s. Flumioxazin											
1-(4-Fluor-5-hydroxymethyl-tetra- hydrofuran-2-yl)-1H-pyrimidin- 2,4-dion [41107-56-6], 415-360-8		3									
* Fluoride (als Fluor berechnet) [16984-48-8]						1 E		4(II)	Y, H	DFG (2007)	BGW
Fluortrichlormethan s. Trichlorfluormethan											
* Fluorwasserstoff [7664-39-3], 231-634-8						0,83	1	2(I)	Y, H	DFG (2007)	BGW
Flusilazol [85509-19-9]	3		2								
Folpet s. N-(Trichlormethylthio)- phthalimid											
Formaldehyd [50-00-0], 200-001-8	3				S				H		
Formamid [75-12-7], 200-842-0			2						H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Furaldehyd s. 2-Furylmethanal											
Furan [110-00-9], 203-727-3	2	3	-	-					H		
Furfural, Furfurol s. 2-Furylmethanal											
Furfurylalkohol [98-00-0], 202-626-1						41	10	1(l)	H	DFG (1993)	
Furmecydox s. N-Cyclohexyl-N-methoxy- 2,5-dimethyl-3-furamid											
2-Furylmethanal [98-01-1], 202-627-7	3	-	-	-	S				H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Gestagene	3	-	2	1							
Gestagene, schwache	-	-	3	3							
Glucocorticoide	-	-	1	3							
Glycerin- α,γ -dichlorhydrin s. 1,3-Dichlor-2-propanol											
Glycidol (2,3-Epoxy-1-propanol) [556-52-5], 2091283 [57044-25-4], 404-660-4	2	3	-	2					H		
Glycidyltrimethylammonium- chlorid [3033-77-0], 221-221-0	2	3	-	-					H		
Glykol s. Ethylenglykol											
Glykoldinitrat s. Ethylenglykoldinitrat											
Glyoxal [107-22-2], 203-474-9		3			S				H		
Graphit [7782-42-5; 7440-44-0], 231-955-3						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Grotan HD s. N-Methylol-chloracetamid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Halothan [151-67-7], 205-796-5			2	-		41	5	8(II)	Z	DFG	BGW
HCH (ISO) [608-73-1], 210-168-9	3					0,5 E		8(II)	H, 8	DFG	
HDI s. Hexamethylen-1,6-diisocyanat											
Hempa s. Hexamethylphosphor- säuretriamid											
HEOD s. Dieldrin											
Heptachlor [76-44-8], 200-962-3	3					0,5 E		2(II)	H	DFG	
Heptachlorepoxyd [1024-57-3], 213-831-0	3										
1,4,5,6,7,8,8-Heptachlor-3a,4,7,7a- tetrahydro-4,7-methanoinden s. Heptachlor (ISO)											
Heptan (alle Isomeren)						2 100	500	1(I)		DFG	
Heptan-2-on [110-43-0], 203-767-1						238		2(I)	H	EG (1997)	
Heptan-3-on [106-35-4], 203-388-1						47	10	2(I)		DFG (2003)	
Hexachlorbenzol [118-74-1], 204-273-9	2								H		
1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3- butadien [87-68-3], 201-765-5	3								H		
1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan (techn. Gemisch aus α -HCH [319-84-6], 206-270-8, und β -HCH [319-85-7], 206-271-3)	3					0,5 E		8(II)	H, 8	DFG	
γ -1,2,3,4,5,6-exachlorcyclohexan s. Lindan											
Hexachlorcyclopentadien [77-47-4], 201-029-3						0,2	0,02		H	AGS (2006)	
Hexachlorethan [67-72-1], 200-666-4						9,8	1	2(II)		DFG	
Hexadecan-1-ol [36653-82-4], 253-149-0						200	20	1(I)		AGS (2006)	
Hexahydrocyclopenta[c]- pyrrol-1-(1H)-ammonium- N-ethoxycarbonyl-N-(p- tolylsulfonyl)-azanid 418-350-1		3			S						
Hexamethylen-1,6-diisocyanat [822-06-0], 212-485-8					S	0,035	0,005	1;2=(I)	12	DFG (1998)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Hexamethylphosphorsäuretriamid [680-31-9], 211-653-8	2	2							H		
n-Hexan [110-54-3], 203-777-6				3		180	50	8(II)	Y	DFG	BGW
1-Hexanol [111-27-3], 203-852-3						210	50	1(I)		AGS (2006)	
Hexan-2-on [591-78-6], 209-731-1				3		21	5	8(II)	H	DFG	BGW
Hexon s. 4-Methylpentan-2-on											
2-Hexyldecan-1-ol [2425-77-6], 219-370-1						200	20	1(I)		AGS (2006)	
Holzäther s. Dimethylether											
Holzstaub *) Eichen- und Buchenholzstaub, s. dort	3*)				S	s. 50			50	EG	
Hydrazin [302-01-2], 206-114-9 und seine Salze	2				S				H		EKA
Hydrazinbis(3-carboxy-4- hydroxybenzolsulfonat) 405-030-1	2				S						
(4-Hydrazinophenyl)-N-methyl- methansulfonamidhydrochlorid [81880-96-8], 406-090-1		3			S						
Hydrazin-trinitromethan 414-850-9	2				S						
Hydrazobenzol [122-66-7], 204-563-5	2										
Hydrochinon s. 1,4-Dihydroxybenzol											
Hydrogenazid s. Stickstoffwasserstoffsäure											
* Hydrogenbromid [10035-10-6], 233-113-0						6,7		1(I)	13	DFG; EG (2007)	
Hydrogenchlorid s. Chlorwasserstoff											
2-[2-Hydroxy-3-(2-chlorphenyl)- carbamoyl-1-naphthylazo]-7-[2- hydroxy-3-(3-methylphenyl)carba- moyl-1-naphthylazo]fluoren-9-on 420-580-2			2								
4-Hydroxy-3,5-diiodbenzonitril s. Ioxynil (ISO)											
2-(2-Hydroxy-3,5-dinitroanilino) ethanol [99610-72-7], 412-520-9				3							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2-(2-(2-Hydroxyethoxy)ethyl)-2-azabicyclo[2.2.1]heptan, 2-Hydroxyethoxyethyl- azanorbornan [116230-20-7], 407-360-1					5	0,5		H	AGS (2006)		
N-(2-Hydroxyethyl)-3-methyl-2- chinoxalincarboxamid-1,4-dioxid s. Olaquinox											
6-Hydroxy-1-(3-isopropoxy- propyl)-4-methyl-2-oxo-5- [4-(phenylazo)phenylazo]-1,2- dihydro-3-pyridincarboximid [85136-74-9], 400-340-3	2										
N-[3-Hydroxy-2-(2-methyl-acrylo- ylaminomethoxy)propoxymethyl]- 2-methyl-acrylamid; N-[2,3-Bis- (2-methyl-acryloylaminomethoxy)- propoxymethyl]-2-methyl- acrylamid; Methacrylamid; 2-Methyl-N- (2-methyl-acryloylaminomethoxy- methyl)acrylamid; N-(2,3- Dihydroxy-propoxymethyl)-2- methylacrylamid, Gemisch aus 412-790-8	2	3									
N-Hydroxymethyl-chloracetamid s. N-Methylol-chloracetamid											
4-Hydroxy-4-methyl-pentan-2-on [123-42-2], 204-626-7					96	20	2(l)	H	DFG (2003)		
N-[4-[(2-Hydroxy-5-methylphenyl) azo]phenyl]acetamid, C.I. Disperse yellow 3 [2832-40-8], 220-600-8	3			S							
4-Hydroxy-3-nitroanilin s. 2-Nitro-4-aminophenol											
4-Hydroxy-3-(3-oxo-1- phenyl)butylcumarin s. Warfarin											
4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl- 2-chromanyl)resorcinol-4-yl- tris(6-diazo-5,6-dihydro-5- oxonaphthalin-1-sulfonat) und 4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2- chromanyl)resorcinol-bis(6-diazo- 5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1- sulfonat), 2:1 Gemisch aus [140698-96-0], 414-770-4	3										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Imidazolidin-2-thion s. Ethylenthioharnstoff											
4,4'-(Iminocyclohexa-2,5- dienylidenmethyl- dianilinhydrochlorid s. C.I. Basic Red 9											
Indeno[1,2,3-c,d]pyren [193-39-5], 205-893-2 s. Abschnitt 1.2											
Iodmethan [74-88-4], 200-819-5	3								H		
Ioxynil (ISO) [1689-83-4], 216-881-1			3						H		
Ioxyniloctanoat s. 4-Cyan-2,6- diiodophenyloctanoat											
IPDI s. 3-Isocyanatmethyl-3,5,5- trimethylcyclohexylisocyanat											
Isobutan s. iso-Butan											
Isobutylchlorformiat [543-27-1], 208-840-1						1,1	0,2	2(I)	Y	AGS (2006)	
4,4'-Isobutylethylidendiphenol [6807-17-6], 401-720-1				2							
Isobutylnitrit [542-56-3], 208-819-7	2	3									
3-Isocyanatmethyl-3,5,5- trimethylcyclohexylisocyanat [4098-71-9], 223-861-6					S	0,046	0,005	1; =2=(I)	12	DFG (2006)	
Isocyanatobenzol s. Phenylisocyanat											
2-(Isocyanatosulfonylmethyl)- benzoesäuremethylester [83056-32-0], 410-900-9		3			S						
Isocyanursäuretris(2,3-epoxy- propyl)ester s. Triglycidylisocyanurat											
Isopentan [78-78-4], 201-142-8						3 000	1 000	2(II)		DFG, EG	
Isopentylacetat s. 3-Methylbutylacetat											
Isophoron s. 3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen- 1-on											
Isophorondiisocyanat s. 3-Isocyanatmethyl-3,5,5- trimethylcyclohexylisocyanat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Isopren [78-79-5], 201-143-3	2	3	-	-							
Isopropenylacetat [108-22-5], 203-562-7						46	10	2(I)		DFG (2006)	
Isopropenylbenzol [98-83-9], 202-705-0						250	50	2(I)		DFG (2006)	
2-Isopropoxyethanol [109-59-1], 203-685-6						22	5	8(II)	H, Y	DFG (1992)	
2-Isopropoxyphenyl-N- methylcarbamat s. Propoxur											
Isopropylalkohol s. 2-Propanol											
Isopropylamin s. 2-Aminopropan											
Isopropylbenzol s. Cumol											
Isopropylbromid s. 2-Bromopropan											
Isopropylether s. Diisopropylether											
Isopropylglycidether s. iso-Propylglycidylether											
Isopropylglykol s. Isopropoxyethanol											
4,4'-Isopropylidendiphenol [80-05-7], 201-245-8			-	3	S	5 E		1(I)	Y	DFG (1998)	
Isopropylöl Rückstand bei der Isopropylalkohol- Herstellung siehe Abschnitt 1.2											
3-(4-Isopropylphenyl)-1,1- dimethylharnstoff s. Isoproturon											
Isoproturon [34123-59-6], 251-835-4	3										
Isotridecan-1-ol [27458-92-0], 248-469-2						164	20	1(I)		AGS (2006)	
Isovaleraldehyd s. 3-Methylbutanal											
Isoxaflutole [141112-29-0]			3								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Jasmolin I [4466-14-2] s. Pyrethrum											
Jasmolin II [1172-63-0] s. Pyrethrum											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Kaliumbromat [7758-01-2], 231-829-8	2										
Kaliumchromat [7789-00-6], 232-140-5	2 R49	2			S						
Kaliumdichromat [7778-50-9], 231-906-6	2	2	2	2	S				H		
Kepone s. Chlordecon											
Keramische Mineralfasern, Fasern für spezielle Anwendungen [(künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat)- Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na ₂ O+K ₂ O+CaO+MgO+BaO) von weniger oder gleich 18 Gewichtsprozent]	2 R49										
Kieselglas [60676-86-0], 262-373-8						0,3 A			Y	DFG (1990)	
Kieselgur, gebrannt, und Kieselrauch [68855-54-9], 272-489-0						0,3 A			1, Y	DFG (1990)	
Kieselgur, ungebrannt [61790-53-2]						4 E			1, Y	DFG (1990)	
Kieselgut [7699-41-4], 231-716-3						0,3 A			Y	DFG (1990)	
Kieselsäuren, amorphe [7631-86-9], 231-545-4						4 E			2, Y	DFG (1990)	
Kobalt s. Cobalt											
Kohlendioxid [124-38-9], 204-696-9						9 100	5 000	2(II)		DFG, EG	
Kohlendisulfid s. Kohlenstoffdisulfid											
Kohlenmonoxid [630-08-0], 211-128-3			1			35	30	1(II)	Z	DFG	BGW
Kohlenoxid s. Kohlenmonoxid											
Kohlenstoffdisulfid [75-15-0], 200-843-6			3	3					H		BGW
Kohlenstofftetrachlorid s. Tetrachlormethan											
Kohlenwasserstoffe, C26-55, aromatenreich [97722-04-8], 307-753-7	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
* Kohlenwasserstoffgemische, Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additiv-frei, siehe auch Nummer 2.9 der TRGS 900 bzw. Erläuterungen zur Spalte 6 Fraktionen (RCP-Gruppen): C5-C8 Aliphaten C9-C15 Aliphaten C7-C8 Aromaten C9-C15 Aromaten						1500 600 200 100		2(II) 2(II) 2(II) 2(II)		AGS (2007)	
p-Kresidin [120-71-8], 204-419-1	2								H		
Kresoxim-methyl [143390-89-0]	3										
Kresylglycidylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
Kristallviolett s. C.I. Basic Violet 3											
Krokydolith s. Asbest											
Künstliche Mineralfasern s. Faserstäube, krebserzeugend											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Lachgas s. Distickstoffmonoxid											
Lindan [58-89-9], 200-401-2	3	-							H		BGW
Linuron (ISO) [330-55-2], 206-356-5	3		2	3							
* Lithiumhydrid [7580-67-8], 231-484-3						0,025 E			13	EG (2007)	
Lösemittelkohlenwasserstoffe s. Kohlenwasserstoffgemische											
Lost s. 2,2'-Dichlordiethylsulfid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Magnesiumoxid [1309-48-4], 215-171-9						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Magnesiumoxid-Rauch [1309-48-4]						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Malachitgrün Hydrochlorid, C.I. Basic Green 4 [569-64-2], 209-322-8 Malachitgrün Oxalat [18015-76-4], 219-441-7			3								
Malathion [121-75-5], 204-497-7						15 E		4(II)		DFG	
Maleinsäureanhydrid [108-31-6], 203-571-6					S	0,41	0,1	1; =2=(I)	Y	DFG (1992)	
Mangan [7439-96-5], 231-105-1 und seine anorganischen Verbindungen						0,5 E			Y, 10	DFG (1996)	BGW
MDI s. Diphenylmethan-4,4'- diisocyanat											
Mecrilat s. Cyanacrylsäuremethylester											
Mesitylen [108-67-8], 203-604-4						100	20	2(II)	Y	EG DFG (2003)	
Methacrylsäuremethylester s. Methylmethacrylat											
2-Methallylchlorid s. 3-Chlor-2-methylpropen											
Methanol [67-56-1], 200-659-6						270	200	4(II)	H, Y	DFG, EG	BGW
Methanthiol [74-93-1], 200-822-1						1	0,5	2(II)		DFG	
2-Methoxyanilin [90-04-0], 201-963-1	2	3	-	-					H		
2-(Methoxycarbonylhydrazono- methyl)chinoxalin-1,4-dioxid s. Carbadox											
Methoxychlor (DMDT) [72-43-5], 200-779-9						15 E		8(II)		DFG	
Methoxyessigsäure [625-45-6], 210-894-6			2	2		19	5	2(I)	Z	DFG	
2-Methoxyethanol [109-86-4], 203-713-7			2	2		16	5	8(II)	H, Z	DFG	
* 2-(2-Methoxyethoxy)ethanol [111-77-3], 203-906-6			3			50	10		Y, H	EG (2007)	
2-Methoxyethylacetat [110-49-6], 203-772-9			2	2		25	5	8(II)	H, Z	DFG	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2-Methoxy-5-methylanilin s. p-Kresidin											
(2-Methoxymethylethoxy)propanol s. Dipropylenglykol- monomethylether											
2-Methoxy-1-methylethylacetat [108-65-6], 203-603-9						270	50	1(I)	Y	DFG (1992) EG	
1-Methoxy-2-nitrobenzol s. 2-Nitroanisol											
4-Methoxyphenol s. Mequinol											
4-Methoxy-m-phenylendiamin s. 2,4-Diaminoanisol											
1-Methoxy-2-propanol [107-98-2], 203-539-1						370	100	2(I)	Y	DFG	
2-Methoxy-1-propanol [1589-47-5], 216-455-5	-	-	2	-		19	5	8(II)	H, Z	DFG (2003)	
1-Methoxypropylacetat-2 s. 2-Methoxy-1-methylethylacetat											
2-Methoxypropylacetat-1 [70657-70-4], 274-724-2			2			28	5	8(II)	H, Z	DFG (2003)	
6-Methoxy-m-toluidin s. p-Kresidin											
N-Methylacetamid [79-16-3], 201-182-6	-	-	2	-							
Methylacetat [79-20-9], 201-185-2						610	200	4(II)	Y	DFG (1999)	
Methylacrylamidoglykolat (mit ≥ 0,1% Acrylamid) [77402-05-2], 403-230-3	2	2			S						
Methylacrylamido-methoxyacetat (mit ≥ 0,1 % Acrylamid) [77402-03-0], 401-890-7	2	2									
Methylacrylat [96-33-3], 202-500-6					S	18	5	1(I)	H	DFG	
Methyläther s. Dimethylether											
Methylal s. Dimethoxymethan											
Methylalkohol s. Methanol											
2-Methyl-allylchlorid s. 3-Chlor-2-methylpropen											
Methylamin [74-89-5], 200-820-0						13	10	=1(I)		DFG	
1-Methyl-2-amino-5-chlorbenzol s. 4-Chlor-o-toluidin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1-Methyl-2-amino-4-nitrobenzol s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
Methylamylalkohol s. 4-Methylpentan-2-ol											
4-Methylanilin s. p-Toluidin											
N-Methylanilin [100-61-8], 202-870-9					2,2	0,5	2(II)	H, 6	DFG		
2-Methyl-2-azabicyclo[2.2.1]- heptan [4524-95-2], 404-810-9					20	5		H	AGS (2006)		
2-Methylaziridin s. Propylenimin											
(Methyl-ONN-azoxy)methyl-acetat [592-62-1], 209-765-7	2		2								
Methylbenzimidazol-2-ylcarbamat s. Carbendazim (ISO)											
Methylbenzol s. Toluol											
N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin [51-75-2], 200-120-5	1	2						H			
Methylbromid s. Brommethan											
Methyl-1,3-butadien s. Isopren											
Methylbutan s. Isopentan											
3-Methylbutanal [590-86-3], 209-691-5					39	10	1(I)		AGS (1993)		
2-Methylbut-3-en-2-ol [115-18-4], 204-068-4					2	0,6	2(II)		AGS (2001)		
2-Methylbut-3-in-2-ol [115-19-5], 204-070-5					3	0,9	2(II)		AGS (2001)		
1-Methylbutylacetat [626-38-0], 210-946-8					270	50	1(I)		EG, DFG (1998)		
2-Methylbutylacetat [624-41-9], 210-843-8					270	50	1(I)	Y	EG, DFG (1998)		
3-Methylbutylacetat [123-92-2], 204-662-3					270	50	1(I)		EG, DFG (1998)		
Methyl-1-(butyl-carbamoyl)- benzimidazol-2-ylcarbamat s. Benomyl (ISO)											
Methylbutylketon s. 2-Hexanon											
Methyl-3-(chinoxalin-2- ylmethyl)carbazat-1,4-dioxid s. Carbadox											
Methyl-tert-butylether s. (tert-Butyl)methylether											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Methylchloracetat [96-34-4], 202-501-1						4,5	1	1(I)	H	DFG (1996)	
2-Methyl-4-chloranilin s. 4-Chlor-o-toluidin											
Methylchlorformiat [79-22-1], 201-187-3						0,78	0,2	2(I)	Y, H	DFG (2006)	
Methylchlorid s. Chlormethan											
Methylchloroform s. 1,1,1-Trichlorethan											
Methyl-2-cyanacrylat s. Cyanacrylsäure-methylester											
Methylcyclohexan [108-87-2], 203-624-3						810	200	2(II)		DFG (2003)	
* Methylcyclohexanol, techn. Gemisch [25639-42-3], 247-152-6						28	6	2(II)		AGS (2008)	
Methyldichlorbenzol s. Dichlortoluol (Isomergemisch)											
1-Methyl-2,4-dichlorbenzol s. 2,4-Dichlortoluol											
6-Methyl-1,3-dithiolo(4,5-b)- chinoxalin-2-on s. Chinomethionat											
4,4'-Methylenbis(2-chloranilin) [101-14-4], 202-918-9 und seine Salze (2,2'-Dichlor-4,4'- methyldianilin)	2								H		
4,4'-Methylenbis(N,N- dimethylanilin) s. N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'- methyldianilin											
4,4'-Methylenbis(N,N-dimethyl)- benzamin s. N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'- methyldianilin											
4,4'-Methylenbis(2-ethylanilin) [19900-65-3], 243-420-1	3	-	-	-							
Gemisch aus: Reaktionsprodukt aus 4,4'-Methylenbis[2- (4-hydroxybenzyl)-3,6- dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6- dihydro-5-oxo-naphthalinsulfonat (1:2) Reaktionsprodukt aus 4,4'- Methylenbis[2-(4-hydroxybenzyl)- 3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxo- naphthalinsulfonat (1:3) 417-980-4	3										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
(Methylenbis(4,1-phenylenazo(1-(3-(dimethylamino)propyl)-1,2-dihydro-6-hydroxy-4-methyl-2-oxopyridin-5,3-diyl))-1,1'-dipyridiniumdichlorid-dihydrochlorid 401-500-5	2										
Methylenchlorid s. Dichlormethan											
4,4'-Methyldianilin s. 4,4'-Diamino-diphenylmethan											
4,4'-Methyldicyclo- hexyldiisocyanat s. Dicyclohexylmethan-4,4'- diisocyanat											
4,4'-Methyldiphenyldiisocyanat s. Diphenylmethan-4,4'- diisocyanat											
4,4'-Methylen-di-o-toluidin s. 3,3'-Dimethyl-4,4'- diaminodiphenylmethan											
Methylethylketon s. Butanon-2											
N,N-Methylethyl-nitrosamin s. N-Nitrosomethyl-ethylamin											
N-Methylformamid [123-39-7], 204-624-6			2						H		
Methylformiat [107-31-3], 203-481-7						120	50	4(II)	H, Y	DFG (1998)	
Methylglykol s. 2-Methoxyethanol											
Methylglykolacetat s. 2-Methoxyethylacetat											
5-Methyl-3-heptanon [541-85-5], 208-793-7						53	10	2(I)		DFG, EG (2003)	
5-Methyl-2-hexanon [110-12-3], 203-737-8						95	20			EG (2003)	
Methyliodid s. Iodmethan											
Methylisobutylcarbinol s. 4-Methylpentan-2-ol											
Methylisobutylketon s. 4-Methylpentan-2-on											
Methylisocyanat [624-83-9], 210-866-3			3		S	0,024	0,01	1(I)	H, 12	DFG	
Methyljodid s. Iodmethan											
Methylmercaptan s. Methanthiol											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Methylmethacrylat [80-62-6], 201-297-1					S	210	50	2(I)	Y	DFG	
Methyl (E)-2-methoxyimino- [2-(o-tolyl)oxymethyl]phenylacetat s. Kresoxim-methyl											
2-Methyl-4-[(2-methylphenyl)- azo]benzamin s. 2-Aminoazotoluol											
N-Methyl-1-naphthylcarbamat s. Carbaryl											
2-Methyl-5-nitrobenzamin s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
1-Methyl-3-nitro-1- nitrosoguanidin [70-25-7], 200-730-1	2										
N-Methyl-N-nitrosoanilin s. N-Nitrosomethylphenylamin											
N-Methyl-N-nitrosoethamin s. N-Nitroso-methylethylamin											
N-Methyl-N-nitroso-methanamin s. N-Nitroso-dimethylamin											
N-Methylolchloracetamid [2832-19-1], 220-598-9	-	3	-	-	S						
Methyloxiran s. 1,2-Epoxypropan											
2-Methyl-4-oxo-3-(penta-2,4- dienyl)cyclopent-2-enyl-[1R- [1 α [S*(Z)],3 β]]chrysanthemat s. Pyrethrin I											
2-Methyl-4-oxo-3-(penta- 2,4-dienyl)cyclopent-2-enyl- [1R[1 α [S*(Z)]-(3 β)]]-3-(3- methoxy-2-methyl-3-oxoprop- 1-enyl-2,2-dimethylcyclopropan- carboxylat s. Pyrethrin II											
2-Methylpentan [107-83-5], 203-523-4						720	200	2(II)		DFG (1992)	
3-Methylpentan [96-14-0], 202-481-4						720	200	2(II)		DFG (1992)	
4-Methylpentan-2-ol [108-11-2], 203-551-7						85	20	1(I)		DFG (2004)	
4-Methylpentan-2-on [108-10-1], 203-550-1						83	20	2(I)	H, Y	DFG (1998)	BGW
Methylphenylendiamin [25376-45-8], 246-910-3	2				S				H		
4-Methyl-m-phenylendiamin s. 2,4-Toluylendiamin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Methyl-m-phenylendiamin [823-40-5], 212-513-9		3			S				H		
2-Methyl-m-phenylendiisocyanat s. 2,6-Diisocyanatoluol											
4-Methyl-m-phenylendiisocyanat s. 2,4-Diisocyanatoluol											
2-Methylpropan s. iso-Butan											
2-Methylpropan-1-ol s. iso-Butanol											
2-Methyl-2-propanol [75-65-0], 200-889-7						62	20	4(II)		DFG (2001)	
6-(1-Methylpropyl)-2,4- dinitrophenol s. Dinoseb											
1-Methylpropylenglykol-2 s. 1-Methoxy-2-propanol											
N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) [872-50-4], 212-828-1						82	20	2(II)	H, Y	DFG (2007)	
Methylstyrol (alle Isomeren) [25013-15-4], 246-562-2						490	100	2(I)		DFG	
α-Methylstyrol s. Isopropenylbenzol											
Mevinphos [7786-34-7], 232-095-1						0,093	0,01	2(II)	H	DFG	
Michlers Keton [90-94-8], 202-027-5	2	3	-	-							
Mineralfasern s. Abschnitt 1.2 s. Faserstäube, anorganische											
Mineralwolle [künstlich hergestellte ungerichtete glasige(Silikat)-Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na ₂ O+K ₂ O+CaO+MgO+BaO) von über 18 Gewichtsprozent s. Abschnitt 1.2	3										
Mirex [2385-85-5], 219-196-6	3		3	3					H		
Molinat [2212-67-1], 218-661-0	3			3	S						
Monochlordimethylether (Chlormethylmethylether) [107-30-2], 203-480-1	1								H		
Monochloressigsäure s. Chloressigsäure											
Monochloressigsäure-ethylester s. Ethylchloracetat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Monochloressigsäure-methylester s. Methylchloracetat											
Monochlormonofluormethan s. Chlorfluormethan											
Monochlortrifluormethan s. Chlortrifluormethan											
Monocrotophos (ISO) [6923-22-4], 230-042-7		3							H		
Monuron (ISO) [150-68-5], 205-766-1	3										
Monuron-TCA s. 3-(4-Chlorphenyl)-1,1- dimethyluronium-trichloracetat											
Morpholin [110-91-8], 203-815-1						36	10	2(l)	H, 6	DFG (2002)	
Morpholinylcarbamoylchlorid s. Morpholin-4-carbonylchlorid											
Morpholin-4-carbonylchlorid [15159-40-7], 239-213-0		3 2									
Musk Xylene s. 5-tert-Butyl-2,4,6-trinitro-m- xylol											
Myclobutanil [88671-89-0]			3								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
* Naled [300-76-5], 206-098-3				S	1 E		2 (II)	Y, H	DFG, AGS (2007)		
Naphthalin [91-20-3], 202-049-5	3	-	-	-	-			H			
1-Naphthylamin (α-) [134-32-7], 205-138-7						1 E	0,17	4(II)	H, (11)	AGS (1994)	
2-Naphthylamin (β-) [91-59-8], 202-080-4 und seine Salze	1							H			
2-Naphthylamino-1-sulfonsäure s. 2-Amino-1- naphthalinsulfonsäure											
N-2-Naphthylanilin s. N-Phenyl-2-naphthylamin											
1,5-Naphthylendiamin [2243-62-1], 218-817-8	3							H			
1,5-Naphthylendiisocyanat [3173-72-6], 221-641-4				S	0,05		1; =2=(I)	11, 12	AGS (2006)		
1-Naphthylmethylcarbammat s. Carbaryl											
1-(1-Naphthylmethyl)- quinoliniumchlorid [65322-65-8], 406-220-7	3	3									
1-Naphthylthioharnstoff s. ANTU											
Natriumazid [26628-22-8], 247-852-1						0,2		2(I)		DFG	
Natriumchromat [7775-11-3], 231-889-5	2	2	2	2	S			H			
Natriumdichromat [10588-01-9], 234-190-3 Natriumdichromatdihydrat [7789-12-0], 234-190-3	2	2	2	2	S			H			
* Natriumfluoracetat [62-74-8], 200-548-2						0,05 E		4(II)	H	DFG, AGS (2007)	
Natriumpyrithion [3811-73-2, 15922-78-8], 240-062-8, 223-296-5						1		2(II)	H, Y	DFG (1996)	
NDI s. 1,5-Naphthylendiisocyanat											
Nickel (Metall) [7440-02-0], 231-111-4	3			S						EKA	
Nickelacetat [373-02-4], 206-761-7	1	-									
Nickelcarbonat [3333-67-3], 222-068-2	3			S						EKA	
Nickelchlorid [7718-54-9], 231-743-0	1	-									

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Nickeldihydroxid [12054-48-7], 235-008-5	3				S						
Nickeldioxid [12035-36-8], 234-823-8	1 R49				S						EKA
Nickelmatte, Rösten oder elektrolytische Raffination s. Abschnitt 1.2	1										
Nickelmonoxid [1313-99-1], 215-215-7	1 R49				S						EKA
Nickelsalze, löslich	1	-									
Nickelsulfat [7786-81-4], 232-104-9	3 1	-			S						
Nickelsulfid [16812-54-7], 240-841-2	1 R49				S						EKA
Nickelcarbonyl s. Nickeltriacarbonyl											
Nickeltetracarbonyl [13463-39-3], 236-669-2	3		2								
* Nikotin [54-11-5], 200-193-3						0,5		2(II)	13, H	EG (2007)	
5-Nitroacenaphthen [602-87-9], 210-025-0	2										
2-Nitro-4-aminophenol [119-34-6], 204-316-1	3								H		
4-Nitro-2-aminotoluol s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
2-Nitroanisol [91-23-6], 202-052-1	2										
* Nitrobenzol [98-95-3], 202-716-0	3			3		1		2(II)	H	EG (2007)	BGW
4-Nitrobiphenyl [92-93-3], 202-204-7	2								H		
o-Nitrochlorbenzol s. 1-Chlor-2-nitrobenzol											
p-Nitrochlorbenzol s. 1-Chlor-4-nitrobenzol											
2-Nitro-1,4-diaminobenzol s. 2-Nitro-p-phenylendiamin											
Nitroethan [79-24-3], 201-188-9						310	100	4(II)		DFG	
Nitrofen (ISO) [1836-75-5], 217-406-0	2		2								
Nitroglykol s. Ethylenglykoldinitrat											
2-Nitronaphthalin [581-89-5], 209-474-5	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2-Nitro-p-phenylendiamin [5307-14-2], 226-164-5	3				S				H		
1-Nitropropan [108-03-2], 203-544-9						92	25	4(l)	3, H	DFG (2000)	
2-Nitropropan [79-46-9], 201-209-1	2										
Nitropyrene (Mono-, Di- Tri-, Tetra-) (Isomere) [5522-43-0], 226-868-2	3										
N-Nitroso-bis(2-hydroxyethyl)- amin s. N-Nitroso-diethanolamin											
Nitrosodi-n-butylamin [924-16-3], 213-101-1	2								H		
N-Nitrosodiethanolamin [1116-54-7], 214-237-4	2								H		
N-Nitrosodiethylamin [55-18-5], 200-226-1	2								H		
N-Nitrosodimethylamin [62-75-9], 200-549-8	2								H		
N-Nitrosodi-i-propylamin [601-77-4]	2								H		
N-Nitrosodi-n-propylamin [621-64-7], 210-698-0	2								H		
Nitrosoethylanilin s. Nitrosoethylphenylamin											
N-Nitrosoethylphenylamin [612-64-6]	2								H		
2,2'-(Nitrosoimino)bisethanol s. N-Nitroso-diethanolamin											
Nitrosomethylanilin s. N-Nitroso-methylphenylamin											
N-Nitrosomethyl-ethylamin [10595-95-6]	2								H		
N-Nitrosomethylphenylamin [614-00-6], 210-366-5	2								H		
N-Nitrosomorpholin [59-89-2]	2								H		
p-Nitrosophenol [104-91-6], 203-251-6		3									
N-Nitrosopiperidin [100-75-4], 202-886-6	2								H		
N-Nitrosopyrrolidin [930-55-2], 213-218-8	2								H		
5-Nitro-3-toluidin s. 2-Amino-4-nitrotoluol											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Nitrotoluol [88-72-2], 201-853-3	2	2	-	3					H		
3-Nitrotoluol [99-08-1], 202-728-6									H		
4-Nitrotoluol [99-99-0], 202-808-0									H		
Nonylphenol [25154-52-3], 246-672-0	-	-	3	3							
4-Nonylphenol, verzweigt [84852-15-3], 284-325-5	-	-	3	3							
Norfluran s. 1,1,1,2-Tetrafluorethan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Octabromdiphenylether [32536-52-0], 251-087-9	-	-	2	3							
1,2,4,5,6,7,8,8-Octachlor- 3a,4,7,7atetrahydro-4,7- methanoindan s. Chlordan (ISO)											
Octadecan-1-ol [112-92-5], 204-017-6						224	20	1(I)		AGS (2006)	
Octamethylcyclotetrasiloxan [556-67-2], 209-136-7	-	-	-	3							
Octan (alle Isomeren außer Trimethylpentanisomere)						2 400	500	2(II)		DFG	
Octan-1-ol [111-87-5], 203-917-6						106	20	1(I)		AGS (2006)	
2-Octyl-2H-isothiazol-3-on [26530-20-1], 247-761-7					S	0,05 E		2(I)	H, Y	DFG (2000)	
Olaquinox [23696-28-8], 245-832-7	3	2	-	3	S						
* Orthophosphorsäure [7664-38-2], 231-633-2						2 E		2(I)	Y	DFG, AGS (2007)	
Oxadiargyl [39807-15-3], 254-637-6			3								
* Oxalsäure [144-62-7], 205-634-3						1 E		1(I)	H, 13	EG (2007)	
Oxiran s. Ethylenoxid											
Oxiranmethanol, 4-methylbenzol- sulfonat, (S)- [70987-78-9], 417-210-7	2	3			S						
4,4'-Oxy-bis-benzolamin s. 4,4'-Oxydianilin											
2,2'-(Oxybis(methylen))bisoxiran s. Diglycidylether											
4,4'-Oxydianilin [101-80-4], 202-977-0	2	2	-	3					H		
2,2'-Oxydiethanol s. Diethylenglykol											
* Oxydipropanol [25265-71-8], 246-770-3						67 E		8(II)	Y, 17	AGS (2008)	
Ozon [10028-15-6], 233-069-2	3	-	-	-							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Paraffine, chlorierte s. Chloralkane											
Paraquatdichlorid [1910-42-5], 217-615-7						0,1 E		1(I)	H	DFG	
Parathion [56-38-2], 200-271-7						0,1 E		8(II)	H	DFG	BGW
Passivrauchen am Arbeitsplatz s. Abschnitt 1.2	1	3	1	-							
PCP s. Pentachlorphenol											
Pentaboran [19624-22-7], 243-194-4						0,013	0,005	2(II)		DFG	
Pentachlorethan [76-01-7], 200-925-1	3										
Pentachlorphenol [87-86-5], 201-778-6 - Salze von (außer Alkalisalze) - Alkalisalze von	3 2 2 2 3	3	2	-					H H		EKA
n-Pentan [109-66-0], 203-692-4						3 000	1 000	2(II)		DFG, EG	
iso-Pentan s. Isopentan											
tert-Pentan s. Dimethylpropan											
* Pentan-2,4-dion (Acetylaceton) [123-54-6], 204-634-0						126	30	2(II)	H, Y	AGS (2007)	
1-Pentylacetat [628-63-7], 211-047-3						270	50	1(I)	Y	EG, DFG (1998)	
3-Pentylacetat [620-11-1]						270	50	1(I)		EG, DFG (1998)	
Perchlorbutadien s. 1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3- butadien											
Perchlorethylen s. Tetrachlorethen											
PHC s. Propoxur											
Phenol [108-95-2], 203-632-7	-	3	-	-		7,8	2		H	EG (2006)	BGW
2-Phenoxyethanol [122-99-6], 204-589-7						110	20	2(I)	H, Y	DFG (2001)	
4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin [495-54-5], 207-803-7	-	3									
1-Phenylazo-2-naphthol s. C.I. Solvent Yellow 14											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4-Phenylazophenyl-1,3- diaminmonohydrochlorid [532-82-1], 208-545-8	-	3									
Phenylbenzol s. Biphenyl											
m-Phenylendiamin [108-45-2], 203-584-7	-	3	-	-	S				H		
m-Phenylendiamin-dihydrochlorid [541-69-5], 208-790-0	-	3	-	-	S				H		
o-Phenylendiamin [95-54-5], 202-430-6	3	3	-	-	S				H		
o-Phenylendiamin-dihydrochlorid [615-28-1], 210-418-7	3	3	-	-	S				H		
p-Phenylendiamin [106-50-3], 203-404-7	-	-	-	-	S	0,1 E		2(II)	H	DFG	
(R)-α-Phenylethylammonium- (-)-(1R, 2S)-(1,2-epoxypropyl)- phosphonatmonohydrat [25383-07-7], 418-570-8				3							
Phenylglycidether s. Phenylglycidylether											
Phenylglycidylether (1,2-Epoxy-3-phenoxypropan) [122-60-1], 204-557-2	2	3			S				H		
Phenylhydrazin [100-63-0], 202-873-5	2	3	-	-	S				H		
Phenylhydrazinhydrochlorid [27140-08-5], 248-259-0	2	3	-	-	S				H		
Phenylhydraziniumchlorid [59-88-1], 200-444-7	2	3	-	-	S				H		
Phenylhydraziniumsulfat, 2:1 [52033-74-6], 257-622-2	2	3	-	-	S				H		
Phenylisocyanat [103-71-9], 203-137-6					S	0,05	0,01	1(I)	12	AGS (1994)	
N-Phenyl-2-naphthylamin [135-88-6], 205-223-9	3				S						
4-Phenyl-nitrobenzol s. 4-Nitrobiphenyl											
Phenylloxiran s. Styroloxid											
Phenylphosphin [638-21-1], 211-325-4						0,05	0,01			AGS (2003)	
trans-4-Phenyl-L-prolin [96314-26-0], 416-020-1				3							
2-Phenylpropen s. Isopropenylbenzol											
Phosdrin s. Mevinphos											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Phosgen [75-44-5], 200-870-3					0,082	0,02	2(I)	Y	EG, DFG (1998)		
Phosphamidon [13171-21-6], 236-116-5			3					H			
Phosphin [7803-51-2], 232-260-8					0,14	0,1	1(I)		DFG, EG		
* Phosphor, weiß/gelb [7723-14-0], 231-768-7					0,01 E		2(II)	Y	AGS (2008)		
Phosphoroxidchlorid [10025-87-3], 233-046-7					1,3	0,2	1(I)		DFG		
* Phosphorpentachlorid [10026-13-8], 233-060-3					1 E		1(I)		DFG (2007)		
Phosphorpentasulfid s. Diphosphorpentasulfid											
* Phosphorpentoxid (als Orthophosphorsäure) [1314-56-3], 215-236-1					2 E		2(I)	Y	DFG, AGS (2007)		
Phosphorsäure s. Orthophosphorsäure											
Phosphorsäuretrimethylester s. Trimethylphosphat											
Phosphortrichlorid [7719-12-2], 231-749-3					2,8	0,5	1(I)		DFG		
Phosphorwasserstoff s. Phosphin											
Phosphoryltrichlorid s. Phosphoroxidchlorid											
Pikrinsäure s. 2,4,6-Trinitrophenol											
Piperazin [110-85-0], 203-808-3					0,1		1(I)	6, 13	EG (2007)		
* Platin (Metall) [7440-06-4], 231-116-1					1 E			13	EG (2007)		
PMDI s. Diphenylmethan-4,4'- diisocyanat											
Polychlorierte Biphenyle s. Chlorierte Biphenyle											
Polyethylenglykole (PEG) mittlere Molmasse 200 - 400					1 000 E		8(II)	Y	DFG (1997)		
Polyethylenglykol 600 (PEG 600)					1 000 E		8(II)	Y	DFG (1999)		
Polyvinylchlorid [9002-86-2]					s. Allgemeiner Staubgrenzwert						
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe s. Abschnitt 1.2											
Portlandzement (Staub) [65997-15-1], 266-043-4					5 E				DFG (1994)		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	
Propan [74-98-6], 200-827-9						1 800	1 000	4(II)		DFG	
Propan-1,2-diyldinitrat s. Propylenglykoldinitrat											
Propan-2-ol [67-63-0], 200-661-7						500	200	2(II)	Y	DFG (1999)	BGW
2-Propanol, Herstellung von Starke-Säure- Verfahren	1										
3-Propanolid s. β-Propiolacton											
1,3-Propansulton [1120-71-4], 214-317-9	2								H		
Propargit [2312-35-8], 219-006-1	3										
Propargylalkohol (Prop-2-in-ol) [107-19-7], 203-471-2						4,7	2	2(I)	H	DFG (2001)	
Propazin [139-40-2], 205-359-9	3										
2-Propenal s. Acrylaldehyd											
2-Propen-1-ol s. Allylalkohol											
Propensäure-n-butylester s. n-Butylacrylat											
iso-Propenylbenzol s. Isopropenylbenzol											
Prop-2-in-2-ol s. Propargylalkohol											
β-Propiolacton (1,3-) (3-Propanolid) [57-57-8], 200-340-1	2								H		
* Propionsäure [79-09-4], 201-176-3						31	10	2(I)	Y	EG (2007)	
Propoxur [114-26-1], 204-043-8						2 E		8(II)		DFG	
2-Propoxyethanol s. 2-(Propyloxy)ethanol											
2-Propoxyethylacetat s. 2-(Propyloxy)-ethylacetat											
iso-Propylalkohol s. 2-Propanol											
Propylallyldisulfid s. Allylpropylidisulfid											
iso-Propylamin s. 2-Aminopropan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
iso-Propylbenzol s. Cumol											
2-Propylbromid s. 2-Brompropan											
Propylendichlorid s. 1,2-Dichlorpropan											
Propylenglykoldinitrat [6423-43-4], 229-180-0						0,34	0,05	1(II)	H, 7	DFG	
Propylenglykol-2-methylether s. 2-Methoxy-1-propanol											
Propylenglykol-2-methylether- 1-acetat s. 2-Methoxy-propylacetat-1											
Propylenglykol-1-mono- methylether s. 1-Methoxy-2-propanol											
Propylenglykol-1-mono- methylether-2-acetat s. 2-Methoxy-1-methylethylacetat											
Propylenimin (2-Methylaziridin) [75-55-8], 200-878-7	2								H		
1,2-Propylenoxid s. 1,2-Epoxypropan											
Propylenthioharnstoff [2122-19-2]			3								
iso-Propylether s. Di-isopropylether											
iso-Propylglycidylether [4016-14-2], 233-672-9	-	3	-	-					H		
n-Propylglykol s. 2-(Propyloxy)ethanol											
n-Propylglykolacetat s. 2-(Propyloxy)ethylacetat											
2-(Propyloxy)ethanol [2807-30-9], 220-548-6						86	20	2(I)	H, Y	DFG (1998)	
2-(Propyloxy)ethylacetat [20706-25-6]						120	20	2(I)	H, Y	DFG (1998)	
PVC s. Polyvinylchlorid											
Pymetrozin [123312-89-0]	3										
* Pyrethrin I [121-21-1], 204-455-8						1 E		1(I)	Y, H	AGS (2007)	
* Pyrethrin II [121-29-9], 204-462-6						1 E		1(I)	Y, H	AGS (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
* Pyrethrum (gereinigter Rohextrakt) [8003-34-7], 232-319-8					1 E		1(l)	Y, H R43 für Roh- extrakt	AGS (2007)		
Pyridin-2-thiol-1-oxid, Natriumsalz s. Natriumpyrithion											
3-Pyridyl-N-methylpyrrolidin s. Nikotin											
Pyrogallol [87-66-1], 201-762-9		3						H			
Pyrolyseprodukte aus org. Material s. Abschnitt 1.2	1 oder 2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Quarz [14808-60-7], 238-878-4 s. Abschnitt 1.2											
Quecksilber [7439-97-6], 231-106-7						0,1		8(II)		DFG	BGW
Quecksilberverbindungen, anorganische						0,1 E		8(II)	H, 10	DFG (1997)	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Resorcin s. 1,3-Dihydroxybenzol											
Resorcin-bis(2,3-epoxypropyl)- ether s. Diglycidylresorcinether											
Resorcinoldiglycidylether s. Diglycidylresorcinether											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	
Safrol s. 5-Allyl-1,3-benzodioxol											
* Salpetersäure [7697-37-2], 231-714-2						2,6	1		13, 16	EG (2007)	
Salzsäure s. Chlorwasserstoff											
Schwefelhexafluorid [2551-62-4], 219-854-2						6 100	1 000	8(II)		DFG	
Schwefelkohlenstoff s. Kohlenstoffdisulfid											
Schwefel-Lost s. 2,2'-Dichlordiethylsulfid											
* Selen [7782-49-2], 231-957-4						0,05 E		1(II)	Y	DFG (2007)	
* Selenverbindungen, anorganische						0,05 E		1(II)	Y, 10	DFG (2007)	
Selenwasserstoff s. Dihydrogenselenid											
Senfgas s. 2,2'-Dichlordiethylsulfid											
Silber [7440-22-4], 231-131-3						0,1 E		8(II)		EG, DFG (1998)	
Silberverbindungen, anorganische						0,01 E		2(I)	10	EG (1992) DFG (1998)	
Siliciumcarbid (faserfrei) [409-21-2], 206-991-8						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Simazin [122-34-9], 204-535-2	3										
Stickstoff-Lost s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
Stickstoffwasserstoffsäure [7782-79-8], 231-965-8						0,18	0,1	2(I)		DFG	
Strontiumchromat [7789-06-2], 232-142-6	2										
Styrol [100-42-5], 202-851-5						86	20	2(II)	Y	DFG (1987)	BGW
Styroloxid [96-09-3], 202-476-7	2								H		
Sulfallat (ISO) [95-06-7], 202-388-9	2										
Sulfotep [3689-24-5], 222-995-2						0,1	0,0075	2(II)	H, Y	DFG (2000)	
Sulfuryldifluorid [2699-79-8], 220-281-5						10				AUS-NL (2006)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2,4,5-T s. 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure											
Tantal [7440-25-7], 231-135-5						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
TCDD s. 2,3,7,8-Tetrachlor-dibenzo-p- dioxin											
TDI s. Diisocyanatolol (2,4- und 2,6-)											
TEDP s. Sulfotep											
TEGDME s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
TEPP [107-49-3], 203-495-3						0,06	0,005	2(II)	H	DFG	
1,4,5,8-Tetraaminoanthrachinon [2475-45-8], 219-603-7	2	-	-	-	S						
5,6,12,13-Tetrachloranthra(2,1,9- def:6,5,10-d'e'f')diisochinolin- 1,3,8,10(2H,9H)tetron [115662-06-1], 405-100-1				3							
2,4,5,6-Tetrachlorbenzo-1,3- dinitril s. Chlorthalonil											
2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin [1746-01-6], 217-122-7	2								H		
* 1,1,1,2-Tetrachlor-2,2- difluorethan (R 112a) [76-11-9], 200-934-0						1 700	200	2(II)		DFG (2007)	
1,1,2,2-Tetrachlor-1,2- difluorethan (R 112) [76-12-0], 200-935-6						1 700	200	2(II)		DFG (1990)	
1,1,2,2-Tetrachlorethan [79-34-5], 201-197-8	3	3	-	-		7	1	2(II)	H	DFG	
Tetrachlorethen [127-18-4], 204-825-9	3	-	3	-					H		BGW EKA
Tetrachlorethylen s. Tetrachlorethen											
Tetrachlorisophtalsäuredinitril s. Chlorthalonil											
Tetrachlorkohlenstoff s. Tetrachlormethan											
Tetrachlormethan [56-23-5], 200-262-8	3					3,2	0,5	2(II)	H	DFG (2004)	BGW
α,α,α,4-Tetrachlortoluol s. 4-Chlorbenzotrithlorid											
Tetradecanol [112-72-1], 204-000-3						178	20	1(I)		AGS (2006)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tetraethylblei s. Bleitetraethyl											
Tetraethyldiphosphat s. TEPP											
0,0,0,0-Tetraethyldithio- diphosphat (TEDP) s. Sulfotep											
1,1,1,2-Tetrafluorethan [811-97-2], 212-377-0						4 200	1 000	8(II)	Y	DFG (1998)	
N,N,N',N'-Tetraglycidyl- 4,4'-diamino-3,3'-diethyl- diphenylmethan [130728-76-6], 410-060-3		3			S						
Tetrahydrofuran [109-99-9], 203-726-8						150	50	2(I)	H, Y	DFG (1999)	BGW
(±)-Tetrahydrofurfuryl-(R)-2- [4-(6-chlorchinoxalin-2-yloxy)- phenyloxy]propanoat [119738-06-6], 414-200-4		3	2	3							
3a,4,7,7a-Tetrahydro- 4,7-methanoinden s. Dicyclopentadien											
1,2,3,6-Tetrahydro-N-(1,1,2,2- tetrachlorethylthio)phthalimid s. Captafol (ISO)											
* Tetrahydrothiophen [110-01-0], 203-728-9						180	50	1(I)	Y, H	DFG (2008)	
Tetrahydrothiopyran-3- carboxaldehyd [61571-06-0], 407-330-8			2								
Tetrakis(hydroxymethyl)- phosphoniumchlorid; Reaktionsprodukt mit Harnstoff und destilliertem hydriertem C16- 18-Talgalkylamin [166242-53-1], 422-720-8	3				S						
N,N,N',N'-Tetramethylacridin- 3,6-yldiaminhydrochlorid und N,N,N',N'-Tetramethylacridin- 3,6-diaminmonohydrochlorid [65-61-2], 200-614-0 [10127-02-3], 233-353-6 Verbindung mit ZnCl ₂	-	3	-	-							
2,2'-((3,5',5,5'-Tetramethyl- (1,1'-biphenyl)-4,4'-diyl)- bis(oxymethylen))bisoxiran [85954-11-6], 413-900-7		3									
Tetramethylblei s. Bleitetramethyl											
Tetramethyldiamino-benzophenon s. Michlers Keton											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tetramethyldiamino- diphenylacetimin-Hydrochlorid s. Auramin											
N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'- diaminodiphenylmethan, N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'- methyldianilin s. 4,4'-Methylen-bis(N,N- dimethylanilin)											
N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'- methyldianilin [101-61-1], 202-959-2	2										
Tetramethylorthosilikat [681-84-5], 211-656-4						2	0,3	1(I)		AGS (2006)	
* Tetramethylsuccinonitril [3333-52-6]						1		2(II)		AGS (2007)	
Tetramethylthiuramdisulfid s. Thiram											
3,3',4,4'-Tetramino-biphenyl s. 3,3'-Diaminobenzidin											
Tetranitromethan [509-14-8], 208-094-7	2								H		
Tetraphosphor s. Phosphor gelb/weiß											
Tetryl s. N-Methyl-2,4,6,N- tetranitroanilin											
TGIC s. Triglycidylisocyanurat											
Thancat AN 20 s. 2-(2-[2-Hydroxyethoxy]ethyl)-2- azabicyclo[2.2.1]heptan											
Thioacetamid [62-55-5], 200-541-4	2										
Thiocarbamid s. Thioharnstoff											
4,4'-Thiodianilin und seine Salze [139-65-1], 205-370-9	2								H		
p,p'-Thiodianilin s. 4,4'-Thiodianilin											
Thioharnstoff [62-56-6], 200-543-5	3	-	3	-							
Thiophanatmethyl [23564-05-8], 245-740-7		3			S						
2-Thiourea s. Thioharnstoff											
* Thiram [137-26-8], 205-286-2					S	1 E		2(II)	6, Y	DFG (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
THU s. Thioharnstoff											
Titandioxid [13463-67-7], 236-675-5						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
TNT s. 2,4,6-Trinitrotoluol											
Tobiassäure s. 2-Amino-1-naphthalinsulfon- säure											
o-Tolidin s. 3,3'-Dimethylbenzidin											
o-Toluidin [95-53-4], 202-429-0	2								H		
p-Toluidin [106-49-0], 203-403-1	3	-	-	-	S				H		
p-Toluidiniumchlorid [540-23-8], 208-740-8	3				S				H		
p-Toluidinsulfat [540-25-0], 208-741-3	3				S				H		
Toluol [108-88-3], 203-625-9	-	-	3	-		190	50	4(II)	H, Y	DFG (1994)	BGW
2,4-Toluyldiamin [95-80-7], 202-453-1	2				S				H		EKA
2,4-Toluyldiaminsulfat [65321-67-7], 265-697-8	2				S				H		
2,4-Toluyldiisocyanat s. 2,4-Diisocyanattoluol											
2,6-Toluyldiisocyanat s. 2,6-Diisocyanattoluol											
4-o-Tolylazo-o-toluidin s. 2-Aminoazotoluol											
m-Tolylidendiisocyanat s. m-Diisocyanattoluol											
[(Tolyoxy)methyl]oxiran s. 1,2-Epoxy-3-(tolyoxy)propan											
Toxaphen s. Camphechlor											
Tremolit s. Asbest											
1,2,4-Triazol [288-88-0], 206-022-9			3								
1H-1,2,4-Triazol-3-ylamin s. Amitrol											
Triblebis(orthophosphat) [7446-27-7], 231-205-5			1	3		s. Blei- verbindungen					BGW
Tribrommethan [75-25-2], 200-854-6	3										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tri-n-butylphosphat [126-73-8], 204-800-2	3								H		
Tri-n-butylzinnverbindungen*)						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnbenzoat*) [4342-36-3], 224-399-8						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnchlorid*) [1461-22-9], 215-958-7						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnfluorid*) [1983-10-4], 217-847-9						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnlinoleat*) [24124-25-2], 246-024-7						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnmethacrylat*) [2155-70-6], 218-452-4						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Tributylzinnaphthenat*) [85409-17-2], 287-083-9						0,05	0,0021	1(I)	H, Y	DFG (2000)	
Trichlorbenzol (alle Isomeren außer 1,2,4-) [12002-48-1], 234-413-4						38	5	2(II)	H	DFG	
1,2,4-Trichlorbenzol [120-82-1], 204-428-0	-	-	-	-		3,8	0,5	4(II)		AGS (2003)	
1,1,1-Trichlor-2,2-bis- (4-chlorphenyl)ethan s. DDT											
2,3,4-Trichlor-1-buten [2431-50-7], 219-397-9	2 3								H		
1,1,1-Trichlorethan [71-55-6], 200-756-3						1 100	200	1(II)	H, Y	DFG	BGW
1,1,2-Trichlorethan [79-00-5], 201-166-9	3	-	-	-		55	10	2(II)	H	DFG	
Trichlorethen [79-01-6], 201-167-4	2	3									BGW EKA
Trichlorethylen s. Trichlorethen											
Trichlorfluormethan (R 11) [75-69-4], 200-892-3						5 700	1 000	2(II)	Y	DFG	
* Trichlormethan [67-66-3], 200-663-8	2 3	3	3	-		2,5	0,5	2(II)	Y, H	DFG (2007)	
1-Trichlormethylbenzol s. α,α,α-Trichlortoluol											
N-(Trichlormethylthio)phthalimid; Folpet [133-07-3], 205-088-6	3				S						
Trichlornitromethan [76-06-2], 200-930-9						0,68	0,1	1(I)		DFG	

*) [als TBTO, Bis(tributylzinn)oxid]

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Trichloromethylsulfanyl- 3a,4,7,7a-tetrahydroisindole-1,3- dione s. Captan											
2,4,6-Trichlorphenol [88-06-2], 201-795-9	3										
2,4,5-Trichlorphenoxy- essigsäure (2,4,5-T) [93-76-5], 202-273-3						10 E		2(II)	H, Y	DFG	
1,2,3-Trichlorpropan [96-18-4], 202-486-1	2	3	-	2					H		
α,α,α-Trichlor-4-chlortoluol s. 4-Chlorbenzotrithlorid											
α,α,α-Trichlortoluol [98-07-7], 202-634-5 s. auch α-Chlortoluole	2								H		
1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluoethan (R 113) [76-13-1], 200-936-1						3 900	500	2(II)		DFG	
Tridemorph [24602-86-6], 246-347-3			2								
Tridymit s. Quarz											
Triethylamin [121-44-8], 204-469-4						4,2	1	2(I)	H, 6	DFG (2001)	
Triethylarsenat [15606-95-8], 427-700-2	1										
Triethylenglykol s. 2,2'-(Ethylendioxy)diethanol											
Triethylenglykol-dimethylether s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
Trifluorbrommethan s. Bromtrifluormethan											
Trifluoriodmethan [2314-97-8], 219-014-5		3	-								
Triglycidylisocyanurat [2451-62-9], 219-514-3	-	2	-	3	S						
Triglyme s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
1,2,3-Trihydroxybenzol s. Pyrogallol											
* Triisobutylphosphat [126-71-6], 204-798-3					S	50		2(II)		AGS (2007)	
Trimellitsäureanhydrid (Rauch) s. Benzol-1,2,4-tricarbonsäure- 1,2-anhydrid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4,5-Trimethylanilin [137-17-7], 205-282-0 -hydrochlorid [21436-97-5]	2	-	-	-					H		
1,2,3-Trimethylbenzol [526-73-8], 208-394-8						100	20	2(II)	Y	EG DFG (2003)	
1,2,4-Trimethylbenzol [95-63-6], 202-436-9						100	20	2(II)	Y	EG DFG (2003)	
1,3,5-Trimethylbenzol s. Mesitylen											
3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on [78-59-1], 201-126-0	3	-	-	-		11	2	2(II)	H, Y	DFG (1997)	
Trimethylphosphat [512-56-1], 208-144-8	3	2							H		
Trinatrium-[4'-(8-acetylamino- 3,6-disulfonato-2-naphthylazo)- 4''-(6-benzoylamino-3-sulfonato- 2-naphthylazo)-biphenyl- 1,3',3'',1''''-tetraolato- 0,0',0'',0'''']kupfer(II) 413-590-3	2										
Trinatriumbis(7-acetamido-2)- (4-nitro-2-oxidophenylazo)- (3-sulfonato-1-naphtholato)- chromat(1-) 400-810-8		3									
Trinickeldisulfid [12035-72-2], 234-829-6	1 R49				S						EKA
2,4,7-Trinitrofluoren-9-on [129-79-3], 2049650	3										
* 2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure) [88-89-1], 201-865-9						0,1 E		1(I)	H, 13	EG (2007)	
2,4,6-Trinitrophenyl- methylnitramin s. N-Methyl-2,4,6-N- tetranitroanilin											
2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in technischen Gemischen) [118-96-7], 204-289-6	3					0,1	0,011	2(II)	H	DFG	
1,3,5-Trioxan [110-88-3], 203-812-5	-	-	3	-							
Trioxymethylen s. 1,3,5-Trioxan											
Triphenylzinnacetat s. Fentinacetat											
Triphenylzinnhydroxid s. Fentinhydroxid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,3,5-Tris(3-aminomethylethylphenyl)-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion und Oligomerenmisch aus 3,5-Bis(3-aminomethylphenyl)-1-poly[3,5-bis(3-aminomethylphenyl)-2,4,6-triazin-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-1-yl]-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion, Gemisch aus 421-550-1	2		2		S						
Tris(2-chlorethyl)phosphat [115-96-8], 204-118-5	2 3	-	-	2							
Tris(2,3-epoxypropyl)-1,3,5-triazin-2,4,6-trion s. Triglycidylisocyanurat											
1,3,5-Tris-[(2S und 2R)-2,3-epoxypropyl]-1,3,5-triazin-2,4,6-(1H, 3H, 5H)-trion [59653-74-6], 423-400-0		2			S						
1,3,5-Tris(oxiranylmethyl)-1,3,5-triazin-2,4,6(1H,3H,5H)-trion s. Triglycidylisocyanurat											
Trizinat s. Blei-2,4,6-trinitroresorcinat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Urethan s. Ethylcarbamat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Valinamid [20108-78-5], 402-840-7				3	S						
Vanadumpentoxid [1314-62-1], 215-239-8		3	3			0,05 A		1(II)		DFG	BGW
Vinclozolin [50471-44-8], 256-599-6	3		2	2	S						
* Vinylacetat [108-05-4], 203-545-4	3					18	5	2(I)		AGS (2007)	
Vinylbutyrolactam s. N-Vinyl-2-pyrrolidon											
9-Vinylcarbazol [1484-13-5], 216-055-0	-	3	-	-	S				H		
Vinylchlorid [75-01-4], 200-831-0	1					s.50			50	EG	
4-Vinylcyclohexen [100-40-3], 202-848-9	3	-	-	3					H		
4-Vinyl-1,2-cyclohexendiepoxyd s. 1-Epoxyethyl-3,4- epoxycyclohexan											
Vinylidenchlorid s. 1,1-Dichlorethen											
Vinylidenfluorid s. 1,1-Difluorethen											
N-Vinyl-2-pyrrolidon [88-12-0], 201-800-4	3	-	-	-					H		
Vinyltoluol s. Methylstyrol											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Warfarin [81-81-2], 201-377-6			1								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4-Xylidin (2,4-Dimethylanilin) [95-68-1], 202-440-0	3								H		
2,6-Xylidin [87-62-7], 201-758-7	3	-	-	-					H		
Xylol (alle Isomeren) [1330-20-7], 215-535-7						440	100	2(II)	H	DFG	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)					Werte im bio- logischen Material
	K	M	R _E	R _F	S	mg/m ³	ml/m ³	Spitzen- begren- zung	Bemer- kungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Zinkchromate einschließlich Zinkkaliumchromat	1				S						
* Zinn(II)-Verbindungen, anorganische						8 E			10	AGS (2007)	
* Zinn(IV)-Verbindungen, anorganische						2 E			13, 10	EG (2007)	
* Zirkonium [7440-67-7], 231-176-9 und wasserunlösliche Verbindungen						1 E		1(l)	10	DFG (2007)	

Anhang 1: Biologische Grenzwerte (BGW)

Abkürzungen:

Untersuchungsmaterial:

B = Vollblut

E = Erythrozyten

U = Urin

P/S = Plasma/Serum

Probennahmezeitpunkt:

a) keine Beschränkung

b) Expositionsende bzw. Schichtende

c) bei Langzeitexposition: nach mehreren vorangegangenen Schichten

d) vor nachfolgender Schicht

e) nach Expositionsende: ... Stunden

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs- material	Probennahme- zeitpunkt
Aceton [67-64-1]	Aceton	80 mg/l	U	b
Acetylcholinesterase-Hemmer	Acetylcholinesterase	Reduktion der Aktivität auf 70 % des Bezugswertes	E	b, c
Aluminium [7429-90-5]	Aluminium	200 µg/l	U	b
Anilin [62-53-3]	Anilin (ungebunden)	1 mg/l	U	b, c
	Anilin (aus Hämoglobin-Konjugat freigesetzt)	100 µg/l	B	b, c
Blei [7439-92-1]	Blei	400 µg/l 300 µg/l (100 µg/l) (Frauen < 45 J.)	B	a
Bleitetraethyl [78-00-2]	Diethylblei	25 µg/l, als Pb berechnet	U	b
	Gesamtblei (gilt auch für Gemische mit Bleitetramethyl)	50 µg/l	U	b
Bleitetramethyl [75-74-1]	s. Bleitetraethyl			
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluoethan (Halothan) [151-67-7]	Trifluoressigsäure	2,5 mg/l	B	b, c
1-Butanol	1-Butanol	2 mg/g Kreatinin	U	d
	1-Butanol	10 mg/g Kreatinin	U	b
2-Butanon (Methylethylketon) [78-93-3]	2-Butanon	5 mg/l	U	b
2-Butoxyethanol [111-76-2]	Butoxyessigsäure	100 mg/l	U	c
2-Butoxyethylacetat	Butoxyessigsäure	100 mg/l	U	c
p-tert-Butylphenol (PTBP) [98-54-4]	PTBP	2 mg/l	U	b
Chlorbenzol [108-90-7]	Gesamt-4-Chlor-katechol	35 mg/g Kreatinin	U	d
	Gesamt-4-Chlor-katechol	175 mg/g Kreatinin	U	b
Cyclohexan	Gesamt-1,2-Cyclohexandiol	170 mg/g Kreatinin	U	c, b
1,2-Dichlorbenzol [95-50-1]	1,2-Dichlorbenzol	140 µg/l	B	b
	3,4- und 4,5-Dichlorcatechol	150 mg/g Kreatinin	U	b
1,4-Dichlorbenzol [100-46-7]	Gesamt-2,5-Dichlorphenol	150 mg/g Kreatinin	U	b
		30 mg/g Kreatinin	U	d
Dichlormethan [75-09-2]	CO-Hb	5 %	B	b
	Dichlormethan	1 mg/l	B	b
N,N-Dimethylacetamid [127-19-5]	N-Methylacetamid	30 mg/g Kreatinin	U	c, b
N,N-Dimethylformamid [68-12-2]	N-Methylformamid	35 mg/l	U	b
Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat ¹	4,4'-Diaminodiphenylmethan	10 µg/g Kreatinin	U	b
2-Ethoxyethanol [110-85-5]	Ethoxyessigsäure	50 mg/l	U	c, b

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs- material	Probennahme- zeitpunkt
2-Ethoxyethylacetat [111-15-9]	Ethoxyessigsäure	50 mg/l	U	c, b
Ethylbenzol [100-41-4]	Ethylbenzol	1 mg/l (1,5)	B	b
	Mandelsäure plus Phenylglyoxylsäure	800 mg/g Kreatinin (2000)	U	b
Ethylenglykoldinitrat [628-96-6]	Ethylenglykoldinitrat	0,3 µg/l	B	b
Fluorwasserstoff [7664-39-3] und anorganische Fluorverbindungen (Fluoride)	Fluorid	7,0 mg/g Kreatinin	U	b
		4,0 mg/g Kreatinin	U	d
Glycerintrinitrat [55-63-0]	1,2-Glycerindinitrat	0,5 µg/l	P/S	b
	1,3-Glycerindinitrat	0,5 µg/l	P/S	b
n-Hexan [110-54-3]	2,5-Hexandion plus 4,5-Dihydroxy-2-hexanon	5 mg/l	U	b
2-Hexanon (Methylbutylketon) [591-78-6]	2,5-Hexandion plus 4,5-Dihydroxy-2-hexanon	5 mg/l	U	b
Kohlendisulfid (Schwefelkohlenstoff) [75-15-0]	2-Thio-thiazolidin-4- carboxylsäure (TTCA)	8 mg/l (4)	U	b
Kohlenmonoxid [630-08-0]	CO-Hb	5 %	B	b
Lindan (γ-1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclo- hexan) [58-89-9]	Lindan	25 µg/l	P/S	b
Mangan [7439-96-5] und seine anorganischen Verbindungen	Mangan	20 µg/l	B	c, b
Methanol [67-56-1]	Methanol	30 mg/l	U	c, b
4-Methylpentan-2-on (Methylisobutyl- keton) [108-10-1]	4-Methylpentan-2-on	3,5 mg/l	U	b
Nitrobenzol [98-95-3]	Anilin (aus Hämoglobin- Konjugat freigesetzt)	100 µg/l	B	c
Parathion [56-38-2]	p-Nitrophenol plus Acetylcholinesterase	500 µg/l Reduktion der Aktivität auf 70 % des Bezugswertes	U E	c c
Phenol [108-95-2]	Phenol	300 mg/l	U	b
2-Propanol [67-63-0]	Aceton	50 mg/l	B	b
	Aceton	50 mg/l	U	b
iso-Propylbenzol [98-82-8]	2-Phenyl-2-propanol	50 mg/g Kreatinin	U	b
	iso-Propylbenzol	2 mg/l	B	b
Quecksilber [7439-97-6], metallisches, und anorganische Quecksilber- verbindungen	Quecksilber	25 µg/l	B	a
	Quecksilber	100 µg/l	U	a
Quecksilber, organische Quecksilber- verbindungen	Quecksilber	100 µg/l	B	a
Styrol [100-42-5]	Mandelsäure plus Phenylglyoxylsäure	600 mg/g Kreatinin	U	c, b
Tetrachlorethen (Perchlorethylen) [127-18-4]	Tetrachlorethen	1 mg/l	B	d
Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlen- stoff) [56-23-5]	Tetrachlormethan	70 µg/l (3,5)	B	b, c
Tetrahydrofuran [109-99-9]	Tetrahydrofuran	2 mg/l	U	b

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs- material	Probennahme- zeitpunkt
Toluol [108-88-3]	Toluol	1 mg/l	B	b
	o-Kresol	3,0 mg/l	U	c, b
1,1,1-Trichlorethan (Methylchloroform) [71-55-6]	1,1,1-Trichlorethan	550 µg/l	B	c, d
Trichlorethen (Trichlorethylen) [79-01-6]	Trichlorethanol	5 mg/l	B	b, c
	Trichloressigsäure	100 mg/l	U	b, c
Vanadumpentoxid [1314-62-1]	Vanadium	70 µg/g Kreatinin	U	c, b
Xylol (alle Isomeren) [1330-20-7]	Xylol	1,5 mg/l	B	b
	Methylhippur-(Tolur-)säure	2 g/l	U	b

¹ BGW reflektieren die Gesamtkörperbelastung eines inhalativ, dermal usw. aufgenommenen Arbeitsstoffes. Bei beruflicher Exposition gegen MDI erfasst der Parameter 4,4'-Diaminodiphenylmethan (MDA) im Harn alle Komponenten eines komplexen MDI-Gemisches, da sowohl Monomere als auch Oligomere des MDI unabhängig vom Aufnahmeweg zu monomerem MDA abgebaut werden.

Demgegenüber berücksichtigt der AGW für MDI nur den monomeren MDI-Anteil.

Der von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG erarbeitete BAT-Wert ist auf der Basis einer Korrelation vom AGW für MDI abgeleitet. Diese Korrelation ergibt sich aus mehreren arbeitsmedizinischen Studien am Menschen.

In solchen Expositionszeiten, bei denen eine überwiegend inhalative Aufnahme von MDI erfolgt und das Verhältnis zwischen Monomeren und Oligo- bzw. Polymeren etwa demjenigen entspricht, das der Ableitung des AGW zugrunde lag, entspricht der BGW dem AGW. Falls eine ungewöhnliche Verteilung zwischen monomeren und polymeren Anteilen im Sinne einer übermäßigen Vermehrung der Polymere oder falls eine verstärkte dermale Aufnahme vorliegt, führt dies zu einer Erhöhung des Parameters im biologischen Material. Insofern befindet man sich bei Einhaltung des BGW in diesen Fällen „auf der sicheren Seite“.

Eine Einhaltung des BGW bietet somit im Vergleich zum AGW einen zusätzlichen Schutz bei ungewöhnlich hoher Exposition gegen Oligo- bzw. Polymeren des MDI und bei verstärkter dermaler Exposition.

**Anhang 2:
Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA)**

Nachstehend sind krebserzeugende Arbeitsstoffe aufgeführt, für die Korrelationen (Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe, EKA) begründet werden können. Weitere EKA-Werte können der MAK- und BAT-Werte-Liste 2007 (siehe Abschnitt 1.1) entnommen werden.

Acrylnitril [107-13-1]

Luftkonzentration bestimmt als Acrylnitril		Erythrozyten*) N-Cyanethylvalin µg/l Blut
ml/m ³	mg/m ³	
0,14	0,3	16
0,23	0,5	35
0,45	1	60
3	7	420

*) Probenahmezeitpunkt: keine Beschränkung

Alkalichromate-(VI)

Luftkonzentration berechnet als CrO ₃ mg/m ³	Probennahmezeitpunkt: bei Langzeitexposition: nach mehreren voran- gegangenen Schichten Erythrozyten*) Chrom µg/l Vollblut	Probennahmezeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende Harn**) Chrom (µg/l)
0,03	9	12
0,05	17	20
0,08	25	30
0,10	35	40

*) gilt nicht für Schweißrauch-Exposition

**) gilt auch für Schweißrauch-Exposition

Arsentrioxid [1327-53-3]

Luftkonzentration berechnet als Arsen µg/m ³	Probennahmezeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende Harn ¹ Arsen (µg/l)
10	50
50	90
100	130

¹ Durch direkte Hydrierung bestimmte flüchtige Arsenverbindungen

Benzol [71-43-2]

Luftkonzentration bestimmt als Benzol		Probennahzeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende		
ml/m ³	mg/m ³	Vollblut Benzol (µg/l)	Harn	
			S-Phenylmercaptursäure (mg/g Kreatinin)	trans, trans-Muconsäure (mg/l)
0,3	1,0	0,9	0,010	–
0,6	2,0	2,4	0,025	1,6
0,9	3,0	4,4	0,040	–
1,0	3,3	5,0	0,045	2,0
2,0	6,5	14,0	0,090	3,0
4,0	13,0	38,0	0,180	5,0
6,0	19,5	–	0,270	7,0

*** 1,3-Butadien [106-99-0]**

Luftkonzentration bestimmt als 1,3-Butadien		Probennahzeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende Urin N-Acetyl-S-(3,4-dihydroxybutyl)-L-cystein
ml/m ³	mg/m ³	(mg/l)
0	0	0,4
0,5	1,1	1,3
1	2,2	2,2
2	4,5	4,1
3	6,7	5,9
4	9,0	7,8
5	11	9,6

Cobalt [7440-48-4]

Luftkonzentration bestimmt als Cobalt µg/m ³	Probennahzeitpunkt: keine Beschränkung	
	Vollblut Cobalt (µg/l)	Harn Cobalt (µg/l)
50	2,5	30
100	5	60
500	25	300

*** Cyclohexanon [108-94-1]**

Luftkonzentration bestimmt als Cyclohexanon		Probennahmezeitpunkt: Expositions- bzw. Schichtende bei Langzeitexposition: nach mehreren vorangegangenen Schichten	Probennahmezeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende
ml/m ³	mg/m ³	Urin Gesamt-1,2-Cyclo hexandiol	Urin Gesamt-Cyclohexanol
10	40	50	6
20	80	100	12
50	200	250	30

Dichlormethan [75-09-2]

Luftkonzentration bestimmt als Dichlormethan		Probennahmezeitpunkt: während der Exposition, mind. 2 Stunden nach Expositionsbeginn Vollblut Dichlormethan
ml/m ³	mg/m ³	(mg/l)
10	35	0,1
20	70	0,2
50	175	0,5
100	350	1

*** 1,4-Dichlorbenzol [106-46-7]**

Luftkonzentration bestimmt als 1,4-Dichlorbenzol		Probennahmezeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende Urin 2,5-Dichlorphenol
ml/m ³	mg/m ³	(mg/g Kreatinin)
9	55	19,0
11	67	27,1
17	104	46,2
25	153	62,1
34	208	100,6

Dimethylsulfat [77-78-1]

Luftkonzentration bestimmt als Dimethylsulfat		Erythrozyten N-Methylvalin
ml/m ³	mg/m ³	(mg/l)
0,002	0,01	10
0,006	0,03	13
0,01	0,05	17
0,04	0,20	40

Probennahmezeitpunkt: keine Beschränkung

Ethylen [74-85-1]

Luftkonzentration bestimmt als Ethylen (ml/m ³)	Erythrozyten Hydroxyethylvaliin (µg/l Blut)
25	45
50	90
100	180

Probenahmezeitpunkt: keine Beschränkung

Hydrazin [302-01-2]

Luftkonzentration bestimmt als Hydrazin		Probennahmezeitpunkt: Expositions- bzw. Schichtende	
ml/m ³	mg/m ³	Harn µg Hydrazin/g Kreatinin	Plasma Hydrazin (µg/l)
0,01	0,013	35	27
0,02	0,026	70	55
0,05	0,065	200	160
0,08	0,104	300	270
0,10	0,130	380	340

Nickel (leicht lösliche Nickelverbindungen)

Luftkonzentration bestimmt als Nickel µg/m ³	Probennahmezeitpunkt: nach mehreren vorangegangenen Schichten Harn Nickel (µg/l)
25	25
50	40
100	70

Nickel [7440-02-0]

(Nickelmetall, -oxid, -carbonat, -sulfid, sulfidische Erze)

Luftkonzentration bestimmt als Nickel µg/m ³	Probennahmezeitpunkt: nach mehreren vorangegangenen Schichten Harn Nickel (µg/l)
100	15
300	30
500	45

Pentachlorphenol (PCP)

Luftkonzentration bestimmt als Pentachlorphenol mg/m ³	Probennahmezeitpunkt: keine Beschränkung	
	Harn Pentachlorphenol µg/l	Serum/Plasma Pentachlorphenol µg/l
0,001	6*)	17*)
0,05	300	1 000
0,10	600	1700

*) extrapolierte Werte

Tetrachlorethen [127-18-4]

Luftkonzentration bestimmt als Tetrachlorethen		Vollblut Tetrachlorethen
(ml/m ³)	(mg/m ³)	(mg/l)
10	69	0,2
20	138	0,4
30	206	0,6
50	344	1,0

Probennahmezeitpunkt: 16 Stunden nach Schichtende

2,4-Toluylendiamin [95-80-7]

Luftkonzentration bestimmt als 2,4-Toluylendiamin (mg/m ³)	Harn Gesamt-2,4-Toluylendiamin (µg/g Kreatinin)
0,0025	6
0,01	13
0,017	20
0,035	37
0,100*)	100 *)

Probennahmezeitpunkt: Expositionsende bzw. Schichtende

*) extrapolierte Werte

Trichlorethen [79-01-6]

Luftkonzentration bestimmt als Trichlorethen		Harn Trichloressigsäure
(ml/m ³)	(mg/m ³)	(mg/l)
10	55	20
20	109	40
30	164	60
50	273	100

Probennahmezeitpunkt: Schichtende

Vinylchlorid [75-01-4]

Luftkonzentration bestimmt als Vinylchlorid		Probennahmezeitpunkt: nach mehreren voran- gegangenen Schichten
ml/m ³	mg/m ³	Harn Thiodiglykolsäure (mg/24 h)
1	2,6	1,8
2	5,2	2,4
4	10,0	4,5
8	21,0	8,2
16	41,0	10,6

1.2 Besondere Stoffgruppen

Folgende Tätigkeiten und Verfahren werden in der TRGS 906 als krebserzeugend der Kategorie 1 oder 2 bezeichnet:

(1) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte Hartholzstäuben ausgesetzt sind.

Verzeichnis einiger Hartholzarten nach TRGS 906 bzw. Anhang I Nr. 5 der Richtlinie 2004/37/EG

Quelle: Band 62 der vom Internationalen Krebsforschungszentrum (IARC) veröffentlichten Monographie zur Evaluierung von Krebsrisiken für den Menschen: Wood Dust and Formaldehyde, Lyon, 1995

Harthölzer sind insbesondere:

Afrikanisches Mahagony (Khaya)
Afromosia (Pericopis elata)
Ahorn (Acer)
Balsa (Ochroma)
Birke (Betula)
Brasilianisches Rosenholz (Dalbergia nigra)
Buche (Fagus)
Ebenholz (Diospyros)
Eiche (Quercus)
Erle (Alnus)
Esche (Fraxinus)
Hickory (Carya)
Iroko (Chlorophora excelsa)
Kastanie (Castanea)
Kaurikiefer (Agathis australis)
Kirsche (Prunus)
Limba (Terminalia superba)
Linde (Tilia)
Mansonia (Mansonia)
Meranti (Shorea)
Nyaoth (Palaquium hexandrum)
Obeche (Triplochiton scleroxylon)
Palisander (Dalbergia)
Pappel (Populus)
Platane (Platanus)
Rimu, Red Pine (Dacrydium cupressinum)
Teak (Tectona grandis)
Ulme (Ulmus)
Walnuss (Juglans)
Weide (Salix)
Weißbuche (Carpinus)

(2) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte krebserzeugenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen ausgesetzt sind, die in Pyrolyseprodukten aus organischem Material (z.B. Steinkohlenruß, Steinkohlenteer oder Steinkohlenteerpech) vorhanden sein können. Es ist zulässig, als Bezugsstoff für Pyrolyseprodukte mit krebserzeugenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen den Stoff Benzo[a]pyren zu wählen.

(3) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte in Bereichen arbeiten, bei denen Dieselmotoremissionen freigesetzt werden.

(4) Die Herstellung von Auramin

(5) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte Staub, Rauch oder Nebel beim Rösten oder bei der elektrolytischen Raffination von Nickelmatte¹ ausgesetzt sind.

(6) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte alveolengängigen Stäuben aus kristallinem Siliciumdioxid in Form von Quarz und Cristobalit ausgesetzt sind (ausgenommen Steinkohlengrubenstaub).

(7) Starke Säure-Verfahren bei der Herstellung von Isopropanol

Stoffgruppen, die in der TRGS 905 als krebserzeugend aufgeführt sind

● Krebserzeugende Azofarbstoffe

Azofarbstoffe mit einer krebserzeugenden Aminkomponente (R45): Zubereitungen von Azofarbstoffen mit krebserzeugender Aminkomponente der Kategorie 1 oder 2 sind nach § 3 Absatz 2 GefStoffV und TRGS 905 Nr. 4 entsprechend ihrem Gehalt an potenziell durch reduktive Azospaltung freisetzbarem krebserzeugenden Amin und dem Gehalt des Azofarbstoffes in der Zubereitung als krebserzeugend einzustufen (R45).

● Anorganische Faserstäube (außer Asbest)^{2, 3}

(1) Dieser Abschnitt gilt für Fasern mit einer Länge > 5 µm, einem Durchmesser < 3 µm und einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von > 3:1 (WHO-Fasern). Er gilt für Fasern aus Glas, Stein, Schlacke oder Keramik und die anderen in diesem Abschnitt genannten Fasern (ausgenommen Asbest).

(2) Die Bewertung der glasigen Fasern erfolgt nach den Kategorien für krebserzeugende Stoffe in Anhang I Nr. 1.4.2.1 GefStoffV und auf der Grundlage des Kanzerogenitätsindex K_1 , der sich für die jeweils zu bewertende Faser aus der Differenz zwischen der Summe der Massengehalte (in v.H.) der Oxide von Natrium, Kalium, Bor, Calcium, Magnesium, Barium und dem doppelten Massengehalt von Aluminiumoxid ergibt.

$$K_1 = \Sigma \text{Na, K, B, Ca, Mg, Ba-Oxide} - 2 \cdot \text{Al-Oxid}$$

- a) Glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_1 \leq 30$ werden in die Kategorie 2 eingestuft.
- b) Glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_1 > 30$ und < 40 werden in die Kategorie 3 eingestuft.
- c) Für glasige WHO-Fasern erfolgt keine Einstufung als krebserzeugend, wenn deren Kanzerogenitätsindex $K_1 \geq 40$ beträgt.

(3) Die Einstufung der glasigen WHO-Fasern kann auch durch einen Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, vorgenommen werden. Dies empfiehlt sich insbesondere für WHO-Fasern mit einem K_1 -Index ≥ 25 und < 40.

¹ Nickelstein, hergestellt durch Sulfidierung von Ferronickel mit Schwefel

² Zur Einstufung von Asbest und Erionit siehe dort

³ Zur Ermittlung des K_1 -Wertes siehe BGIA-Arbeitsmappe 7488

- Wird für glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_f \leq 30$ in einem Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $1 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, eine krebserzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 2.

Dagegen erfolgt eine Einstufung in Kategorie 3, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

- Wird für glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_f > 30$ und < 40 in einem Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $1 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, eine krebserzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 2.

Dagegen erfolgt eine Einstufung in Kategorie 3, wenn bei einer Dosis von $1 \cdot 10^9$ WHO-Fasern keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

In diesem Fall empfiehlt es sich, zusätzlich einen Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $5 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, durchzuführen. Wird bei dieser Dosis eine krebserzeugende Wirkung der Fasern nachgewiesen, wird die Einstufung in Kategorie 3 beibehalten. Dagegen erfolgt keine Einstufung der Fasern, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

- Wird für glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $K_f \geq 40$ in einem Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation mit einer Dosis von $5 \cdot 10^9$ WHO-Fasern, vorzugsweise mit Fasern in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, eine krebserzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 3.

Dagegen erfolgt keine Einstufung der Fasern, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

(4) Die Einstufung der glasigen WHO-Fasern kann auch durch Bestimmung der In-vivo-Biobeständigkeit erfolgen. Danach erfolgt eine Einstufung in die Kategorie 3 der krebserzeugenden Stoffe, wenn für glasige WHO-Fasern nach intratrachealer Instillation von $4 \cdot 0,5$ mg Fasern in einer Suspension eine Halbwertszeit von mehr als 40 Tagen ermittelt wurde. Die WHO-Fraktion der instillierten Faserprobe sollte einen mittleren geometrischen Durchmesser von $0,6 \mu\text{m}$ oder mehr aufweisen. Faserproben mit kleinerem Durchmesser können geprüft werden, falls dies mit dem geringeren Durchmesser des Ausgangsmaterials begründet werden kann. Die Halbwertszeit sollte mit der nicht-linearen exponentiellen Regression gemäß ECB/TM 27 rev. 7 berechnet werden. Falls nach den dort genannten Kriterien eine biphasige Eliminationskinetik zur Beschreibung der Retentionsdaten erforderlich ist, ist die Halbwertszeit der langsamen Eliminationsphase zur Bewertung heranzuziehen. Kriterien für die Einstufung in die Kategorie 2 sind noch zu erarbeiten.

(5) Folgende Typen von WHO-Fasern, für die positive Befunde aus Tierversuchen (inhalativ, intratracheal, intrapleurale, intraperitoneal) vorliegen, werden in die Kategorie 2 eingestuft:

- Attapulgit (Palygorskit)
- Dawsonit
- Künstliche kristalline Keramikfasern (Whiskers oder Hochleistungskeramikfasern) aus
 - Aluminiumoxid
 - Kaliumtitanaten
 - Siliciumkarbid u.a.

(6) Alle anderen anorganischen Typen von WHO-Fasern werden in die Kategorie 3 eingestuft, wenn die vorliegenden tierexperimentellen Ergebnisse (einschließlich Daten zur Biobeständigkeit) für eine Einstufung in die Kategorie 2 nicht ausreichen. Dies betrifft derzeit folgende:

- Halloysit
- Magnesiumoxidsulfat
- Nermalith
- Sepiolith
- anorganische Faserstäube, soweit nicht erwähnt (ausgenommen Gipsfasern und Wollastonitfasern)

● Krebserzeugende Arzneistoffe

Von krebserzeugenden Eigenschaften der Kategorien 1 und 2 ist bei Substanzen auszugehen, denen ein gentoxischer therapeutischer Wirkungsmechanismus zugrunde liegt. Erfahrungen in der Therapie mit alkylierenden Zytostatika wie Cyclophosphamid, Ethenimin, Chlorophazin sowie mit arsen- und teerhaltigen Salben, die über lange Zeit angewendet worden sind, bestätigen dies insofern, als bei so behandelten Patienten Tumorneubildungen beschrieben worden sind.

● Passivrauchen

Passivrauchen wurde nach den Kriterien der GefStoffV in Verbindung mit den dort in Bezug genommenen Richtlinien der EG bewertet, die Begründung ist als Bekanntmachung des AGS zugänglich unter www.baua.de. Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz werden durch das Arbeitsschutzgesetz und die Arbeitsstättenverordnung geregelt.

2 Gefahrstoffe in Innenräumen und in der Außenluft

2.1 Einführung und Erläuterungen

Den gesetzlichen Hintergrund für den Arbeitsschutz liefert das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [1]. Dessen Vorschriften werden auf der hierarchisch darunter liegenden Verordnungsebene durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [2] bzw. auch durch spezielle Verordnungen wie die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [3] konkretisiert. Die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung sind allgemein gültig auf die Beschaffenheit von Arbeitsplätzen ausgerichtet; die Gefahrstoffverordnung regelt dagegen Arbeitsplätze, an denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausgeführt werden.

In der novellierten Arbeitsstättenverordnung wurden die Anforderungen an die Luftqualität an Arbeitsplätzen gegenüber der bisherigen Verordnung nicht grundsätzlich geändert. So muss nach Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung in Arbeitsräumen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein. Diese Forderung gilt nach der Arbeitsstättenrichtlinie 5 (ASR 5) [4] dann als erfüllt, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Die Außenluftqualität ist dabei nicht definiert; sie wird aber u.a. durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [5] geregelt.

Zukünftig sollen die Vorschriften der Arbeitsstättenverordnung durch Regeln für Arbeitsstätten des Ausschusses für Arbeitsstätten konkretisiert werden. Bis zum Vorliegen solcher Regeln, längstens jedoch bis zum Jahre 2010, bleiben die bisherigen Arbeitsstättenrichtlinien und somit auch die ASR 5 und das darauf beruhende Bewertungskonzept weiterhin gültig.

Zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft dienen im Allgemeinen Grenzwerte, die entsprechend dem jeweiligen Anwendungsbereich definiert sind. Für die in der Arbeitswelt vorkommenden gefährlichen Stoffe nach GefStoffV sind Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) in der TRGS 900 [6] festgelegt. Die Arbeitsplatzgrenzwerte gelten jedoch nur an solchen Arbeitsplätzen, an denen im Sinne der Gefahrstoffverordnung Tätigkeiten mit den betreffenden Gefahrstoffen durchgeführt werden oder diese entstehen.

Für Arbeitsplätze, die nicht in den Geltungsbereich der Gefahrstoffverordnung fallen, sind keine speziellen Luftgrenzwerte festgesetzt. Ein gelegentlich geäußelter Vorschlag, bei dem mithilfe fester Umrechnungsfaktoren aus den Arbeitsplatzgrenzwerten nach der TRGS 900 Beurteilungswerte für Innenräume abgeleitet werden, liefert in vielen Fällen sicherlich eine brauchbare erste Annäherung; als Pauschalregelung ist dieser Vorschlag jedoch leicht angreifbar und muss deshalb bei der Anwendung im Einzelfall immer kritisch hinterfragt werden [7].

Zur Beurteilung der Exposition an Innenraumarbeitsplätzen sowie in der Außenluft werden derzeit in der Bundesrepublik Deutschland Werte sehr unterschiedlicher Art und Herkunft herangezogen. Diese Werte sind – anders als die Grenzwerte für Arbeitsplätze – nicht in einer einheitlichen verbindlichen Regel zusammengefasst und haben insbesondere auch keine einheitliche rechtliche Relevanz. So besitzen beispielsweise praktisch alle für Innenräume aufgestellten Werte lediglich den Charakter einer Empfehlung. Die wichtigsten für die Innenraumluft und für die Außenluft herangezogenen Beurteilungswerte werden im Folgenden dargestellt.

Richtwerte des Umweltbundesamtes für die Innenraumluft

Von der Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes (IRK) werden für Innenräume Richtwerte aufgestellt, wobei unterschieden wird zwischen dem Richtwert I (RW I) und dem Richtwert II (RW II) [8]:

„Der Richtwert II ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen. Je nach Wirkungsweise des betrachteten Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder als Langzeitwert (RW II L) definiert werden. Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z.B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition.“

„Der Richtwert I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Der RW I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht ausgeschöpft, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.“

„Aus Vorsorgegründen besteht auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II Handlungsbedarf. Der RW I wird vom RW II durch Einführen eines zusätzlichen Faktors (in der Regel 10) abgeleitet. Dieser Faktor ist eine Konvention.“

Die Anwendung der Richtwerte wird jedoch erheblich dadurch eingeschränkt, dass es derzeit nur für eine sehr begrenzte Anzahl von Einzelstoffen Richtwerte gibt. Weiterhin bleibt zu berücksichtigen, dass die Richtwerte u.a. für Wohnräume abgeleitet wurden, in denen erheblich andere Nutzungsbedingungen vorliegen als in Arbeitsräumen.

EG-Richtlinien

Die Rahmenrichtlinie 96/62/EG [9], die am 27. September 1996 zum Schutz der Umwelt insgesamt und der menschlichen Gesundheit verabschiedet wurde, schafft eine europaweit gültige Grundlage für die Beurteilung und Kontrolle der Außenluftqualität. Sie wird durch insgesamt vier Einzelrichtlinien ergänzt, in denen Grenzwerte und gegebenenfalls Alarmschwellen für ausgewählte Luftschadstoffe festgelegt sind.

1999/30/EG [10]:
Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft

2000/69/EG [11]:
Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft

2002/3/EG [12]:
Ozongehalt der Luft

2004/107/EG [13]:
Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft

Bei Überschreitung der Alarmschwellen (in drei aufeinander folgenden Stunden) ist die Bevölkerung zu informieren und es sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Bundesimmissionsschutzrecht

Die Umsetzung der Rahmenrichtlinie 96/62/EG und der zugehörigen Einzelrichtlinien in deutsches Recht erfolgte durch das Siebte Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 11. September 2002 [14] sowie durch die 22. [15] bzw. 33. Bundesimmissionsschutzverordnung [16] (BlmSchV). Das Bundes-Immissionsschutzgesetz wird durch die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [17] als Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift ergänzt. In ihr sind u.a. Immissionswerte aufgeführt, die zum Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen, des Bodens, des Wassers, der Atmosphäre sowie von Kultur- und sonstigen Sachgütern vor schädlichen Umwelteinwirkungen sowie zur Vorbeugung des Entstehens schädlicher Umwelteinwirkungen einzuhalten sind.

WHO-Luftqualitätsleitlinien (Air Quality Guidelines)

1987 wurden erstmals von einer Arbeitsgruppe der Weltgesundheitsorganisation (WHO) Leitlinien für die Luftqualität in Europa aufgestellt. In der Folgezeit wurde die Methodik zur Risikoabschätzung weiterentwickelt. Daher überarbeitete das Europäische WHO-Zentrum für Umwelt und Gesundheit in enger Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission und dem Internationalen Programm für Chemikaliensicherheit (IPCS) die Leitlinien und brachte im Jahr 2001 eine 2. Ausgabe heraus [18].

Die Leitlinien wurden zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen und für die Beseitigung oder Verringerung der Belastung durch diese Schadstoffe, die nachweislich oder wahrscheinlich gefährlich für die Gesundheit oder das Wohlergehen des Menschen sind, aufgestellt. Diese gelten sowohl für die Außen- als auch für die Innenraumluft. Für die einzelnen Stoffe wurden Leitwerte festgelegt, bei deren Einhaltung die Gesundheit der Bevölkerung – entweder absolut oder zumindest für einen bestimmten Zeitraum – nicht signifikant gefährdet wird.

Die Ableitung der Leitwerte stützt sich – sofern vorhanden – auf epidemiologische Erkenntnisse und berücksichtigt die toxikologischen Erkenntnisse, wobei zum Schutz empfindlicher Bevölkerungsgruppen Sicherheitsfaktoren eingebracht wurden. Für krebserzeugende Stoffe wurde kein Konzentrationswert angegeben, sondern nur das „unit risk“, das angibt, welches anteilige Krebsrisiko einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von meist $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zuzuschreiben ist.

Neben den Leitlinien für die Europäische Union, 2. Ausgabe, wurden im Jahre 2006 weltweit gültige Leitwerte für Staub, Ozon, Schwefeldioxid sowie Stickstoffdioxid herausgegeben [19].

Maximale Immissionskonzentrationen (MIK)

Von der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL) werden Maximale Immissionswerte (d.h. Maximale Immissionskonzentrationen – MIK – und Maximale Immissionsraten) erarbeitet [20]. Sie zielen darauf ab, eine Gesundheitsschädigung des Menschen, insbesondere auch bei Kindern, Alten und Kranken, selbst bei langfristiger Einwirkung, zu vermeiden oder einen Schutz vor Schädigung von Tieren, Pflanzen und Sachgütern zu gewährleisten. Sie sind rein wirkungsbezogene, wissenschaftlich begründete und aus praktischen Erfahrungen abgeleitete Werte mit medizinischer oder naturwissenschaftlicher Indikation und berücksichtigen nicht die technische Realisierbarkeit. Wegen des Wirkungsbezuges können sie als Beurteilungsmaßstäbe sowohl für die Außen- als auch für die Innenraumluft herangezogen werden.

2.2 Tabelle der Beurteilungswerte der Gefahrstoffexposition in der Außen- und Innenluft

Gefahrstoff	Beurteilungswert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
Acrylnitril	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $2 \cdot 10^{-5}$.
Arsen	0,006	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [13] 22. BImSchV [15]	Gesamtgehalt in der PM_{10} -Fraktion; ab 31. Dezember 2012 nicht zu überschreiten
	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $1,5 \cdot 10^{-3}$.
Asbest	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von $500 \text{ Fasern}/\text{m}^3$ (optisch gemessen) liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei 10^{-6} bis 10^{-5} , (mesothelioma risk 10^{-5} bis 10^{-4}).
Benzo[a]pyren	siehe polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)				
Benzol	5	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	2000/69/EG [11] 22. BImSchV [15]	Toleranzmarge: $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sie vermindert sich ab 1. Januar 2007 bis zum 1. Januar 2010 stufenweise um jährlich $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
	5	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	
	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Leukämie zu erkranken, bei $6 \cdot 10^{-6}$.
Blei	0,5	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	
	1	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	in unmittelbarer Nachbarschaft bestimmter industrieller Quellen an Standorten, die durch jahrzehntelange industrielle Tätigkeit belastet worden sind gültig bis 1. Januar 2010, ab 1. Januar 2010 gilt $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Toleranzmarge bezogen auf $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sie vermindert sich ab 1. Januar 2007 bis zum 1. Januar 2010 stufenweise um jährlich $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
	0,5	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	Blei und seine anorganischen Verbindungen als Bestandteile des Schwebstaubs (PM_{10}), angegeben als Blei
	0,5	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Cadmium	0,005	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [13] 22. BImSchV [15]	Gesamtgehalt in der PM_{10} -Fraktion; ab 31. Dezember 2012 nicht zu überschreiten
	0,02	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	Cadmium und anorganische Cadmiumverbindungen als Bestandteile des Schwebstaubs (PM_{10})

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m ³]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
Cadmium (Fortsetzung)	0,005	Jahres- mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Der Leitwert soll eine Erhöhung des Cadmium- gehalts in Agrarböden vermeiden, da vermutet wird, dass dies auch zu einer erhöhten Auf- nahme in den Körper führt.
Chrom (VI)	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m ³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkran- ken, bei $4 \cdot 10^{-2}$.
1,2-Dichlor- ethan	700	24-h- Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Dichlormethan	2 000	24-h- Mittelwert	Richtwert II ² (I)	Kommission Innen- raumluftthygiene [8]	
	200	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innen- raumluftthygiene [8]	
	3 000	24-h- Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
	450	Wochen- mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Diisocyanate	-	-	-	Kommission Innen- raumluftthygiene [8]	Die Festlegung eines Richtwertes II ² für Diiso- cyanate (DI) hat die Arbeitsgruppe nicht als sinnvoll erachtet: Die anfänglich höhere Kon- zentration in der Raumluft bei der Verarbeitung von diisocyanathaltigen Lacken und Klebern sinkt rasch ab und nach Beendigung des Aushärtvorgangs ist nicht mit einer Dauer- belastung zu rechnen. Generell sollte beim Verarbeiten DI-haltiger Produkte gut gelüftet werden.
Feinstaub (PM _{2,5})	25	24-h- Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	Es konnte keine Schwellenkonzentration fest- gestellt werden, unterhalb derer die Feinstaub- konzentration in der Umwelt keine Auswirkung auf die Gesundheit hätte. Daher sollte der Leitwert wenn möglich unterschritten werden. In vielen Städten wäre allerdings bereits die Einhaltung des Leitwertes vorteilhaft.
	10	Jahres- mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	
Feinstaub (PM ₁₀)	50	24-h- Mittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	darf nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden
	50	24-h- Mittelwert	Richt- grenzwert (A)	1999/30/EG [10]	gültig ab 1. Januar 2010, darf nicht öfter als siebenmal im Jahr über- schritten werden
	40	Jahres- mittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	
	20	Jahres- mittelwert	Richt- grenzwert (A)	1999/30/EG [10]	Toleranzmarge: 50 % am 1. Januar 2005; lineare Reduzierung alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2010
	50	24-h- Mittelwert	Immissions- wert (A)	TA Luft [17]	darf nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden
	40	Jahres- mittelwert	Immissions- wert (A)	TA Luft [17]	

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m ³]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
Feinstaub (PM ₁₀) (Fortsetzung)	50	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	Es konnte keine Schwellenkonzentration festgestellt werden, unterhalb derer die Feinstaubkonzentration in der Umwelt keine Auswirkung auf die Gesundheit hätte. Daher sollte der Leitwert wenn möglich unterschritten werden. In vielen Städten wäre allerdings bereits die Einhaltung des Leitwertes vorteilhaft.
	20	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	
Fluorverbindungen	1	-	Leitwert (A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Werte unterhalb dieses Grenzwertes sollten auch zum Schutz des Menschen ausreichen.
Formaldehyd	120 (0,1 ppm)	-	Richtwert (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	100	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Keramikfasern	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 Faser/l liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-6}$.
Kohlenmonoxid	10 000	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages	Grenzwert (A)	2000/69/EG [11] 22. BImSchV [15]	
	60 000	½-h-Mittelwert	Richtwert II ² (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	15 000	8-h-Mittelwert	Richtwert II ² (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	6 000	½-h-Mittelwert	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	1 500	8-h-Mittelwert	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	100 000	15-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Die Exposition darf den angegebenen Zeitraum nicht überschreiten und sollte innerhalb von 8 Stunden nicht nochmals auftreten.
	60 000	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Die Exposition darf den angegebenen Zeitraum nicht überschreiten und sollte innerhalb von 8 Stunden nicht nochmals auftreten.
	30 000	1-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Die Exposition darf den angegebenen Zeitraum nicht überschreiten und sollte innerhalb von 8 Stunden nicht nochmals auftreten.
	10 000	8-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Kohlenstoffdisulfid	100	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
	20	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Leitwert für die Geruchsbelästigung
Kohlenwasserstoffgemische, aromatenarm	2 000	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	200	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	Der RW I sollte auch Schutz vor Geruchsbelästigungen bieten.

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m ³]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
Lindan	1	-	Empfehlung (I)	ehemaliges Bundesgesundheitsamt [21]	Heranziehung dieses Wertes wird bei der Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen empfohlen. Nicht toxikologisch begründet, hat sich aber unter Vorsorgeaspekten praktisch bewährt
Mangan	0,15	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Naphthalin	20	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	2	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	Der RW I sollte auch Schutz vor Geruchsbelastungen bieten.
Nickel	0,02	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [13] 22. BImSchV [15]	Gesamtgehalt in der PM ₁₀ -Fraktion; ab 31. Dezember 2012 nicht zu überschreiten
	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m ³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei 4 · 10 ⁻⁴ .
Ozon	240	1-h-Mittelwert	Alarmschwelle (A)	2002/3/EG [12] 33. BImSchV [16]	
	180	1-h-Mittelwert	Informationsschwelle (A)	2002/3/EG [12] 33. BImSchV [16]	
	120	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages	Zielwert (A)	2002/3/EG [12] 33. BImSchV [16]	Zielwert ab 2010; darf an höchstens 25 Tagen pro Jahr überschritten werden
	120	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages während eines Jahres	langfristiges Ziel (A)	2002/3/EG [12] 33. BImSchV [16]	
	120	½-h-Mittelwert	Maximale Immissionskonzentration (A)	VDI 2310 Blatt 15 [22]	für Wohngebiete
	100	8-h-Mittelwert	Maximale Immissionskonzentration (A)	VDI 2310 Blatt 15 [22]	für Wohngebiete
	100	8-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	Stellt ausreichenden Schutz der Gesundheit der Bevölkerung sicher, obwohl bei sensiblen Personen auch unterhalb dieses Wertes gesundheitliche Wirkungen auftreten können.
Pentachlorphenol	1	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
	0,1	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
polychlorierte Biphenyle	> 3	-	Empfehlung (I)	ehemaliges Bundesgesundheitsamt [21]	Oberhalb dieses Wertes sollte baldmöglichst saniert werden. Zurzeit werden Beurteilungswerte diskutiert, die den unterschiedlichen Chlorierungsgrad von PCB-Gemischen und damit auch Toxizitätsunterschiede berücksichtigen [41].

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m ³]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
polychlorierte Biphenyle (Fortsetzung)	< 0,3	-	Empfehlung (I)	ehemaliges Bundesgesundheitsamt [21]	Konzentrationen unterhalb dieses Wertes sind als unbedenklich anzusehen. Zurzeit werden Beurteilungswerte diskutiert, die den unterschiedlichen Chlorierungsgrad von PCB-Gemischen und damit auch Toxizitätsunterschiede berücksichtigen [41].
polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) ⁴	0,001	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [13] 22. BImSchV [15]	Gesamtgehalt in der PM ₁₀ -Fraktion; ab 31. Dezember 2012 nicht zu überschreiten
	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m ³ BaP liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $9 \cdot 10^{-2}$.
Quecksilber	0,35	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	als metallischer Dampf
	0,035	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	als metallischer Dampf
	1	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	als metallischer Dampf
Radon	250 Bq/m ³	-	Richtwert (I)	Strahlenschutzkommission [23]	Die Strahlenschutzkommission sieht heute bereits bei einer Radonkonzentration, die unter 250 Bq/m ³ liegt, ein erhöhtes Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. Aufgrund der noch bestehenden großen Unsicherheiten in den Ergebnissen neuerer Untersuchungen wurde allerdings von einer konkreten Empfehlung abgesehen [24].
	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 Bq/m ³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $3 \cdot 10^{-5}$ bis $6 \cdot 10^{-5}$.
Schwefeldioxid	500	1-h-Mittelwert	Alarmschwelle (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden
	350	1-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	darf nicht öfter als 24-mal im Kalenderjahr überschritten werden
	125	24-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	darf nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden
	350	1-h-Mittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	darf nicht öfter als 24-mal im Kalenderjahr überschritten werden
	125	24-h-Mittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	darf nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden
	50	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	
	500	10-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	
	20	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	
Schwefelwasserstoff	7	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Leitwert für die Geruchsbelästigung
	150	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m ³]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
Stickstoffdioxid	200	98-%-Wert der Summenhäufigkeit, berechnet aus den während eines Jahres gemessenen Mittelwerten über eine Stunde oder kürzere Zeiträume	Grenzwert (A)	85/203/EWG [25] 22. BImSchV [15]	wird zum 1. Januar 2010 aufgehoben
	135	98-%-Wert der Summenhäufigkeit (Median), berechnet aus den während eines Jahres gemessenen Mittelwerten über eine Stunde oder kürzere Zeiträume	Leitwert (A)	85/203/EWG [25]	wird zum 1. Januar 2010 aufgehoben
	50	50-%-Wert der Summenhäufigkeit (Median), berechnet aus den während des Jahres gemessenen Mittelwerten über eine Stunde oder kürzere Zeiträume	Leitwert (A)	85/203/EWG [25]	wird zum 1. Januar 2010 aufgehoben
	400	1-h-Mittelwert	Alarmschwelle (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden
	200	1-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	darf 18-mal im Jahr überschritten werden Toleranzmarge: 40 µg/m ³ ; sie vermindert sich ab 1. Januar 2007 bis zum 1. Januar 2010 stufenweise um jährlich 10 µg/m ³ .
	40	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	1999/30/EG [10] 22. BImSchV [15]	Toleranzmarge: 8 µg/m ³ ; sie vermindert sich ab 1. Januar 2007 bis zum 1. Januar 2010 stufenweise um jährlich 2 µg/m ³ .
	200	1-h-Mittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	darf 18-mal im Jahr überschritten werden
	40	Jahresmittelwert	Immissionswert (A)	TA Luft [17]	
	50	24-h-Mittelwert	Maximale Immissionskonzentration (A)	VDI 2310 Blatt 12 [26]	für Wohngebiete
	20	Jahresmittelwert	Maximale Immissionskonzentration (A)	VDI 2310 Blatt 12 [26]	für Wohngebiete
	350	½-h-Mittelwert	Richtwert II ² (I)	Kommission Innenraumluftthygiene [8]	

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m ³]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
Stickstoffdioxid (Fortsetzung)	60	Wochen- mittelwert	Richtwert II ² (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	
	200	1-h- Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	
	40	Jahres- mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines [19]	
Styrol	300	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	
	30	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	
	70	¹ / ₂ -h- Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Leitwert für die Geruchsbelästigung
	260	Wochen- mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Terpene, bicyclische	2 000	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	Leitsubstanz: α-Pinen
	200	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	Leitsubstanz: α-Pinen
Tetrachlorethen	10	Jahres- mittelwert	Immissions- wert (A)	TA Luft [17]	
	250	Jahres- mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
	8 000	¹ / ₂ -h- Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Leitwert für die Geruchsbelästigung
Toluol	3 000	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	
	300	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	
	1 000	¹ / ₂ -h- Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Leitwert für die Geruchsbelästigung
	260	Wochen- mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Trichlorethen	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m ³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei 4,3 · 10 ⁻⁷ .
Tris(2-chlor- ethyl)phosphat	50	-	Richtwert II ² (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	Obwohl die Ergebnisse tierexperimenteller Studien auf ein krebserzeugendes Potenzial der Verbindung hinweisen und für krebserzeugen- de Stoffe das Basisschema zur Richtwertablei- tung keine Anwendung finden sollte, sieht die Kommission aufgrund des Fehlens eindeutiger Hinweise zur Genotoxizität und des Bedarfs an Orientierungshilfen die Ableitung von Richt- werten für TCEP als vertretbar an.
	5	-	Richtwert I ³ (I)	Kommission Innen- raumlufthygiene [8]	

Gefahrstoff	Beurteilungswert [µg/m ³]	Zeitbezug	Art des Wertes ¹	Herkunft	Bemerkungen
TVOC	1 000 bis 3 000	dauerhaft	Richtwert (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	Die TVOC-Werte sind nicht nach dem Basischema abgeleitet. Zur Verdeutlichung der Unsicherheiten, die bei der Ableitung entstanden, wurden nicht einzelne Zahlenwerte, sondern Konzentrationsbereiche angegeben.
	200 bis 300	langzeitiges Mittel	Zielwert (I)	Kommission Innenraumlufthygiene [8]	
Vanadium	1	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	
Vinylchlorid	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m ³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-6}$.
Zigarettenrauch	-	-	-	WHO Air Quality Guidelines for Europe [18]	Bei einer lebenslangen Exposition liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-3}$, wenn eine Person im Haushalt raucht.

Anmerkungen:

¹ (I) – Innenluft; (A) – Außenluft

² Richtwert II – wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen beziehungsweise Überschreiten unverzüglich gehandelt werden sollte, da diese Konzentration, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung darstellen kann. Je nach Wirkungsweise des Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder Langzeitwert (RW II L) definiert sein.

³ Richtwert I – Richtwert I (RW I) stellt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft dar, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Eine Überschreitung ist mit einer hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und II gehandelt werden. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen. Er sollte nicht ausgeschöpft, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden. Der RW I wird vom RW II durch Einführen eines zusätzlichen Faktors abgeleitet, der auf einer Übereinkunft beruht.

⁴ Leitsubstanz Benzo[a]pyren (BaP)

2.3 Spezielle Beurteilungswerte und Indikatoren für Innenraumarbeitsplätze

Da es zur Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros keine Luftgrenzwerte gibt und auch das Kriterium der Außenluftqualität entsprechend ASR 5 [4] undefiniert ist, sollte die Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen ohne Tätigkeiten mit Gefahrstoffen zurzeit vorzugsweise aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse beurteilt werden. Aus wissenschaftlichen Untersuchungen abgeleitete Richtwerte können hierzu im Sinne wissenschaftlicher Erkenntnisse herangezogen werden. Entsprechend sind die vom Umweltbundesamt auf wissenschaftlicher Basis abgeleiteten Innenraumrichtwerte für

- Dichlormethan,
- Kohlenstoffmonoxid,
- Kohlenwasserstoffgemische (C₉ bis C₁₄), aromatenarm,
- Naphthalin,
- Pentachlorphenol,
- Quecksilber,
- Stickstoffdioxid,
- Styrol,
- Terpene, bicyclische,
- Toluol,
- Tris(2-chlorethyl)phosphat,

(siehe Abschnitte 2.1 und 2.2) zu berücksichtigen [8].

2.3.1 Stäube

Von Ausnahmen abgesehen haben Stäube keine schädigende oder belastigende Wirkung, wenn die Innenraumluftkonzentration in der Größenordnung der Außenluftkonzentration liegt. Daneben können Stäube jedoch auch Einzelstoffe mit gefährlichen Eigenschaften (z.B. toxisch oder krebserzeugend) enthalten, es existieren aber nur in wenigen Fällen hierzu Beurteilungswerte.

Nach ASR 5 [4] liegt ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft in Arbeitsräumen dann vor, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Die Staubkonzentration sollte demnach nicht höher als der EU-Staubgrenzwert [10] für die Luft der Troposphäre (siehe Tabelle 2.2 unter Feinstaub) von

50 µg/m³ (0,05 mg/m³)

sein.

Dabei ist dieser Wert für die Außenluft in der Regel auf die PM₁₀-Fraktion bezogen, die der thoraxgängigen Fraktion für die Beurteilung von Expositionen am Arbeitsplatz am nächsten kommt. Für Arbeitsplätze in Innenräumen wird generell die Messung der einatembaren Staubfraktion vorgeschlagen. In speziellen Einzelfällen kann auch die Messung anderer Fraktionen wie z.B. ultrafeiner Partikeln nötig werden. Aufgrund der in der Umwelt vorzufindenden Korngrößenbereiche kann das Verhältnis von einatembarem Staub zu PM₁₀-Staub im Bereich von 1 bis 2 oder auch darüber liegen.

Die Unfallversicherungsträger empfehlen [27], bei Werten über 50 µg/m³ die VDI-Richtlinie 2310 Blatt 19 „Maximale Immissionskonzentrationen für Schwebstaub“ [28] zur Beurteilung heranzuziehen. Sie wurde nach Festlegung des Richtwertes von 50 µg/m³ zwar zurückgezogen, unter dem Aspekt der Beurteilung von Gesamtstaubbelastungen an Innenraumarbeitsplätzen kann sie jedoch eine gute Entscheidungshilfe liefern.

Die dort definierten Maximalen Immissions-Konzentrationen (MIK-Werte) gelten für einatembare Schwebstaubgemische. Unter Schwebstaub sind in der Umwelt vorkommende unspezifizierte, aerosolförmige Luftinhaltsstoffe zu verstehen, ohne dass dabei spezifische Bestandteile des Schwebstaubs getrennt betrachtet werden. Definitionsgemäß werden im Sinne der Richtlinie als Schwebstaub alle festen und flüssigen Partikeln bestimmt, die in der Luft quasi stabil und quasi homogen dispergiert sind und somit einige Zeit in der Schwebe bleiben. Für den hinsichtlich der Partikelgröße homogen verteilten Schwebstaub und damit auch für den als Inhalationskomponente in Betracht kommenden Anteil des gesamten Luftstaubs ist ein oberer Partikeldurchmesser von etwa 25 bis 30 µm anzunehmen, ohne dass damit eine starre Trennung festgelegt werden soll.

Die Richtwerte dienen zur Abschätzung des Belastungsrisikos durch atmosphärischen Schwebstaub ohne eingehende Analyse der zu erwartenden Gesamtdeposition aller inhalierten Partikeln im Atmungstrakt. Die Gesamtdeposition steht dabei in direkter Beziehung zur Massenkonzentration des Gesamtschwebstaubs. Ausdrücklich wird in der Richtlinie der Wunsch zum Ausdruck gebracht, dass Messungen der Schwebstaubbelastung und Maßnahmen zu deren Verringerung nicht nur für die Außenluft, sondern auch in Innenräumen durchgeführt werden sollten. Folgende MIK-Werte werden angegeben:

- 1-h-Mittelwert:
500 µg/m³ bis zu drei aufeinander folgende Stunden
- 24-h-Mittelwert:
250 µg/m³ einmalige Exposition
150 µg/m³ an aufeinander folgenden Tagen
- Jahresmittelwert:
75 µg/m³

Als Vergleichswert für Belastungen durch einatembaren Staub in Innenräumen könnte somit der MIK-Wert in Höhe von 150 µg/m³ herangezogen werden. Dieser Beurteilungswert sollte im Sinne eines Indikators, z.B. möglicher irritativer Wirkungen, angesehen werden.

In zunehmendem Maße wird auch die Partikelanzahlkonzentration der Stäube in Innenräumen messtechnisch ermittelt. Zur Beurteilung dieser Messgröße fehlen jedoch zurzeit entsprechende Angaben. Ein Vergleich der Konzentrationsniveaus ist aufgrund der nicht harmonisierten Messmethoden momentan nicht möglich.

Ein Spezialfall der Stäube sind Faserstäube. Hierzu existieren zurzeit allerdings keine validierten Beurteilungswerte.

2.3.2 Kohlendioxid

Die Kohlendioxidkonzentration in Innenräumen gilt als ein wesentlicher Indikator für eine ausreichende Luftqualität, wenn der Mensch selbst die Hauptemissionsquelle ist und andere Quellen von untergeordneter Bedeutung sind. Die CO₂-Konzentration ist in diesem Zusammenhang auch ein Maß für die Effektivität der Raumlüftung. Als Richtwert gilt allgemein, dass eine Konzentration von

0,1 Volumen-% CO₂ (1 000 ppm bzw. 1 800 mg/m³)

(Pettenkofermaßstab; siehe z.B. [29; 30]) nicht überschritten werden sollte. Während im Bundesgesundheitsblatt Nr. 3 (1993) [21] die Einhaltung eines Wertes von 1 500 ppm empfohlen wird, nennen andere Quellen [31; 32] Werte zwischen 700 und 800 ppm, da ab dieser Konzentration schon Klagen über eine unzureichende Raumlüftung auftreten können.

Zur Sicherung einer ausreichenden Innenraumluftqualität sollte die CO₂-Konzentration in der Regel

1 000 ppm

nicht überschreiten.

2.3.3 Ozon

In der Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates [12] wurde zum Schutz der menschlichen Gesundheit für Ozon ein Zielwert von 120 µg/m³ festgelegt, der ab dem Jahr 2010 verbindlich wird. Seit dem 9. September 2003 gelten entsprechend der Richtlinie für den 1-Stunden-Wert eine Informationsschwelle von 180 µg/m³, ab der die Bevölkerung unterrichtet werden muss, und eine Alarmschwelle von 240 µg/m³.

2.3.4 Formaldehyd

Im Jahre 2004 wurde Formaldehyd von einer Arbeitsgruppe der Internationalen Krebsforschungsagentur (International Agency for Research on Cancer, IARC) in die Stufe 1 „carcinogenic to humans“ eingestuft [33; 34]. Daraufhin schlug das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Frühjahr 2006 als „sichere Konzentration“ (Safe Level) im Hinblick auf die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd beim Menschen eine Luftkonzentration von 0,1 ppm vor [35]. Dem schloss sich im Herbst 2006 die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraum-Richtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission nach eingehender Diskussion an [36].

Die WHO schlägt einen 30-Minuten-Durchschnittswert von 0,1 mg/m³ vor, um die Mehrheit der Bevölkerung vor sensorischen Irritationen zu schützen [18]. Empfohlen wird bei langfristiger Exposition, eine Konzentration von 0,06 mg/m³ nicht zu überschreiten [37].

2.3.5 Flüchtige organische Verbindungen

Summe flüchtiger organischer Verbindungen

In der Innenraumluft lässt sich eine Vielzahl flüchtiger organischer Substanzen (VOC, volatile organic compounds) nachweisen; ihre Summe wird als TVOC (total volatile organic compounds) bezeichnet.

Für komplexe Substanzgemische unterschiedlicher chemischer und toxischer Eigenschaften, wie die VOC/TVOC, lässt sich das für die Ableitung von Innenraumluft-Richtwerten (RW I, RW II) entwickelte Basisschema der Innenraumlufthygiene-Kommission [8] nicht anwenden, da es für Einzelverbindungen konzipiert wurde. Obwohl gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehungen fehlen und sich TVOC-Konzentrationen nicht als Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung der Innenraumluftqualität eignen, lassen sich dennoch anhand der TVOC-Konzentrationen Beeinträchtigungen durch VOC in der Innenraumluft bewerten. So ist beispielsweise festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender TVOC-Konzentration zunimmt.

Die Innenraumlufthygiene-Kommission empfiehlt, für die Beurteilung der TVOC-Konzentration das 5-stufige Konzept von *Seifert* aus dem Jahre 1999 heranzuziehen [38]:

- Stufe 1:
TVOC-Wert < 0,3 mg/m³: hygienisch unbedenklich, Zielwert
- Stufe 2:
TVOC-Wert > 0,3 - 1 mg/m³: hygienisch noch unbedenklich, erhöhter Lüftungsbedarf
- Stufe 3:
TVOC-Wert > 1 - 3 mg/m³: hygienisch auffällig, befristet (< 12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind
- Stufe 4:
TVOC-Wert > 3 - 10 mg/m³: hygienisch bedenklich, Raum befristet (maximal 1 Monat) und bei verstärkter Lüftung nutzbar
- Stufe 5:
TVOC-Wert > 10 - 25 mg/m³: hygienisch inakzeptabel. Die Raumnutzung ist allenfalls vorübergehend täglich (stundenweise) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar.

Das Konzept ist allerdings nur unter der Voraussetzung gültig, dass die toxikologisch begründeten Richtwerte von Einzelstoffen nicht überschritten werden.

Demnach soll also auf Dauer in längerfristig genutzten Räumen ein TVOC-Wert von 1 bis 3 mg/m³ (1 000 bis 3 000 µg/m³) nicht überschritten werden; bei Überschreitung dieses Bereiches ist eine Einzelstoffbetrachtung angezeigt. Bei vorangegangenen Baumaßnahmen gilt dies insbesondere, wenn diese Werte nach ca. 100 bis 140 Tagen noch erreicht werden.

Als Ziel für Innenräume wird ein langzeitiges Mittel von 0,2 bis 0,3 mg/m³ (200 bis 300 µg/m³) angegeben, das nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten ist.

Mit der Angabe von Konzentrationsbereichen („hygienischer Vorsorgebereich“) wird sowohl dem begrenzten Wissen über die Wirkungen von VOC-Gemischen als auch der messtechnisch bedingten Unsicherheit Rechnung getragen.

Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe

Eine verbreitete und bewährte Methode zur Bewertung der Luftqualität in Innenräumen beruht auf der Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe mithilfe von Feldstudien, wobei entsprechend einer international anerkannten Konvention das 95-Perzentil eines hinreichend großen Datenkollektivs als Referenzwert bezeichnet wird [38]. Dabei wird ohne toxikologische Bewertung angenommen, dass der in den untersuchten Räumen angetroffene und nicht zu Erkrankungen und Beschwerden Anlass gebende „Normalzustand“ allgemein akzeptiert werden kann. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Vergleichbarkeit der Referenzräume und des jeweils betrachteten Innenraums. Als ausschlaggebende Parameter der Vergleichbarkeit sind die Ausstattung und die Nutzung des Innenraums, das Messverfahren und die Messstrategie hervorzuheben.

Da die Referenzwerte statistisch ermittelt und nicht gesundheitsbasiert abgeleitet werden, bedeutet ihre Unterschreitung nicht, dass keine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Andererseits kann aus einer Überschreitung dieser Werte nicht automatisch auf eine Gefährdung geschlossen werden. Eine wesentliche Überschreitung des Wertes (z.B. um den Faktor 10) kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass in dem Raum Emissionsquellen vorhanden sind, die möglicherweise zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können.

Ableitung von Referenzwerten aus der „Innenraumstudie Büro“

In den Jahren 2001 bis 2004 wurden Innenraumluftuntersuchungen in Büroräumen von 282 Betrieben durchgeführt. Dabei wurden 315 Messserien mit 2 963 Proben und 31 866 Analysen in der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA dokumentiert.

An dem Projekt waren neben dem BGIA insgesamt 19 Berufsgenossenschaften und Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand beteiligt, wodurch eine große territoriale Ausdehnung der Probenahmeorte und eine breite Palette der Branchen sichergestellt wurde.

In Tabelle 1 (siehe Seite 128) sind die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte für die hauptsächlichen, im Rahmen dieser Studie gefundenen Komponenten der Innenraumluft zusammengestellt. Für die statistische Auswertung wurden nur Messdaten betrachtet, die in Arbeitsräumen ohne maschinelle Lüftung bestimmt wurden.

Da in der Regel mehr als 300 Messwerte pro Verbindung ausgewertet wurden, ist eine statistische Absicherung gewährleistet. Um auf jeden Fall auch bei den kleineren Kollektiven auf der sicheren Seite zu sein, sollen für die Einzelstoffe die 90-Perzentilwerte als Referenzwerte für die Beurteilung von Büroarbeitsplätzen herangezogen werden. Über das Projekt hinaus werden weiterhin Messungen durchgeführt und zentral erfasst. So ist es in Zukunft möglich, Änderungen im Substanzspektrum aufzudecken und die Referenzwerte an den dann aktuellen Stand anzupassen.

Die Referenzwerte gelten nur bei Anwendung des im Report „Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld“ [27] beschriebenen Messverfahrens, da dieses zur Bestimmung der Stoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz eine wichtige Basis für die Gewinnung der Daten darstellt.

Einzelstoffbewertung, basierend auf anderen Messverfahren

Pionierarbeit zur Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe hat das ehemalige Bundesgesundheitsamt mit seinem „Umweltsurvey“ aus den Jahren 1985/86 geleistet [21]. Die Untersuchungen wurden in verschiedenartigen Innenräumen einschließlich Wohnräumen vorgenommen und liegen inzwischen nahezu 20 Jahre zurück. Unabhängig von der Frage der Übertragbarkeit dieser Daten auf Büroarbeitsplätze ist zu beachten, dass sich während dieser Zeit erhebliche Änderungen in der Ausstattung und der Nutzung von Innenräumen ergeben haben, die auch Auswirkungen auf die Luftbelastung haben; man denke nur an neue Materialien zur Innenausstattung oder an veränderte Reinigungsmethoden. Die Vergleichbarkeit als wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist damit für die Werte des Umweltbundesamtes (UBA) nur eingeschränkt erfüllt. Sie können deshalb nur unter Vorbehalt für Büroarbeitsplätze herangezogen werden.

Auch bei neueren Untersuchungen wird nicht zwischen Arbeitsräumen und sonstigen Wohnräumen unterschieden, sodass entsprechende Referenzwerte ebenfalls nur unter Vorbehalt für Büroarbeitsplätze herangezogen werden können [39]. Erschwerend kommt hinzu, dass auch die bei diesen Studien eingesetzten Messverfahren und Messstrategien nicht einheitlich sind.

Dennoch sollen im Folgenden die Ergebnisse aus 458 Untersuchungen der Gesellschaft für Umweltchemie (GfU), die in den Jahren 1995 bis 1998 durchgeführt wurden, als Vergleichswerte dargestellt werden (siehe Tabelle 2 auf Seite 129 ff.). Die Probenahme erfolgte an Aktivkohle Typ NIOSH für un- bis mittelpolare VOC bzw. mithilfe von Probenahmeröhrchen vom Typ Anasorb 747 für polare VOC [40].

Tabelle 1:

Übersicht über die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte der Konzentrationen von Verbindungen, die in den Jahren 2001 bis 2004 in der Luft von Büroräumen ermittelt wurden

Verbindung	Anzahl der Messdaten	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³	95-Perzentilwert in mg/m ³
TVOC (2002 bis 2004)*)	471	0,270	1,000	1,445
1,2,3-Trimethylbenzol	580	0,005 ¹	0,005 ¹	0,007 ¹
1,2,4-Trimethylbenzol	581	0,005 ¹	0,019	0,035
1,3,5-Trimethylbenzol	580	0,005 ¹	0,006 ¹	0,010 ¹
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	554	0,005 ¹	0,005 ¹	0,006 ¹
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	185	0,005 ¹	0,005 ¹	0,005 ¹
2-Butoxyethanol	563	0,005 ¹	0,015	0,031
2-Butoxyethylacetat	562	0,005 ¹	0,005 ¹	0,005 ¹
2-Ethylhexan-1-ol	401	0,006 ¹	0,018	0,024
2-Phenoxyethanol	564	0,005 ¹	0,005 ¹	0,012
Δ ³ -Caren	400	0,005 ¹	0,012	0,027
4-Methylpentan-2-on	219	0,005 ¹	0,005 ¹	0,035 ¹
Acetaldehyd	404	0,020 ¹	0,040 ¹	0,060 ¹
Acrylaldehyd	376	0,005 ¹	0,005 ¹	0,020 ¹
α-Pinen	580	0,005 ¹	0,018	0,042
Benzol	583	0,005 ¹	0,008 ¹	0,011 ¹
Butan-1-ol	600	0,007 ¹	0,031 ¹	0,048 ¹
Butanon	607	0,005 ¹	0,016	0,029
Butyraldehyd	376	0,010 ¹	0,020 ¹	0,040 ¹
Decamethylcyclopentasiloxan	399	0,007 ¹	0,052	0,082
Ethylacetat	608	0,005 ¹	0,020	0,036
Ethylbenzol	579	0,005 ¹	0,011	0,016
Formaldehyd	419	0,028 ¹	0,060	0,076
Glutaraldehyd	376	0,010 ¹	0,010 ¹	0,040 ¹
Hexanal	173	0,008	0,063	0,088
Limonen	608	0,006 ¹	0,027	0,057
n-Butylacetat	608	0,005 ¹	0,013	0,032
n-Heptan	603	0,005 ¹	0,016	0,025
Propionaldehyd	376	0,010 ¹	0,015 ¹	0,040 ¹
Styrol	577	0,005 ¹	0,008 ¹	0,012 ¹
Toluol	607	0,015	0,064	0,127
Xylol (alle Isomere)	579	0,008 ¹	0,047	0,080

^{*)} Zu Beginn des Jahres 2002 wurde das TVOC-Auswerteverfahren modifiziert. Es liegen zusätzlich 130 Daten für das Jahr 2001 vor, die nur geringfügige Abweichungen aufweisen.

¹⁾ Dieser statistisch ermittelte Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten quantitativen Bestimmungsgrenze der angewandten Probenahme- und Analyseverfahren.

Tabelle 2:

Verteilung der Konzentration von VOC/SVOC in der Innenraumluft bei Messungen in 458 Verdachtsräumen [39]

Substanz	50-Perzentilwert in µg/m ³	90-Perzentilwert in µg/m ³
Aromaten	61,0	326,0
Benzol	3,6	11,5
Toluol	21,0	156,0
Ethylbenzol	3,4	19,3
m- + p-Xylol	9,0	53,0
o-Xylol	3,0	17,0
Styrol	<	13,0
2-Ethyltoluol	<	7,3
3-Ethyltoluol	2,3	18,0
4-Ethyltoluol	0,8	9,3
1,3,5-Trimethylbenzol	1,1	9,9
1,2,4-Trimethylbenzol	3,9	30,0
1,2,3-Trimethylbenzol	<	6,5
n-Propylbenzol	<	6,8
iso-Propylbenzol	<	3,5
p-Cymol	<	6,7
n-Butylbenzol	<	2,6
Durol	<	2,0
Phenol	<	4,6
Alkane, Alicyclen	33,0	260,0
Methylcyclopentan	<	6,0
Cyclohexan	2,7	21,0
Methylcyclohexan	1,4	18,9
n-Hexan	<	11,2
n-Heptan	2,5	20,0
n-Octan	1,3	8,9
n-Nonan	1,2	22,0
n-Decan	2,8	39,0
n-Undecan	3,0	38,0
n-Dodecan	2,3	22,0
n-Tridecan	1,6	13,0
n-Tetradecan	1,9	9,4
n-Pentadecan	1,2	5,6
n-Hexadecan	<	3,8
2,2,4,4,6-PMH	<	7,8
2,2,4,4,6,8,8-HMN	<	22,0
Alkene	1	18,0
Trimeres	<	17,0

Tabelle 2:
(Fortsetzung)

Substanz	50-Perzentilwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	90-Perzentilwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Terpene	24,0	264,0
α -Pinen	6,0	118,0
β -Pinen	1,2	18,5
Camphen	<	4,7
Δ^3 -Caren	1,7	50,0
Eucalyptol	<	9,3
Limonen	7,5	95,0
Campher	<	2,5
Sesquiterpene	<	9,0
Longifolen	<	7,4
CKW	<	22,0
PER (Tetrachlorethen)	<	4,7
Trichlorethen	<	2,2
1,1,1-Trichlorethan	<	9,9
Ester	4,2	155
Ethylacetat	<	55
n-Butylacetat	<	57,0
iso-Butylacetat	<	3,9
Texanol-1	<	2,6
Texanol-3	<	3,3
TXIB	<	4,0
EGMBA	<	1,9
DEG MBA	<	21,0
1,2-PG MMA	<	12,6
Ketone	<	33,0
Methylethylketon	<	7,1
MIBK	<	10,8
2-Hexanon	<	0,7
2-Heptanon	<	3,2
Aldehyde	20,0	163,0
n-Pentanal	<	33,3
n-Hexanal	3,1	64,4
n-Heptanal	<	6,9
n-Octanal	<	13,4
n-Nonanal	4,3	24,0
n-Decanal	<	9,6
Alkohole	19,0	94,0
Isobutanol	2,6	34,0
1-Butanol	13,7	66,0
2-Ethylhexanol	2,6	11,8
EGMB	<	110,0

Tabelle 2:
(Fortsetzung)

Substanz	50-Perzentilwert in µg/m ³	90-Perzentilwert in µg/m ³
Ethylenglykole/-ether	14,0	400,0
DEGMM	<	48,0
DEGMB	<	35,0
EGMP	<	193,0
Propylenglykole/-ether	<	49,0
1,2-PGMM	<	21,0
1,2-PG	<	26,0
1,2-PGMB	<	6,4
1,2-PGMP	<	0,5
Sonstige	<	33,0
D3	<	8,3
D4	<	22,0
D5	<	13,7
Summe VOC	219	1 545,0
TVOC	210	1 490,0

PMH = Pentamethylheptan; HMN = Heptamethylnonan; CKW = Chlorierte Kohlenwasserstoffe; TXIB = 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandioldiisobutyrat; MIBK = Methylisobutylketon; D3 = Hexamethyltricyclosiloxan; D4 = Octamethyltetracyclosiloxan; D5 = Decamethylpentacyclosiloxan; 4-PCH = 4-Phenyl-1-cyclohexen; 4-VCH = 4-Vinylcyclohexen; EGMB = 2-Butoxyethanol; EGMB A = 2-Butoxyethylacetat; EGMP = 2-Phenoxyethanol; EGMM A = Methylglykolacetat; EGMEA = Ethylglykolacetat; DEGMBA = Diethylenglykolmonobutyletheracetat; DEGMM = Diethylenglykolmonomethylether; DEGMB = Diethylenglykolmonobutylether; PG = Propylenglykol; PGMM = Propylenglykolmonomethylether; PGMB = Propylenglykolmonobutylether; PGMP = Propylenglykolmonophenylether; PGMM A = Propylenglykolmonomethyletheracetat

2.4 Literatur

[1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August 1996. BGBl. I (1996), S. 1246; zul. geänd. am 8. April 2008, BGBl. I, S. 706

[2] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179

[3] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 23. Dezember 2004. BGBl. I (2004), S. 3758; zul. geänd. am 12. Oktober 2007, BGBl. I, S. 2382

[4] Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (ASR 5) vom 22. August 1979. BArbBl. (1979) Nr. 10, S. 103; zul. geänd. BArbBl. (1984) Nr. 12, S. 85

[5] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26. September 2002. BGBl. I, Nr. 71, S. 3830

[6] Technische Regeln für Gefahrstoffe: „Arbeitsplatzgrenzwerte“ (TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41

[7] Kleine, H.; Barig, A.; Nies, E.; Blome, H.: Gefahrstoffgrenzwerte in der Arbeits- und in der sonstigen Lebensumwelt – ein Vergleich. Staub – Reinhalt. Luft 54 (1994) Nr. 7/8, S. 261-264

[8] Richtwerte für die Innenraumluft.
www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/irk.htm

[9] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. ABl. EG Nr. L 296 vom 21. November 1996, S. 55

[10] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. ABl. EG Nr. L 163 vom 29. Juni 1999, S. 41; zul. geänd. ABl. EG Nr. L 278 vom 23. Oktober 2001, S. 35

[11] Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. ABl. EG Nr. L 313 vom 13. Dezember 2000, S. 12; ber. ABl. EG Nr. L 111 vom 20. April 2001, S. 31

[12] Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft. ABl. EG Nr. L 67 vom 9. März 2002, S. 14

[13] Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft. ABl. EG Nr. L 23 vom 26. Januar 2005, S. 3

- [14] Siebtes Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 11. September 2002. BGBl. I, S. 3622
- [15] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV) – Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft vom 11. September 2002. BGBl. I, Nr. 66, vom 17. September 2002, S. 3626; zul. geänd. BGBl. I vom 27. Februar 2007, S. 241
- [16] Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (33. BImSchV) – Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen vom 13. Juli 2004. BGBl. I, Nr. 36, vom 20. Juli 2004, S. 1612
- [17] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBI., Nr. 25-29, vom 30. Juli 2002, S. 511
- [18] WHO Air Quality Guidelines. 2. Aufl. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation, Genf 2001
- [19] WHO AIR Quality Guidelines. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation, Genf 2006
- [20] VDI 2310 Blatt 1: Zielsetzung und Bedeutung der Richtlinien Maximale Immissions-Werte. Beuth, Berlin 1988
- [21] Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. (1993) Nr. 3, S. 117-118
- [22] VDI 2310 Blatt 15: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Ozon. VDI, Düsseldorf 2001
- [23] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden. Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 21. April 1994, in: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 36
- [24] Attributives Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission vom 11./12. Juli 2006
- [25] Richtlinie 85/203/EWG des Rates vom 7. März 1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid. ABl. EG Nr. L 87 vom 27. März 1985, S. 1
- [26] VDI 2310 Blatt 12: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid. Beuth, Berlin 2004
- [27] Report Innenraumarbeitsplätze - Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2005
- [28] VDI 2310 Blatt 19: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Schwebstaub. Beuth, Berlin 1992
- [29] *Witthauer, J.; Horn, H.; Bischof, W.*: Raumluftqualität. C.F. Müller, Karlsruhe 1993
- [30] Ventilation for acceptable indoor air quality. Vol. 62, Hrsg.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 1989
- [31] *Phoon, W.O., Seneviratne, M.; Rabone, S.; Gutierrez, L.*: Building-related health problems: A system of study method. *Indoor Environm.* 4 (1995), S. 204-226
- [32] OSHA: 29 CFR Part 1915, 1926, 1928: Indoor Air Quality Department of Labor; Occupational Safety and Health Administration. Federal Register, 1994, Vol. 99, No. 65
- [33] <http://monographs.iarc.fr/ENG/Meetings/vol88.php>
- [34] *Cogliano, V.J.; Grosse, Y.; Baan, R.A., et al.*: Meeting Report: summary of IARC Monographs on Formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-Butoxy-2-propanol. *Environm. Health Perspect.* 113 (2005) Nr. 9, S. 1205-1208
- [35] *Schulte, A.; Bernauer, U., et al.*: Assessment of the carcinogenicity of formaldehyde. *BfR Wissenschaft (02/2006)*. Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin 2006
- [36] Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz* 49 (2006), 1169
- [37] *Agar, J.P.; Gording, D.A.; Hartley, M.R.; Hope, L.A.E.; Mitchell, R.M.; Powell, C.B.*: Air Quality Monitoring Report – Richmond Primary School Environment Protection Authority, Adelaide, Juli 2001, S. 10
- [38] Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten – Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz* 50 (2007) Nr. 7, S. 990
- [39] *Schleibinger, H., et al.*: Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 7 (2002) Nr. 3, S. 139-147
- [40] *Scholz, H.*: Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung. In: *Gebäudestandard 2000 – Energie und Raumluftqualität*. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., Springe-Eldagsen 1998
- [41] Gesundheitliche Bewertung dioxinähnlicher polychlorierter Biphenyle in der Innenraumluft – Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz* 50 (2007) Nr. 11, S. 1455-1466

Biologische Einwirkungen

1 Einführung und Erläuterungen

In der Umwelt erfüllen viele Mikroorganismen (z.B. Bakterien, Pilze) nützliche Funktionen. Einige dieser Mikroorganismen können Erkrankungen hervorrufen. Davon können auch Arbeitnehmer betroffen sein.

Die EG-Richtlinie 90/679/EWG des Rates vom 26. November 1990 über den „Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit“ [1] wurde in Verbindung mit dem Arbeitsschutzgesetz national in Form der Biostoffverordnung (BioStoffV) vom 27. Januar 1999 umgesetzt [2]. Diese Verordnung trat am 1. April 1999 in Kraft. Der Arbeitgeber ist gemäß dieser Verordnung verpflichtet, für jede berufliche Tätigkeit, bei der eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien erfolgen kann, eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, um die Risiken für die Arbeitnehmer abzuschätzen und ggf. Schutzmaßnahmen festlegen zu können.

Nach § 3 der BioStoffV werden biologische Arbeitsstoffe entsprechend dem von ihnen ausgehenden Infektionsrisiko in vier Risikogruppen unterteilt:

1. Biologische Arbeitsstoffe der Gruppe 1 sind solche, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Krankheit hervorrufen.
2. Biologische Arbeitsstoffe der Gruppe 2 sind solche, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Arbeitnehmer darstellen können; eine Verbreitung des Agens in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich; eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist normalerweise möglich.
3. Biologische Arbeitsstoffe der Gruppe 3 sind solche, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Arbeitnehmer darstellen können, die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen, doch ist normalerweise eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung möglich.
4. Biologische Arbeitsstoffe der Gruppe 4 sind solche, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Arbeitnehmer darstellen; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung ist unter Umständen groß; normalerweise ist eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung nicht möglich.

Eine erste Liste mit Einstufungsvorschlägen von biologischen Arbeitsstoffen in die Gefährdungsgruppen 2, 3 und 4 wurde vom Rat der EG herausgegeben [3] und in weiteren Richtlinien dem aktuellen Stand angepasst [4 bis 6]. In Deutschland sind die Einstufungskriterien für Biologische Arbeitsstoffe in der Technischen Regel für biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 450 zusammengefasst [7]. Für die Einstufung biologischer Arbeitsstoffe in die Risikogruppen 2 bis 4 gilt nach § 4 der BioStoffV der Anhang III der Richtlinie 90/679/EWG [1] in Verbindung mit Anhang I der Änderungsrichtlinie 93/88/EG [3] und ihren Anpassungsrichtlinien [4 bis 6]. Für die Zuordnung von biologischen Arbeitsstoffen zu Risikogruppen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung stehen weiterhin folgende Quellen zur Verfügung:

1. die Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) zur Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (TRBA 460), zur Einstufung von Viren in Risikogruppen (TRBA 462), zur Einstufung von Parasiten in Risikogruppen (TRBA 464) sowie zur Einstufung von Bakterien (Bacteria) und Archaeabakterien (Archaea) in Risikogruppen (TRBA 466), [8 bis 11]
2. die Merkblätter „Sichere Biotechnologie“ der BG Chemie [12]
3. die Einstufungsliste der Zentralen Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS) [13]

Grenzwerte für biologische Agenzien in der Luft am Arbeitsplatz liegen zurzeit weder auf europäischer noch auf nationaler Ebene vor. Für Rohbaumwollstaub und Holzstaub, die ebenfalls biologischen Ursprungs sind, existieren dagegen über das Technische Regelwerk für Gefahrstoffe (TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte) bzw. die Richtlinie 2004/37/EG Grenzwerte am Arbeitsplatz. Daneben liegen toxikologisch begründete Arbeitsplatzgrenzwerte für einige chemische Verbindungen vor, die auch von Bakterien und Pilzen in größeren Mengen freigesetzt werden können wie z.B. Kohlendioxid (CO₂) oder Acrolein.

Weiterhin werden für die Bereiche Produktschutz und Hygienestandard Reinheitsklassen für Räume auf der Grundlage des Mikroorganismengehaltes in der Luft definiert. Sie sind beispielsweise im Krankenhaus, bei der Lebensmittel- und Pharmazeutikaherstellung oder in der mikroelektronischen Fertigung von Bedeutung.

Dem Schutz des Verbrauchers dienen Grenzwerte für den Mikroorganismengehalt von Trinkwasser, Badewasser und Lebensmitteln. Allen diesen Grenzwerten ist gemeinsam, dass sie ursächlich nicht für den Arbeitsschutz konzipiert wurden und höchstens indirekt für diesen Bereich bedeutsam sind. Für die Beurteilung mikrobieller Arbeitsplatzbelastungen lassen sich folgende Parameter heranziehen:

- a) anzüchtbare und auszählbare Gesamtkoloniezahl der Bioaerosole (z.B. Schimmelpilze allgemein, ohne Artendifferenzierung)
- b) spezifische anzüchtbare und auszählbare Mikroorganismen im Sinne von Leitkeimen wie z.B. *Aspergillus fumigatus* in Kompostieranlagen
- c) spezifische infektiöse Mikroorganismen (z.B. *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium tuberculosis*)
- d) Zellwandbestandteile und Bestandteile von biologischen Partikeln (z.B. Endotoxine, β 1 \rightarrow 3 Glucane u.a. Allergene)

Insbesondere an Arbeitsplätzen, an denen gemäß § 2 der BioStoffV sogenannte nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen durchgeführt werden, kann eine Vielzahl von biologischen Agenzien bzw. Bioaerosolen mit möglicher allergisierender oder toxischer Wirkung vorkommen (z.B. Abfallwirtschaft, Landwirtschaft). Zur Abschätzung der Größenordnung einer Belastung erscheint es zunächst sinnvoll, Summen- oder Gruppenparameter wie z.B. die Koloniezahl der anzüchtbaren Bakterien bzw. Schimmelpilze oder die Endotoxinkonzentration in der Arbeitsplatzatmosphäre zu bestimmen. Darüber hinaus kann auch das Vorkommen von Leitorganismen zur Beurteilung herangezogen werden, sofern solche für bestimmte Arbeitsbereiche bekannt sind.

Bei speziellen Fragestellungen wie z.B. der Auslösung bestimmter Infektionskrankheiten oder dem Vorliegen von Allergien gegen bestimmte Schimmelpilzarten empfiehlt sich weiterhin die gezielte Untersuchung des Vorkommens einzelner Organismenarten bzw. die Bestimmung der Artenspektren der jeweils vorhandenen Mikroorganismen.

Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) hat im Rahmen der Umsetzung der EG-Richtlinie 90/679/EWG einen Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) eingerichtet. Eine der Hauptaufgaben des Arbeitskreises (AK) „Arbeitsplatzbewertung“ im Unterausschuss (UA) 1 „Grundsatz- und Anwendungsfragen“ des ABAS war es, standardisierte Messverfahren für biologische Agenzien am Arbeitsplatz zu erarbeiten sowie Messstrategien festzulegen. Ziel dieser Vorgehensweise war es, eine einheitliche Beurteilung von Arbeitsbereichen hinsichtlich der mikrobiellen Belastung sicherzustellen. Solchermaßen gewonnene vergleichbare Daten können beispielsweise zur Ableitung von Technischen Kontrollwerten (TKW) für bestimmte Arbeitsbereiche herangezogen werden.

Bisher wurden Messverfahren zur Bestimmung der Schimmelpilz-, Bakterien- und Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz erarbeitet und in der BGIA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ veröffentlicht [14]. Um das Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz zu validieren, wurden unter der Federführung des BGIA zwei Ringversuche mit realen Proben sowie mit in einem Staubkanal unter definierten Bedingungen beaufschlagten Probenträgern durchgeführt [15; 16]. Sowohl die grundlegende Messstrategie-Basisregel als auch das Messverfahren zur Schimmelpilzbestimmung wurden vom BMAS im Bundesarbeitsblatt als Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) veröffentlicht [17; 18]. Das Messverfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz wurde im März 2003 als TRBA zurückgezogen. Das in der BGIA-Arbeitsmappe unter der Kennziffer 9420 veröffentlichte Verfahren entspricht im Wortlaut jedoch der zurückgezogenen TRBA 430. Der Arbeitskreis „Arbeitsplatzbewertung“ berät das BMAS weiterhin in Fragen

zur Stellungnahme zu den in anderen europäischen Ländern bestehenden Richtwerten für Bioaerosole (z.B. Endotoxinrichtwert in den Niederlanden) und zur Ableitung von Technischen Kontrollwerten.

2 Kontrollwertkonzept

Das Kontrollwertkonzept für biologische Arbeitsstoffe wurde im AK „Arbeitsplatzbewertung“ im UA 1 des ABAS erarbeitet und mit Beschluss des ABAS vom September 2000 in die Neufassung der TRBA 405 übernommen.

Nach §§ 5, 6 und 7 der BioStoffV [2] ist der Arbeitgeber verpflichtet, bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen anhand von Informationen zu Art, Ausmaß und Dauer der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber diesen Agenzien eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Auf der Grundlage dieser Beurteilung soll anschließend die Zuordnung der Tätigkeiten zu einer bestimmten Schutzstufe bzw. die Festlegung von Schutzmaßnahmen erfolgen. Eine Verpflichtung zur Durchführung von Messungen biologischer Agenzien ist damit laut BioStoffV nicht verbunden. Lediglich in Einzelfällen wie z.B. bei der Einführung neuer Arbeitsverfahren oder wenn eine mögliche Kontamination eines Arbeitsplatzes untersucht werden soll kann es erforderlich sein, die mikrobielle Belastung der Luft am Arbeitsplatz zu bestimmen.

2.1 Technischer Kontrollwert

Ein Technischer Kontrollwert (TKW) legt diejenige Konzentration biologischer Arbeitsstoffe in der Luft für einen Arbeitsbereich, ggf. auch für ein bestimmtes Verfahren oder einen bestimmten Anlagentyp, fest, die grundsätzlich nach dem Stand der Technik erreicht werden kann. Solch ein Wert dient der Beurteilung von Schutzmaßnahmen und wird vom ABAS bestimmt. Er kann als Summenwert oder bezogen auf Mikroorganismengruppen definiert werden. Ein TKW ist an die jeweils dafür festgelegte Messstrategie gebunden.

Für die Festlegung der Höhe eines TKW sind maßgebend:

- der jeweiligen Stand der technischen Maßnahmen; bei unterschiedlichen Verfahren können auch unterschiedliche TKW für die gleichen biologischen Parameter festgelegt werden
- die Berücksichtigung arbeitsmedizinischer, toxikologischer und epidemiologischer Erfahrungen

TKW liefern keine Aussagen zu Korrelationen zwischen Expositionen und damit verbundenen möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Beschäftigten. Da für die durch den TKW erfassten biologischen Arbeitsstoffe in der Regel keine Wirkungsschwelle ermittelt werden kann und auch bei Einhaltung der TKW eine Beeinträchtigung der Gesundheit nicht auszuschließen ist, sind fortgesetzte Verbesserungen der Arbeitsverfahren und der technischen Schutzmaßnahmen notwendig. Es gilt das Minimierungsgebot nach § 10 Abs. 6 BioStoffV. TKW werden vom ABAS laufend an den Stand der technischen Entwicklung der analytischen Möglichkeiten sowie der Überprüfung nach dem Stand der Wirkungsforschung angepasst.

2.2 Messstrategie/Messverfahren

Für biologische Arbeitsstoffe an Arbeitsplätzen gibt es verschiedene Quellen. Im Rahmen der Ermittlungen zu biologischen Arbeitsstoffen können zahlreiche Informationen zur potenziellen Quelle, zur Art des emittierten biologischen Agens sowie zu den daraus folgenden Charakteristika und zu den Umgebungsbedingungen anfallen (z.B. Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit).

Grundsätzlich obliegt es dem Unternehmer, eine Gefährdungsbeurteilung nach den Vorgaben des Arbeitsschutzgesetzes durchzuführen. Hierbei soll z.B. durch die TRBA 400 – Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Unterrichtung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen – Hilfestellung geleistet werden [19].

Aus einem optisch nicht einwandfreien Befund an Arbeitsplätzen lässt sich nicht automatisch ein Messbedarf ableiten. Oftmals können die Beseitigung von Emissionsquellen für biologische Arbeitsstoffe und das Ergreifen geeigneter Schutzmaßnahmen auch ohne Messung erfolgen. Andererseits bedeutet ein optisch einwandfreier Befund bei der Begehung nicht zwingend, dass keine biologischen Agenzien in höherer Zahl vorkommen können.

Besteht aus einem der im zweiten Abschnitt des Kapitels „Kontrollwertkonzept“ genannten Gründe ein Messbedarf, so ist grundsätzlich auf die für die Messung von Mikroorganismen in der Luft ausgelegte Messstrategie TRBA 405 „Anwendung von Messverfahren für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe“ zurückzugreifen [17]. Bei der Messplanung sind dabei Messparameter, Messverfahren, Messorte, Messdauer sowie die Anzahl der zu beaufschlagenden Probenräger festzulegen. Bei der Messung der mikrobiellen Belastung in der Luft in Arbeitsbereichen sollten die in der BGIA-Arbeitsmappe veröffentlichten Messverfahren angewendet werden [14]. Erkenntnisse und Ergebnisse aus der Validierung dieser Messverfahren und damit verbundene aktuelle Verfahrensanpassungen sollten dabei berücksichtigt werden [z.B. 15; 16; 20]. In den entsprechenden Texten werden dem Benutzer auch Hinweise zur Durchführung der Messung, z.B. hinsichtlich der maximalen Messdauer, gegeben.

Zusätzlich zu den Luftmessungen können bei mikrobiologischen Ermittlungen an Arbeitsplätzen weitere Untersuchungen sinnvoll sein wie z.B. die Bestimmung des Keimgehaltes von Flüssigkeiten von Materialproben oder von Oberflächen.

Im Einzelfall können zur Beurteilung möglicher mikrobieller Belastungen von Arbeitsplätzen neben einer Messung mit mikrobiologischen Verfahren ergänzend andere aussagekräftige Methoden zum Einsatz kommen (z.B. Staubmessungen).

2.3 Schwankungsbreite von Messergebnissen

Der Gehalt an biologischen Arbeitsstoffen in der Luft in Arbeitsbereichen kann, je nach Arbeitsplatz oder Anlagentyp, erheblich schwanken. Solche Schwankungen können z.B. durch die klimatischen, Lüftungs- und verarbeitungstechnischen Verhältnisse oder durch das verarbeitete Material, aber auch durch die Zusammensetzung der jeweils vorhandenen Mikroorganismenpopulation selbst, bedingt sein. An ein und demselben Arbeitsplatz können deshalb an verschiedenen Messtagen unterschiedliche Konzentrationen von biologischen Arbeitsstoffen festgestellt werden. In der Literatur sind in identischen Arbeitsbereichen geometrische Standardabweichungen der gemessenen Konzentrationen im Bereich von 1,6 bis 4 dokumentiert worden [21]. Auch zwischen den Ergebnissen aus stationären Messungen, die auf den gesamten Arbeitsbereich bezogen sind, und solchen aus personengetragenen Messungen können grundsätzlich Unterschiede bestehen [22].

Durch die Messgröße selbst (lebendes Material, Mischpopulationen oder Stoffgruppen, Abhängigkeit von Umweltfaktoren wie Substratangebot, pH-Wert, Temperatur, Feuchtigkeit) sind Variabilitäten bei der Bestimmung biologischer Arbeitsstoffe vorgegeben. Aus diesem Grund wurde versucht, die entsprechenden Messverfahren weitestgehend zu standardisieren, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Mithilfe von Ringversuchen wurden die Leistungskennwerte solcher standardisierten, mikrobiologischen Messverfahren ermittelt bzw. überprüft [15; 16; 21; 23].

2.4 Glossar

Biologische Arbeitsstoffe

Mikroorganismen, einschließlich genetisch veränderter Mikroorganismen, Zellkulturen und Humanendoparasiten, die Infektionen, Allergien und toxische Wirkungen auslösen können: Mikroorganismen sind dabei alle zellularen oder nicht zellularen mikrobiologischen Einheiten, die zur Vermehrung oder zur Weitergabe von genetischem Material fähig sind.

Biologische luftgetragene Kontaminanten

- Bioaerosole
- flüchtige von Organismen freigesetzte Verbindungen, z.B. Aceton, Aldehyde, Alkohole, Amine, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Schwefeldioxid
- biologische Produkte, z.B. Enzyme, Mykotoxine

Bioaerosole

Luftgetragene biologische Partikel, die aus lebenden Organismen zusammengesetzt sind oder von diesen produziert wurden:

- Mikroorganismen, anzüchtbare und nicht anzüchtbare (Bakterien, Pilze, Algen, Protozoen einschließlich Viren)
- Pollen
- Bestandteile von lebenden Organismen, z.B. Zellwandkomponenten oder Zellinhaltsstoffe, Federn, Speichel, Kot

Hintergrundkonzentration in der Außenluft

Die am Tage der betrieblichen Messung vorliegende Konzentration an biologischen Arbeitsstoffen (Schimmelpilze, Bakterien, Endotoxine u.a.) in der Außenluft [Angabe pro m³ Luft], die auf dem Betriebsgelände oder in unmittelbarer Nachbarschaft gemessen wurde.

Die Messung der Hintergrundkonzentration in der Außenluft dient als Referenz zur Beurteilung der am Probenahmetag ermittelten Konzentration von biologischen Arbeitsstoffen in der Arbeitsplatzatmosphäre. Die Höhe des Messwertes in der Außenluft wird durch

- natürliche Quellen (z.B. Vegetation) oder
- anthropogen beeinflusste Quellen (z.B. keimemittierende Tätigkeiten wie Getreideernte)

in der näheren Umgebung des beprobten Betriebes beeinflusst. Sie kann jahreszeitlich variieren.

Die Außenluftmessung soll stets auf der dem Wind zugewendeten Seite des untersuchten Betriebes erfolgen, um eine Beeinflussung des Wertes durch Keimemissionen aus dem Betrieb selbst weitgehend ausschließen zu können.

Messung, personenbezogen

Personenbezogene Messungen zur Expositionsermittlung werden im Atembereich der Beschäftigten personengetragen oder ortsfest (stationär) durchgeführt. Zur Beurteilung von Tätigkeiten, während deren Ausführung ein Arbeitsplatzwechsel stattfindet, sollten vorrangig personengetragene Messungen durchgeführt werden. Ist eine personengetragene Messung aus technischen Gründen nicht möglich oder wegen eines räumlich eng begrenzten Einsatzes der Beschäftigten oder der Gleichförmigkeit der Konzentrationsverhältnisse im Arbeitsbereich nicht erforderlich, können auch ortsfeste Messungen zur Expositionsermittlung erfolgen. Dabei ist auf eine Entnahme der Luftprobe in Atemhöhe (z.B. 150 bis 165 cm bei stehender, 110 cm bei sitzender Tätigkeit) und in unmittelbarer Nähe der Beschäftigten zu achten.

Messung, ortsbezogen

Ortsbezogene Messungen erfolgen ohne Personenbezug und werden i.d.R. zur Beurteilung der Emission aus technischen Anlagen/Maschinen durchgeführt, z.B. am Luftauslass einer raumlufttechnischen Anlage.

MVOCs

Microbial volatile organic compounds = englisch für leicht flüchtige organische Verbindungen mikrobiellen Ursprungs

3 Grenzwerte

Arbeitsmedizinisch-epidemiologisch begründete Grenzwerte für Bioaerosole in der Luft am Arbeitsplatz liegen derzeit nicht vor.

3.1 Technischer Kontrollwert für biologische und andere Abfallbehandlungsanlagen

Im AK „Arbeitsplatzbewertung“ des UA 1, Grundsatz- und Anwendungsfragen, des ABAS wurde neben standardisierten Messverfahren für biologische Arbeitsstoffe auch das Konzept eines sog. technischen Kontrollwertes (TKW) erarbeitet. Es wurde in der TRBA 405 Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe beschrieben [17].

Im Oktober 1997 hat der Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) Hinweise für die Festlegung von Arbeitsschutzmaßnahmen in biologischen Abfallbehandlungsanlagen herausgegeben [24]. Demzufolge ist an ständigen Arbeitsplätzen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft am Arbeitsplatz sicherzustellen. Zur Überprüfung der Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen, insbesondere der Lüftungstechnik, wird ein Orientierungswertebereich für die Schimmelpilzbelastung der Luft am Arbeitsplatz genannt. Danach sind bei einer Konzentration < 5 000 KBE^{*)}/m³ Luft keine weiteren Maßnahmen notwendig. Bei 5 000 bis 50 000 KBE/m³ Luft sind weitergehende hygienische Maßnahmen erforderlich. Bei Werten > 50 000 KBE/m³ Luft schließlich sind die organisatorischen und technischen Schutzmaßnahmen zu optimieren. Diese Werte verfügen nicht über denselben rechtlichen Status wie die vom BMAS nach Beratung im ABAS veröffentlichten Technischen Regeln für biologische Arbeitsstoffe und Beschlüsse (Übersicht siehe <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/BiologischeArbeitsstoffe/TRBA/TRBA.html-nnn=true>) und Bekanntmachungen. Für Anlagen, in denen gebrauchte Verkaufsverpackungen, Sperrmüll, Papier, Pappe, Glas, Bauschutt- und Baumischabfälle behandelt werden, wurden 1998 „Leitlinien des Arbeitsschutzes in Abfallbehandlungsanlagen“ veröffentlicht [25], die einen adäquaten Wertebereich vorsehen.

Auf der Grundlage von Untersuchungen zur mikrobiellen Luftbelastung in 32 Wertstoffsortieranlagen [26] wurde im Auftrag des BMAS in der Vergangenheit ein Schutzkonzept für Abfallsortieranlagen erarbeitet, das im Juni 1999 als TRBA im Bundesarbeitsblatt veröffentlicht wurde [27]. Im Zusammenhang mit der Veröffentlichung der TRBA „Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen“ wurde durch den AK „Abfallwirtschaft“ im UA 2 „Schutzmaßnahmen“ des ABAS erstmals ein Technischer Kontrollwert für solche Anlagen formuliert [28]. Dieser TKW wurde auf $5 \cdot 10^4$ KBE/m³ Atemluft als Summenwert für mesophile Schimmelpilze festgelegt. Er galt ausschließlich für die Kontrolle von Schutzmaßnahmen in Sortierkabinen, Kabinen und Steuerständen und war bis August 2003 zur Erprobung ausgeschrieben. In einer Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) wurde die Einhaltung dieses TKW überprüft. Dazu wurden in der warmen Jahreszeit 2004 die Gehalte an mesophilen Schimmelpilzen an Arbeitsplätzen in 26 ausgewählten biologischen Abfallbehandlungsanlagen untersucht. Die Studie zeigte, dass bei konsequenter Umsetzung des in der TRBA 211 beschriebenen Konzeptes sich ergänzender Schutzmaßnahmen der TKW an den Arbeitsplätzen des Anwendungsbereiches (Sortierkabinen, Leitwarten, Radladerkabinen) in der Regel eingehalten wurde [29]. Im Juli 2007 wurde die

*) KBE, Kolonie bildende Einheiten

TRBA 211 „Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen“ daraufhin aufgehoben [28]. Die TRBA 210 „Abfall-sortieranlagen: Schutzmaßnahmen“ [27] und der Beschluss 607 „Anforderungen an Sortieranlagen“ [37] wurden inhaltlich in die neue TRBA 214 „Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft“ integriert [38]. Der dort festgelegte TKW von $5 \cdot 10^4$ KBE pro m^3 Atemluft als Summenparameter für mesophile Schimmelpilze gilt für die Kontrolle von Schutzmaßnahmen für Arbeitsplätze in Sortierkabinen, Kabinen, Führerhäusern und Steuerständen in folgenden Anlagentypen:

- Sortieranlagen, z.B. für Verpackungsabfälle, Siedlungsabfälle, Altpapier, Glas-, Bauschutt- und Baumischabfälle
- Kompostierungsanlagen (Anlagen zur Erzeugung von Kompost aus organischen Abfällen)
- Abfallvergärende Biogasanlagen
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen (MBA)
- Mechanisch-physikalische Abfallbehandlungsanlagen/ Stabilisierungsanlagen (MPS)
- Abfallumladestationen

3.2 Endotoxine

Zur Beurteilung der Endotoxinkonzentrationen wurde seinerzeit ein Richtwert von etwa 50 EU (engl. Endotoxin units) pro m^3 Luft als 8-Stunden-Mittelwert vorgeschlagen, der mithilfe eines standardisierten Messverfahrens ermittelt wurde [30; 31]. Zahlreiche Messungen in der Praxis zeigten, dass die Endotoxinkonzentrationen in vielen Arbeitsbereichen wesentlich höher liegen, ohne dass entsprechende Erkrankungen auftreten. Dieses Ergebnis könnte nicht zuletzt auch durch große Schwankungsbreiten bei der Probenahme und der Durchführung der Analysenmethode beeinflusst sein. Im AK „Arbeitsplatzbewertung“ im UA 1, Grundsatz- und Anwendungsfragen, des ABAS wurde deshalb unter Einbindung nationaler Experten eine Stellungnahme zur Ein-

schätzung im Hinblick auf die praktische Umsetzbarkeit dieses Richtwertes erarbeitet [32]. Bei einer internationalen Veranstaltung zum Thema, die im April 2007 in Dresden stattfand, wurden die Inhalte dieser Veröffentlichung weitgehend bestätigt [39].

3.3 Luftbefeuchtungseinrichtungen

Für den hygienisch einwandfreien Betrieb von Luftbefeuchtungseinrichtungen fordert die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung in ihrem Geltungsbereich die Einhaltung der Richtwerte 1000 KBE/ m^3 Atemluft am Arbeitsplatz und 1000 KBE/ml im Befeuchterwasser. Werden diese Werte übertroffen, sind Wartungs- und Reinigungs- bzw. Sanierungsarbeiten der Anlagen angezeigt [33].

3.4 Innenräume

Für das Vorkommen von biologischen Arbeitsstoffen in der Luft in Innenräumen, insbesondere in Büroräumen, werden in der Literatur Werte in der Größenordnung von 1000 Keimen pro m^3 Luft bzw. 0,1 μg Endotoxin (entspricht 1000 Endotoxin-Einheiten [EU]) pro m^3 Luft genannt (Zusammenfassung siehe [34]). Verschiedene Autoren bewerten bereits ein Vorkommen von 100 KBE/ m^3 Luft mehr in der Innenraumluft als in der Außenluft als Belastung des Innenraums mit Schimmelpilzen [35]. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich betont werden, dass es sich bei allen Werten um reine Erfahrungsrichtwerte der jeweiligen Autoren handelt. Dies gilt auch für Werte, die in einem Leitfaden des LGA Stuttgart zur Beurteilung des Vorkommens von Schimmelpilzen in Innenräumen genannt werden, der viele wertvolle Hinweise zur Thematik enthält [36].

An verschiedenen Arbeitsplätzen vorkommende biologische Arbeitsstoffe und von ihnen ausgelöste Erkrankungen (Beispiele ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

EAA = Exogen-allergische Alveolitis; ODTs = Organic Dust Toxic Syndrome

Tätigkeiten/Arbeitsbereiche	Mögliche Erkrankungen	Mögliche Erreger
Landwirtschaft (z.B. Getreide-, Milchproduzenten, Tierzüchter)	Allergien Farmerlunge (EAA) ODTs Zoonosen, z.B. Leptospirose Brucellose Q-Fieber Listeriose Hautmykosen Hautinfektion (Lymphadenitis)	Schimmelpilze Actinomyceten <i>Erwinia herbicola</i> u.a. <i>Leptospira interrogans</i> <i>Brucella spec.</i> <i>Coxiella burnetii</i> <i>Listeria monocytogenes</i> Dermatophyten (<i>Trichophyton spp.</i>) Melkerknotenvirus, Orfvirus
Veterinäre, Tierpfleger, Fleischverarbeitung, Zooarbeiter	Zoonotische Infektionen (siehe „Landwirtschaft“)	Bakterien, Pilze, Viren
Fischerei, Aquarienhandlungen	kutane Mycobacteriosen Leptospirose	<i>Mycobacterium marinum</i> <i>Leptospira interrogans</i>

Tätigkeiten/Arbeitsbereiche	Mögliche Erkrankungen	Mögliche Erreger
Vogelzucht	Vogelhalterlunge (EAA) Lungenkrebs Ornithose Kryptokokkose	mikrobiell belasteter Kot mikrobiell belasteter Kot <i>Chlamydia psittaci</i> <i>Cryptococcus neoformans</i>
Gärtnerei, Pilzzucht	Tetanus Zoonosen (s.o.) Pilzsporen-Alveolitis (EAA) Pilzarbeiterlunge	<i>Clostridium tetani</i> Bakterien Austernseitlinge Actinomyceten im Kompost
Forstwirtschaft	Frühsommer-Meningoenzephalitis Borreliose Tollwut Sporotrichosenmykose	FSME-Virus <i>Borrelia burgdorferi</i> Rabiesvirus <i>Sporothrix schenckii</i>
Lederindustrie, Pelzindustrie	Zoonosen, z.B. Milzbrand Erysipeloid Hautmykosen	<i>Bacillus anthracis</i> <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> <i>Trichophyton mentagrophytes</i>
Textilindustrie, Baumwoll-, Flachs-, Hanfspinnerei	Byssinose	Endotoxine, gramnegative Bakterien, <i>Erwinia herbicola</i>
Müllverarbeitung, Müllsortierung, Kompostieranlagen, Deponien	Allergien EAA ODTS Infektionen, z.B. Gastroenteritis Aspergillose, Aspergillom	Schimmelpilze, Actinomyceten, gramnegative Bakterien Enteroviren, Enterobakterien <i>Aspergillus fumigatus</i>
Großhandel, Lagerei, Brauerei, Getreidesilos (z.B. Malz, Nüsse, Kräuter)	EAA, z.B. Obstbauerlunge Malzarbeiterlunge Bagassose ODTS	<i>Penicillium spp.</i> , <i>Aspergillus spp.</i> <i>Aspergillus clavatus</i> , <i>Mucor mucedo</i> <i>Thermoactinomyces sacchari</i> Endotoxine, gramnegative Bakterien
Sägewerke, Holzverarbeitung, Papierwerke	Holzarbeiterlunge (EAA) ODTS	Schimmelpilze (<i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i>), gramnegative Bakterien Endotoxine
Archive, Museen, Büchereien	ODTS Allergien	Endotoxine Schimmelpilze (<i>Penicillium</i> u.a.) gramnegative Bakterien
Druckereien, luftbefeuchtete Räume (RLT-Anlagen, Luftbefeuchter)	ODTS, z.B. Befeuchterfieber Pontiacfieber Befeuchterlunge (EAA) Asthma bronchiale Legionärskrankheit Sick-Building-Syndrom	Endotoxine (gramnegative Bakterien) Endotoxine (<i>Legionella pneumophila</i>) gramnegative Bakterien Schimmelpilze, Actinomyceten <i>Legionella pneumophila</i> gramnegative Bakterien, Schimmelpilze
Metallver- und -bearbeitung (Kühlschmierstoffeinsatz)	Wundinfektion Lungeninfektion Asthma bronchiale Befeuchterlunge (EAA) Kontaktdermatitis	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus spp.</i> <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> Schimmelpilze, Bakterien

Tätigkeiten/Arbeitsbereiche	Mögliche Erkrankungen	Mögliche Erreger
Schwimmbäder, Saunen, Whirlpools	Whirlpool-Dermatitis Otitis media Legionellose Hautmykosen Schwimmbad-Konjunktivitis Augen-, Lungeninfektion Gastroenteritis	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Legionella pneumophila</i> Dermatophyten <i>Chlamydia trachomatis</i> Adenoviren, Reoviren Norwalk-, Rotaviren
Wäschereien	Hautmykosen Allergien	Dermatophyten Schimmelpilze
Bergwerke	Hautmykosen Leptospirose	<i>Trichophyton spp.</i> <i>Leptospira interrogans</i>
Kläranlagen, Kanalarbeiten	Hepatitis A Salmonellose Enterovirose Leptospirose	Hepatitis-A-Virus <i>Salmonella enteritidis</i> Echo-, Rotavirus <i>Leptospira interrogans</i>
Biotechnologie, Lebensmittelindustrie	Allergien Hautirritationen ODTS	biotechnologische Produkte, Schimmelpilze Proteasen von <i>Bacillus subtilis</i> Endotoxine
Bäckereien	Bäckerasthma	u.a. Pilze, Bakterien, Amylasen
Gesundheitswesen, Krankenhäuser, Diagnose-Laboratorien, Rettungsdienste, Polizei	verschiedene Infektionen, z.B. Hepatitis B Tuberkulose Keuchhusten Aids	Hepatitis-B-Virus <i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Bordetella pertussis</i> HIV-Virus

4 Literatur

[1] Richtlinie des Rates vom 26. November 1990 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (7. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikel 16 Abs. 1 der Richtlinie 89/391/EWG) ABl. EG Nr. L 374, S. 1

[2] Verordnung zur Umsetzung von EG-Richtlinien über den Schutz der Beschäftigten gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit vom 21. Januar 1999. BGBl. I (1999) Nr. 4 vom 29. Januar 1999; Änderung im Rahmen der Artikelverordnung vom 29. Dezember 2004: BGBl. I (2004) Nr. 74, S. 3758 ff.

[3] Richtlinie 93/88/EWG des Rates vom 12. Oktober 1993 zur Änderung der Richtlinie 90/679/EWG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (Siebte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EG (1993) Nr. L 268, S. 71-82

[4] Richtlinie 95/30/EG der Kommission vom 30. Juni 1995 zur Anpassung der Richtlinie 90/679/EWG des Rates über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit an den technischen Fortschritt (Siebte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EG (1995) Nr. L 155, S. 42-43

[5] Richtlinie 97/59/EG der Kommission vom 7. Oktober 1997 zur Anpassung der Richtlinie 90/679/EWG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (Siebte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) an den technischen Fortschritt (Text von Bedeutung für den EWR). ABl. EG (1997) Nr. L 282, S. 33-35

[6] Richtlinie 97/65/EG der Kommission vom 26. November 1997 zur dritten Anpassung der Richtlinie 90/679/EWG des Rates über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit an den technischen Fortschritt. ABl. EG Nr. L 335, S. 17-18

[7] Technische Regel für biologische Arbeitsstoffe: Einstufungskriterien für biologische Arbeitsstoffe (TRBA 450). Ausg.: 6/2000. BArbBl. (2000) Nr. 6, S. 58-61, geänd. BArbBl. (2002) Nr. 4, S. 127-128, BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 86, und BArbBl. (2003) Nr. 3, S. 59-60

[8] Technische Regel für biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (TRBA 460). Ausg. 10/2002. BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 78-84

[9] Technische Regel für biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Viren in Risikogruppen (TRBA 462). Ausg. 8/1998. BArbBl. (1998) Nr. 12, S. 41-43

[10] Technische Regel für biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Parasiten in Risikogruppen (TRBA 464). Ausg. 4/2002. BArbBl. (2002) Nr. 4, 134-139, geänd. BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 86

[11] Technische Regel für biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Bakterien (Bacteria) und Archaeabakterien (Archaea) in Risikogruppen (TRBA 466). Ausg. 12/2005. BArbBl. (2006) Nr. 7, S. 33-193

- [12] Merkblatt B 004: Sichere Biotechnologie, Eingruppierung biologischer Agenzien: Viren (BGI 631). Ausg. 4/98.
Merkblatt B 005: Sichere Biotechnologie, Eingruppierung biologischer Agenzien: Parasiten (BGI 632). Ausg. 9/2001.
Merkblatt B 006: Sichere Biotechnologie, Eingruppierung biologischer Agenzien: Bakterien (BGI 633). Ausg. 7/2005. Merkblatt B 007: Sichere Biotechnologie, Eingruppierung biologischer Agenzien: Pilze (BGI 634). Ausg. 8/2002.
Merkblatt B 008: Sichere Biotechnologie, Eingruppierung biologischer Agenzien: Gentechnisch veränderte Organismen (BGI 635). Ausg. 4/1993.
Hrsg.: Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie. Carl Heymanns, Köln
- [13] Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für gentechnische Arbeiten. Bundesgesundhbl. 40 (1997) Nr. 12 – Sonderbeilage
- [14] Biologische Arbeitsstoffe – Rechtlicher Hintergrund (Kennzahl 9400). Anwendung von Meßverfahren für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe (Kennzahl 9411). Probenahme von Bioaerosolen am Arbeitsplatz (Kennzahl 9410). Benutzerhinweise für die Auswahl von Meßverfahren für Biologische Arbeitsstoffe (Kennzahl 9417). Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Probenahme mit Abscheidung auf einem Membranfilter und Bestimmung durch Kultivierung) (Kennzahl 9430). Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9450). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA. Berlin, Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989
- [15] Bestimmung der Konzentration Biologischer Arbeitsstoffe am Arbeitsplatz – Erster Ringversuch „Schimmelpilze“ (Kennzahl 9427). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 18. Lfg. IV/97 Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA. Berlin, Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989
- [16] *Averdiek, B.; Deininger, C.; Engelhart, S.; Missel, T.; Philipp, W.; Riege, F.; Schicht, B.; Simon, R.*: Bestimmung der Konzentration Biologischer Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz – Erster Ringversuch Schimmelpilze. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 57 (1997), S. 129-136
- [17] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Anwendung von Messverfahren für luftgetragene biologische Arbeitsstoffe (TRBA 405). Ausg. 5/2001. BArbBl. (2001) Nr. 5, S. 58-61; geänd. BArbBl. (2003) Nr. 3, S. 59-60, BArbBl. (2006) Nr. 7, S. 193-194
- [18] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (TRBA 430). BArbBl. (2001) Nr. 8, S. 79-83
- [19] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Unterrichtung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (TRBA 400). Ausg. 4/2006. BArbBl. (2006) Nr. 6, S. 62-77
- [20] Mikroorganismen in der Arbeitsplatzatmosphäre – Aktinomyceten. KAN-Bericht 13, 2., erweiterte Auflage (1999). Hrsg.: Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa, Sankt Augustin 1999
- [21] EN 13098: Workplace atmosphere – guidelines for measurement of airborne micro-organisms and endotoxin. Brüssel, September 2000
- [22] *Esmen, N.A.; Hall, T.H.*: Theoretical investigation of the interrelationship between stationary and personal sampling in exposure estimation. Appl. Occup. Environm. Hyg. 15 (2000) Nr. 1, S. 114-119
- [23] *Chun, D.T.W.; Chew, V.; Bartlett, K.; Gordon, T.; Jacobs, R.R.; Larsson, B.-M.; Larsson, L.; Lewis, D.M.; Liesivuori, J.; Michel, O.; Milton, D.K.; Rylander, R.; Thorne, P.S.; White, E.M.; Brown, M.E.*: Preliminary report on the results of the second phase of a round-robin endotoxin-assay study using cotton dust. Appl. Occup. Environm. Hyg. 15 (2000) Nr. 1, S. 152-157
- [24] Leitlinien für den Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Hrsg.: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Wiesbaden 1997
- [25] Leitlinien des Arbeitsschutzes in Abfallbehandlungsanlagen. Hrsg.: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Wiesbaden 1998
- [26] *Deininger, C.*: Untersuchungen zur mikrobiellen Luftbelastung in 32 Wertstoffsortieranlagen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998), S. 113-123
- [27] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Abfallsortieranlagen: Schutzmaßnahmen (TRBA 210). Ausg. 8/2002. BArbBl. (1999) Nr. 6, S. 77-80; geänd. BArbBl. (2001) Nr. 8, S. 79
- [28] Technische Regel für biologische Arbeitsstoffe: Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen. (TRBA 211). Ausg. 8/2001. BArbBl. (2001) Nr. 8, S. 83-89; geänd. BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 84-85; aufgehoben im Juli 2007, GMBL. Nr. 35, S. 710
- [29] *Felten, Ch.; Albrecht, A.; Missel, T.; Willer, E.*: Schimmelpilzkonzentrationen an Arbeitsplätzen in Komposieranlagen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 1081. Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW 2006
- [30] *Linsel, G.; Kummer, B.*: Endotoxine in der Luft am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998), S. 281-287
- [31] Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit. Report of the Dutch expert committee on occupational standards, a committee of the Health Council of the Netherlands. Hrsg.: Gezondheidsraad, Rijswijk 1998
- [32] Irritativ-toxische Wirkungen von luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen am Beispiel der Endotoxine. BArbBl. (2005) Nr. 6, S. 49-59
- [33] Informationen zur Luftbefeuchtung. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung, Wiesbaden 2004 www.bgdp.de
- [34] *Deininger, C.; Duggal, S.; Kolk, A.; Warfolomeow, I.*: Biologische Einwirkungen. In: Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. 2. Aufl. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2005, S. 248-270

[35] *Senkpiel, K.; Ohgke, H.*: Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen. *gi* 113 (1992), S. 42-45

[36] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2001

[37] Beschluss des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS): Anforderungen an Sortieranalysen (Beschluss 607). *BArbBl.* (2003) Nr. 10, S. 65-68

[38] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft (TRBA 214). *GMBL.* (2007) Nr. 35, S. 709-720

[39] Schwerpunkt: Endotoxine. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 67 (2007) Nr. 9, S. 345-396

Physikalische Einwirkungen

1 Lärm

1.1 Einführung und Erläuterungen

1.1.1 Gehörgefährdung

Gehörgefährdung besteht dann, wenn Geräuscheinwirkung zu bleibenden **Hörminderungen** führen kann, d.h., es können sich lärmbedingte Hörverluste vorzugsweise bei den Frequenzen oberhalb 1 kHz ausbilden. Insbesondere sind Gehörgefährdungen auszuschließen, die zu **Gehörschäden** mit Beeinträchtigung des sozialen Sprachgehörs führen können. Als Kenngrößen für diese Lärmwirkung werden verwendet:

$L_{EX,8h}$ in dB(A)

Tages-Lärmexpositionspegel nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) [1], kann orts- und personenbezogen ermittelt werden, stimmt mit $L_{Aeq,8h}$, dem Beurteilungspegel ohne Impulzzuschlag nach DIN 45 645 Teil 2 [2] mit der Beurteilungszeit 8 h überein

$L_{EX,40h}$ in dB(A)

Wochen-Lärmexpositionspegel nach LärmVibrationsArbSchV, kann orts- und personenbezogen ermittelt werden, wird ausnahmsweise auf Antrag des Arbeitgebers anstelle des $L_{EX,8h}$ gebildet bei täglich stark unterschiedlicher Lärmbelastung und/oder bei Expositionsdauern, die von fünf Tagen pro Woche abweichen

$L_{pC,peak}$ in dB

Spitzenwert des C-bewerteten Schalldruckpegels nach Lärm-VibrationsArbSchV, kann orts- und personenbezogen ermittelt werden

L_{Terz} in dB

Terzband-Schalldruckpegel als Grenzwert für Ultraschall

Die Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung enthält in der Gruppe der durch physikalische Einwirkungen verursachten Berufskrankheiten die BK 2301 „Lärmschwerhörigkeit“.

1.1.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Extraaurale Lärmwirkungen sind diejenigen, die zu erhöhten psychischen oder physischen Beanspruchungen führen können mit Ausnahme der Gehörgefährdung. Als Beispiele seien lärmbedingte Herz-Kreislauf-Effekte und Konzentrationsstörungen durch Umgebungsgeräusche genannt. Extraaurale Lärmwirkungen werden bisher nicht als Berufskrankheit anerkannt. Als Kennwert wird generell der Beurteilungspegel mit Impuls- und Tonzuschlag $L_r = L_{Aeq,8h} + K_I + K_T$ nach DIN 45 645 Teil 2 verwendet.

1.1.3 Unfallgefahren

Unfallgefahren durch Umgebungsgeräusche und beim Tragen von Gehörschutz können durch akustische Verdeckung von Sprache, Warnsignalen oder informationshaltigen Arbeitsgeräuschen entstehen. Kennwerte für die Beeinträchtigung der Sprachkommunikation durch Lärm sind nach DIN EN ISO 9921 [3] der Sprachinterferenzpegel L_{SIL} oder der A-bewertete Mittelungspegel L_{Aeq} für den Kommunikationszeitraum. Kennwerte für die Signalerkennung sind der Signal-Störabstand in dB für Terz- oder Oktavbänder nach DIN EN ISO 7731 [4].

1.2 Auslösewerte und maximal zulässige Expositionswerte

1.2.1 Gehörgefährdung

Auslösewerte/maximal zulässige Grenzwerte	Maßnahmen/Erläuterungen	Bestimmung
I) Expositionsauslösewert ² : $L_{EX,8h} > 80 \text{ dB(A)}$ oder $L_{pC,peak} > 135 \text{ dB(C)}$	<ul style="list-style-type: none"> ● Information und Unterweisung der Beschäftigten ($L_{EX,8h} \geq 80 \text{ dB(A)}$) ● Bereitstellen geeigneter Gehörschützer ● Anspruch auf vorbeugende audiometrische Untersuchungen 	<p>§ 11¹</p> <p>§ 8, Abs. 1¹</p> <p>§ 14¹</p>
II) Expositionsauslösewert ² : $L_{EX,8h} > 85 \text{ dB(A)}$ oder $L_{pC,peak} > 137 \text{ dB(C)}$	<ul style="list-style-type: none"> ● Kennzeichnung von Lärmbereichen ($L_{EX,8h} \geq 85 \text{ dB(A)}$) ● Lärminderungsprogramm ● Benutzungspflicht für Gehörschützer ($L_{EX,8h} \geq 85 \text{ dB(A)}$) ● Veranlassung von Gehörvorsorgeuntersuchungen ($L_{EX,8h} \geq 85 \text{ dB(A)}$) 	<p>§ 7, Abs. 4¹</p> <p>§ 7, Abs. 5¹</p> <p>ArbSchG § 15, Abs. 2</p> <p>§ 13¹</p>
III) Maximal zulässige Expositionswerte ³ : $L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$ oder $L_{pC,peak} = 137 \text{ dB(C)}$	<ul style="list-style-type: none"> ● Lärmbedingte Gehörschäden sind möglich ● Maximal zulässige Expositionswerte dürfen unter keinen Umständen überschritten werden ● Unverzüglich Maßnahmen einleiten, um die Exposition zu verringern ● Gründe der Überschreitung ermitteln 	<p>§ 8, Abs. 2¹</p> <p>§ 8, Abs. 4¹</p> <p>§ 8, Abs. 4¹</p>
IV) $L_{Terz} (20 \text{ kHz}) < 110 \text{ dB}$	<ul style="list-style-type: none"> ● Bleibende Gehörschäden durch Ultraschall sind nicht wahrscheinlich, wenn dieser Richtwert eingehalten wird. Für höhere Frequenzen werden auch höhere Grenzwerte diskutiert 	VDI 2058 Blatt 2 [5]

¹ LärmVibrationsArbSchV

² Wirkung des Gehörschützers wird nicht berücksichtigt

³ Wirkung des Gehörschützers wird berücksichtigt

1.2.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Grenzwerte	Maßnahmen/Erläuterungen	Bestimmung
$L_r > 55 \text{ dB(A)}$	<ul style="list-style-type: none"> ● Geräusche stören und führen zu vegetativen Reaktionen und Leistungsbeeinträchtigungen. ● Grenzwert gilt für überwiegend geistige Tätigkeiten, bei denen eine hohe Komplexität mit entsprechenden Schwierigkeiten, schöpferisches Denken, Entscheidungsfindung, Problemlösungen und einwandfreie Sprachverständlichkeit gefordert werden, z.B. Teilnahme an Besprechungen, Lehrtätigkeit in Unterrichtsräumen, wissenschaftliches Arbeiten, Untersuchen, Behandeln und Operieren durch Ärzte, Durchführen technischer Berechnungen, Tätigkeit in Funkräumen und Notrufzentralen. 	VDI 2058 Blatt 3 [6]
$L_r > 70 \text{ dB(A)}$	<ul style="list-style-type: none"> ● Geräusche stören und führen zu vegetativen Reaktionen und Leistungsbeeinträchtigungen. ● Grenzwert gilt für einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeiten und vergleichbare Tätigkeiten: z.B. Textverarbeitung, Steuerungsanlagen in geschlossenen Messwarten, Verkaufen, schwierige Feinmontagen. 	VDI 2058 Blatt 3 [6]
$L_r \geq 80 \text{ dB(A)}$	<ul style="list-style-type: none"> ● Kein Einsatz von Schwangeren 	Mutterschutzgesetz [7] § 4, Übereinkommen der Staatlichen Gewerbeärzte

1.2.3 Unfallgefahren

Kein Grenzwert festgelegt: Wird durch Hörprobe (nötigenfalls beim Tragen von Gehörschützern) nach DIN EN ISO 7731 festgestellt, dass im Lärm Gefahrensignale nicht wahrgenommen werden können, sollte gestützt auf § 3 Abs. 3 LärmVibrationsArbSchV mit Maßnahmen der technischen Lärminderung oder, falls dies nicht möglich ist, durch Verbesserung der Signalgeber die Wahrnehmbarkeit für alle Beschäftigten sichergestellt werden.

1.3 Literatur

[1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. (2007) I Nr. 8, S. 261

[2] DIN 45 645 Teil 2: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Geräuschmissionen am Arbeitsplatz. Ausg. 7/1997. Beuth, Berlin 1997

[3] DIN EN ISO 9921: Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation. Ausg. 2/2004. Beuth, Berlin 2004

[4] DIN EN ISO 7731: Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale. Ausg. 2/1999. Beuth, Berlin 2005

[5] VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Ausg. 6/1988. Beuth, Berlin 1988

[6] VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. Ausg. 2/1999. Beuth, Berlin 1999

[7] Gesetz zum Schutz der erwerbstätigen Mutter (Mutterschutzgesetz – MuSchG) vom 20. Juni 2002, BGBl. (2002) I, S. 2318, in der Fassung vom 5. Dezember 2006

2 Vibration

2.1 Einführung und Erläuterung relevanter Grenzwerte in Normen und Verordnungen

Die Gefährdung der Gesundheit durch Vibrationsbelastung*) ist von der Einleitungsstelle in den menschlichen Körper, der Größe der Vibrationseinwirkung und einer sich über Jahre hinweg fortsetzenden täglichen Wiederholung der Vibrationseinwirkung abhängig. Hinsichtlich der Einleitungsstelle der Vibration in den menschlichen Körper werden unterschieden:

- Hand-Arm-Vibrationen; Vibrationseinwirkung über die Hände, z.B. ausgehend von handgehaltenen und handgeführten vibrierenden Werkzeugen, Geräten, Maschinen oder Werkstücken sowie möglicherweise von Bedienelementen an mobilen und stationären Maschinen
- Ganzkörper-Vibrationen; Vibrationseinwirkungen über die Füße (stehend) oder das Gesäß (sitzend), z.B. ausgehend von Fahrzeugen, Erdbaumaschinen, Gabelstaplern oder Traktoren

Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung [1] enthält in der Gruppe der durch physikalische Einwirkungen verursachten Berufskrankheiten (BK) drei Positionen:

- BK 2103 – Erkrankungen durch Erschütterungen bei Arbeiten mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen
- BK 2104 – Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können
- BK 2110 – Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können (siehe auch überarbeitetes Merkblatt zur BK 2110 [2])

Die Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkung (Vibrationen) [3] ist als 16. Einzelrichtlinie zur Rahmenrichtlinie 89/391/EWG über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit [4] veröffentlicht worden. Sie enthält Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte für Hand-Arm-Vibrationen und Ganzkörper-Vibrationen.

Die Richtlinie 2002/44/EG ist national im Bereich des Bergrechts durch die Änderung der Bergverordnung im Jahr 2005 [5; 6] umgesetzt worden, im Übrigen durch die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007, in Kraft getreten am 9. März 2007 [7]. Darin ist gleichlautend mit der EG-Richtlinie für den auf acht Stunden normierten Tagesexpositionswert $A(8)$ der tägliche Expositionsgrenzwert für Hand-Arm-Vibrationen auf $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$ festgesetzt, der tägliche Auslösewert auf $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$.

Für Ganzkörper-Vibrationen bezeichnet $A(8)$ die Tagesexposition. Der auf acht Stunden normierte, tägliche Expositionsgrenzwert ist auf $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$ in x- und y-Richtung und – abweichend von der EG-Richtlinie – auf $A(8) = 0,8 \text{ m/s}^2$ in z-Richtung festgelegt, der tägliche Auslösewert auf $A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$.

Die Exposition der Arbeitnehmer darf die Expositionsgrenzwerte nicht überschreiten.

Wird bei der Gefährdungsbeurteilung festgestellt, dass Auslösewerte überschritten werden, ist ein Programm mit technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung der Expositionen gegenüber Vibrationen sowie der damit verbundenen Risiken auszuarbeiten und durchzuführen. Mit dem Ziel, die Schwingungsbelastung zu verringern, sind zu berücksichtigen: alternative Arbeitsverfahren, die Auswahl geeigneter ergonomischer Arbeitsmittel, die Bereitstellung von Zusatzausrüstungen wie schwingungsdämpfenden Sitzen und geeigneten Gerätehandgriffen, angemessene Wartungsprogramme, Gestaltung und Auslegung der Arbeitsstätten und Arbeitsplätze, angemessene Information und Schulung der Arbeitnehmer, Begrenzung der Dauer und Intensität der Exposition, zweckmäßige Arbeitspläne und ausreichende Ruhezeiten sowie die Bereitstellung von Kleidung für gefährdete Arbeitnehmer zum Schutz vor Kälte und Nässe.

Darüber hinaus ist beim Erreichen oder Überschreiten der Auslösewerte eine Unterweisung der Beschäftigten und eine arbeitsmedizinische Beratung der Beschäftigten sicherzustellen. Eine allgemeine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung ist beim Überschreiten der Auslösewerte dem Beschäftigten anzubieten und beim Erreichen oder Überschreiten der Expositionsgrenzwerte regelmäßig zu veranlassen.

Eine Handlungsanweisung für die arbeitsmedizinische Vorsorge gibt der Berufsgenossenschaftliche Grundsatz G 46 „Belastungen des Muskel- und Skelettsystems einschließlich Vibrationen“ [8].

2.2 Bestimmung von $A(8)$

2.2.1 Bezug zwischen $A(8)$ und Schwingstärke

Die EU-Richtlinie verweist zur Bestimmung des Tagesexpositionswertes $A(8)$ (Tages-Schwingungsbelastung) im Anhang auf die Norm ISO 5349-1 [9] für Hand-Arm-Vibrationen, zur Bestimmung der Tagesexposition $A(8)$ für Ganzkörper-Vibrationen auf die Norm ISO 2631-1 [10]. Beide Normen sind in der Neufassung der VDI-Richtlinie 2057 [11] berücksichtigt. In dieser Neufassung wird der Begriff der Bewerteten Schwingstärke (K-Wert) zugunsten der international üblichen Bezeichnung „Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung“ aufgegeben, der für die Berechnung von $A(8)$ gebraucht wird (Gleichung 7 bis 9). Beide Größen sind über Faktoren ineinander umrechenbar. Die Faktoren betragen für

- Hand-Arm-Vibrationen (für alle drei Messrichtungen):

$$KH = 6,3 \frac{a_{hw}}{\text{m/s}^2} \quad (1)$$

KH = Bewertete Schwingstärke

a_{hw} = Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung

*) In der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung wird der Begriff „Vibrationen“ verwendet, in den Deutschen Normen und VDI-Richtlinien hingegen die Begriffe „Schwingungen“ oder „mechanische Schwingungen“

- Ganzkörper-Vibrationen (getrennt für die Messrichtungen x, y und z) für das Kriterium „Gesundheit“:

$$KX = 28 \frac{a_{wx}}{m/s^2} \quad (2)$$

$$KY = 28 \frac{a_{wy}}{m/s^2} \quad (3)$$

$$KZ = 20 \frac{a_{wz}}{m/s^2} \quad (4)$$

KX, KY, KZ Bewertete Schwingstärke
 a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den jeweiligen Messrichtungen

In der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung wird nicht auf einzelne Normen verwiesen, vielmehr darauf, dass der Stand der Technik zu berücksichtigen ist. Die Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung ist für Hand-Arm- und Ganzkörper-Vibrationen unterschiedlich.

2.2.2 Berechnung der Tagesschwingungsbelastung für Hand-Arm-Vibrationen

Die Messgröße für die Schwingungseinwirkung auf das Hand-Arm-System ist der Schwingungsgesamtwert a_{hv} . Dieser wird aus den Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung der drei Messrichtungen wie folgt bestimmt:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwk}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (5)$$

Sofern nur Werte in der dominierenden Schwingungsrichtung zur Verfügung stehen (z.B. bei älteren Messwerten), kann der Schwingungsgesamtwert a_{hw} entsprechend der VDI 2057-2: 2002 mit den Korrekturfaktoren c nach folgender Gleichung abgeschätzt werden (Tabelle 1):

$$a_{hw} = c \cdot a_{hv} \quad (6)$$

Daraus ergibt sich der Tagesexpositionswert, der auch als Tagesschwingungsbelastung ($a_{hv(8)} = A(8)$) bezeichnet wird, wie folgt:

$$a_{hv(8)} = a_{hv} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \quad (7)$$

mit

T_0 8 h Bezugseinwirkungsdauer

T_e tägliche Einwirkungsdauer in Stunden

a_{hv} Schwingungsgesamtwert für die tägliche Einwirkungsdauer T_e

Setzt sich die Schwingungsbelastung während eines Tages aus n Belastungsabschnitten zusammen (unterschiedliche Geräte bzw. Arbeitsgänge), so berechnet sich $a_{hv(8)}$ wie folgt:

$$a_{hv(8)} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (8)$$

mit

T_0 8 h Bezugseinwirkungsdauer

T_i Einwirkungsdauer des i-ten Belastungsabschnittes, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs in Stunden

a_{hvi} Schwingungsgesamtwert der i-ten Tätigkeit, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs

Tabelle 1: Korrekturfaktoren (Quelle: VDI 2057-2: 2002)

	Beispiele	Korrekturfaktor c
Schlagende Maschinen	Meißelhämmer Aufbruchhämmer Abbauhämmer Nadelentrostler	1,2
Rotierende und oszillierende Maschinen	Bohrhämmer Schlagbohrmaschinen Winkelschleifmaschinen Geradschleifmaschinen Vertikalschleifmaschinen Schwingschleifmaschinen Pneumatische Bohrmaschinen Stichsägen Kreissägen	1,4

2.2.3 Berechnung der Tagesschwingungsbelastung für Ganzkörper-Vibrationen

Die Tagesschwingungsbelastung oder Beurteilungsbeschleunigung $A_1(8)$ wird zunächst in den drei Raumrichtungen $l=\{x, y, z\}$ separat ausgewertet [12]. Bei n Arbeitsgängen ergibt sie sich aus den Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung analog zu Gleichung 8. Zusätzlich wird noch ein richtungsabhängiger Faktor k_l berücksichtigt:

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a_{wli}^2 T_i} \quad (9)$$

mit

T_0 8 h Bezugseinwirkungsdauer

T_i Einwirkungsdauer des i-ten Belastungsabschnittes, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs in Stunden

a_{wli} Schwingungsgesamtwert der i-ten Tätigkeit, z.B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs

$k_x = k_y = 1,4$ Richtungsabhängige Faktoren [7], Kriterium Gesundheit [11]

$k_z = 1,0$

Nach VDI 2057-1: 2002 [11] ist für das Beurteilungskriterium Gesundheit bei der Berechnung der Beurteilungsbeschleunigung für den (vorwiegend) sitzenden Menschen für die einzelnen Messrichtungen der richtungsabhängige Faktor $k_z = 1$ in der Messrichtung z, der richtungsabhängige Faktor $k_x = k_y = 1,4$ in den Messrichtungen x und y zu berücksichtigen. Damit sind die Werte der Tagesexposition $A(8)$ in den einzelnen Messrichtungen nach EU-Richtlinie für diesen Fall zahlgleich mit den Beurteilungsbeschleunigungen $a_{w(8)}$ in den jeweiligen Messrichtungen nach VDI 2057-1: 2002 [11].

Bei einer beliebigen täglichen Einwirkdauer T_e ergibt sich der energieäquivalente Mittelwert der frequenzbewerteten Beschleunigung in l-Richtung zu

$$a_{we,l} = k_l \sqrt{\frac{1}{T_e} \sum_{i=1}^n a_{wli}^2 T_i} \quad (10)$$

und damit

$$a_{w(8)} = a_{we} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \quad (11)$$

Um einen Richtwert zur Beurteilung heranziehen zu können, wird die Tages-Schwingungsbelastung (in der EU-Richtlinie mit Tagesexposition bezeichnet) $A(8)$ eingeführt. $A(8)$ ist der Höchstwert der Belastung für die drei Messrichtungen x, y und z:

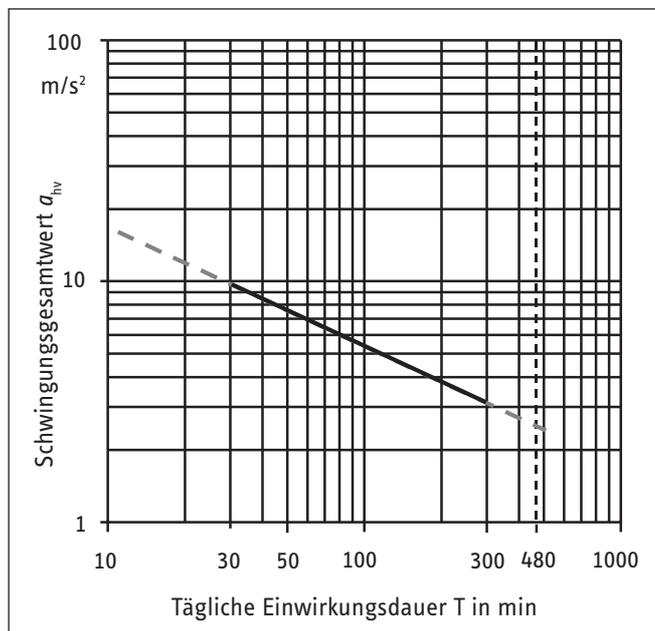
$$A(8) = \max [A_x(8), A_y(8), A_z(8)]$$

2.3 Richtwertkurven für die Prävention

2.3.1 Richtwertkurve Hand-Arm-Vibrationen

Entlang der in Abbildung 1 gezeigten Richtwertkurve gilt $a_{hv(8)}(a_{hv}, T_e) = 2,5 \text{ m/s}^2$ (Gleichung 7). Bei Belastungen, gekennzeichnet durch Wertepaare a_{hv} und T_e , die oberhalb der Richtwertkurve liegen, werden Präventionsmaßnahmen empfohlen.

Abbildung 1:
Richtwertkurve als Grundlage für die Prävention in Abhängigkeit vom Schwingungsgesamtwert und der täglichen Einwirkdauer (Quelle: VDI 2057-2:2002)



Hilfestellungen zur Abschätzung der Einwirkdauer bei der Benutzung einzelner Arbeitsmaschinen enthält DIN V 45694 [13].

2.3.2 Richtwertkurve Ganzkörper-Vibrationen

Gegenüber der bisherigen Richtwertkurve in VDI 2057-3 [15] wird für Ganzkörper-Vibrationen entsprechend ISO 2631-1:1997 in der Neufassung der VDI 2057-1:2002 ein Bereich möglicher Gesundheitsgefährdung definiert (Abbildung 2).

Oberhalb der Richtwertkurve 1 mit $a_{wz(8)} = 0,45 \text{ m/s}^2$ kann von einer möglichen Gefährdung, bei Belastungen oberhalb der Richtwertkurve 2 mit $a_{wz(8)} = 0,8 \text{ m/s}^2$ von einer deutlichen Gefährdung ausgegangen werden. Der letztgenannte Wert liegt unterhalb des Expositionsgrenzwertes für Ganzkörper-Vibrationen nach der EU-Richtlinie 2002/44/EG, für die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung gilt diese Aussage für die horizontalen Schwingungsrichtungen x und y.

Für die Vibrationseinwirkung in Gebäuden (Neuanlagen) gab das bisherige Blatt 4.1 der VDI 2057:1987 Anhaltswerte¹ für die Arbeitsplatzgestaltung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anforderungen. Die vorgeschlagenen Werte sollen unter Nutzung der früher genannten Umrechnungsfaktoren weiter bestehen bleiben. Tabelle 1 der VDI 2057-3:2006 gibt diese umgerechneten Werte wieder. Diese Tabelle ist im Folgenden als Tabelle 2 aufgenommen. Weil es sich um Werte zum Kriterium „Schwingungswahrnehmung und Wohlbefinden“ handelt, werden die Werte a_{wx} , a_{wy} für die horizontalen Schwingungsrichtungen nicht mit dem Faktor 1,4, sondern mit 1,0 multipliziert, um zu a_{we} zu kommen.¹

In einigen Sonderbereichen, z.B. Schmieden und Gießereien, ist die Einhaltung dieser Anhaltswerte derzeit bei Anwendung des Standes der Schwingungsschutztechnik nicht immer möglich.

2.4 Einfaches Verfahren zur Gefährdungsanalyse

2.4.1 Punktwerte für Hand-Arm-Vibrationen

Das Verfahren nach DIN V 45694 [13] verwendet Punktwerte P_E für die Schwingungsbelastung aus dem Schwingungsgesamtwert a_{hv} einzelner Arbeitsmaschinen oder Arbeitsaufgaben, hier äquivalenter Schwingungsgesamtwert $a_{hv,eq}$ genannt, und der dazugehörigen Einwirkdauer T_e (Exposition). Diese Punktwerte können aus Tabelle 3 (siehe Seite 150) abgelesen werden.

Bei mehreren Schwingungseinwirkungen, d.h. Benutzung von zwei oder mehr Maschinen oder Arbeitsprozessen an einem Tag, kann der Punktwert P_{Etot} der Gesamt-Schwingungsbelastung infolge aller n Teilbelastungen durch einfache Addition der Punktwerte P_{Ei} jeder betrachteten Schwingungseinwirkung i bestimmt werden.

Zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung wird der Punktwert der Gesamt-Schwingungsbelastung dem Expositionsbereich zugeordnet (siehe Tabelle 4 auf Seite 151). Die entsprechend der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom Arbeitgeber geforderten Maßnahmen sind ebenfalls in der Tabelle 4 aufgeführt.

¹ Die genannten Anhaltswerte beziehen sich ausdrücklich nicht auf Gesundheitsgefährdungen

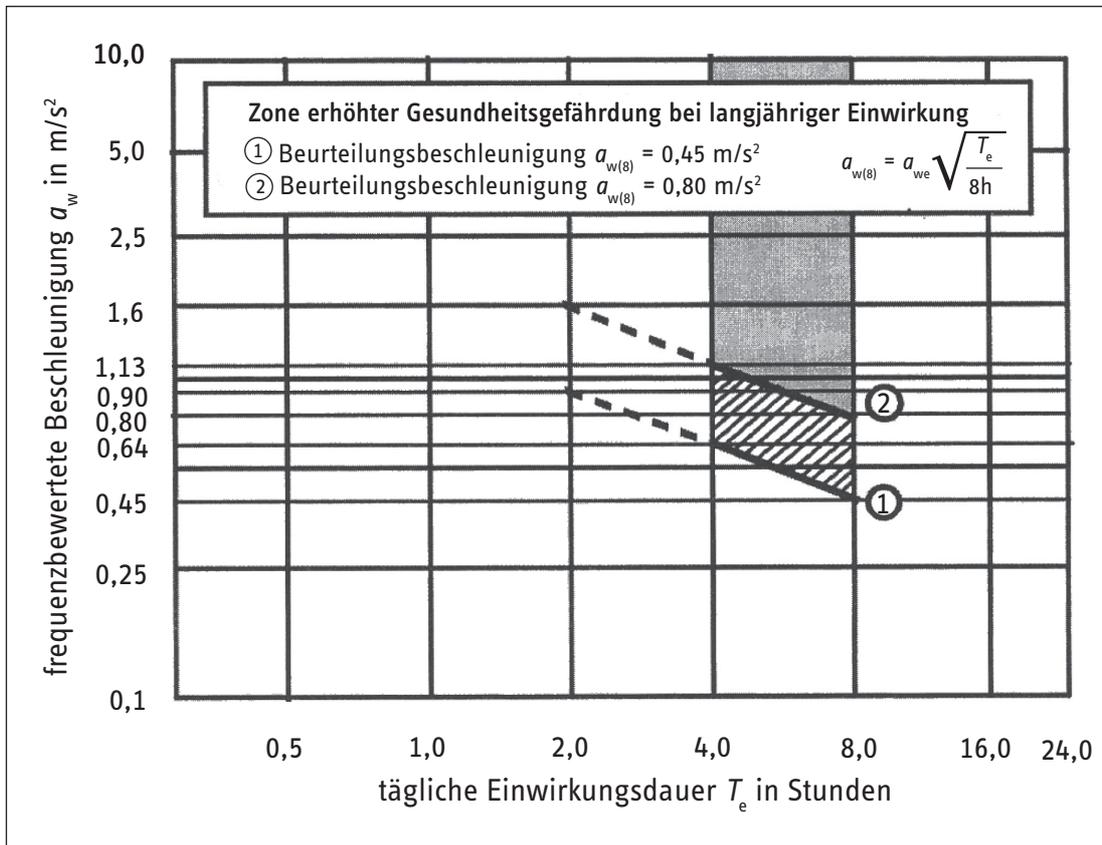


Abbildung 2: Gesundheitsgefährdung in Abhängigkeit vom Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung und der täglichen Einwirkungsdauer; die dargestellte Beziehung sagt nicht das Risiko für ein bestimmtes Individuum voraus, das zu einer Gruppe von Personen gehört, die derselben Schwingungsbelastung ausgesetzt sind (VDI 2057-1:2002)

Tabelle 2: Anhaltswerte in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anforderungsarten (bezieht sich nicht auf Gesundheitsgefährdungen)

Einwirkungsorte	In x-, y-, z-Richtung jeweils		
	a_{we} in m/s^2	$a_{w(8)}$ in m/s^2	$\max. \{a_{wF}(t)\}$ in m/s^2
Erholungsräume, Ruheräume, Sanitätsräume (evtl. auch Aufenthaltsräume)	0,01		0,03
Arbeitsplätze mit hohen Anforderungen an die Feinmotorik (z.B. Forschungslabor)	0,015		0,015
Arbeitsplätze mit überwiegend geistiger Tätigkeit (z.B. Schaltwarten, Büroräume)		0,015	0,045
Arbeitsbereiche mit erhöhter Aufmerksamkeit (z.B. Werkstätten)		0,04	0,12
Arbeitsbereiche mit einfachen oder überwiegend mechanischen Tätigkeiten		0,08	
Sonstige Arbeitsbereiche		0,15	

Tabelle 3:

Bestimmung der gerundeten Punktwerte P_E der Schwingungsbelastung aus dem äquivalenten Schwingungsgesamtwert und der zugehörigen Einwirkungsdauer nach Richtlinie 2002/44/EG [3] – Hand-Arm-Vibrationen

Äquivalenter Schwingungsgesamtwert $a_{hv, eq}$ m/s ²	Einwirkungsdauer T									
	0.1 h	0.2 h	0.5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h
	6 min	12 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min	480 min
2.5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100
3	2	4	9	18	36	54	72	90	108	144
3.5	2	5	12	25	49	74	98	123	147	196
4	3	6	16	32	64	96	128	160	192	256
4.5	4	8	20	41	81	122	162	203	243	324
5	5	10	25	50	100	150	200	250	300	400
5.5	6	12	30	61	121	182	242	303	363	484
6	7	14	36	72	144	216	288	360	432	576
6.5	8	17	42	85	169	254	338	423	507	676
7	10	20	49	98	196	294	392	490	588	784
7.5	11	23	56	113	225	338	450	563	675	900
8	13	26	64	128	256	384	512	640	768	1024
8.5	14	29	72	145	289	434	578	723	867	1156
9	16	32	81	162	324	486	648	810	972	1296
9.5	18	36	90	181	361	542	722	903	1083	1444
10	20	40	100	200	400	600	800	1000	1200	1600
10.5	22	44	110	221	441	662	882	1103	1323	1764
11	24	48	121	242	484	726	968	1210	1452	1936
11.5	26	53	132	265	529	794	1058	1323	1587	2116
12	29	58	144	288	576	864	1152	1440	1728	2304
12.5	31	63	156	313	625	938	1250	1563	1875	2500
13	34	68	169	338	676	1014	1352	1690	2028	2704
13.5	36	73	182	365	729	1094	1458	1823	2187	2916
14	39	78	196	392	784	1176	1568	1960	2352	3136
14.5	42	84	210	421	841	1262	1682	2103	2523	3364
15	45	90	225	450	900	1350	1800	2250	2700	3600
15.5	48	96	240	481	961	1442	1922	2403	2883	3844
16	51	102	256	512	1024	1536	2048	2560	3072	4096
16.5	54	109	272	545	1089	1634	2178	2723	3267	4356
17	58	116	289	578	1156	1734	2312	2890	3468	4624
17.5	61	123	306	613	1225	1838	2450	3063	3675	4900
18	65	130	324	648	1296	1944	2592	3240	3888	5184
18.5	68	137	342	685	1369	2054	2738	3423	4107	5476
19	72	144	361	722	1444	2166	2888	3610	4332	5776
19.5	76	152	380	761	1521	2282	3042	3803	4563	6084
20	80	160	400	800	1600	2400	3200	4000	4800	6400

2.4.2 Punktwerte für Ganzkörper-Vibrationen

Ein ähnliches Verfahren zur Gefährdungsanalyse mithilfe von Punktwerten existiert auch für Ganzkörper-Vibrationen [14]. Ausgangsgrößen zur Bestimmung der Tagesexposition sind hier die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei Schwingungsrichtungen x, y, z und die zugehörige Einwirkungsdauer T_e . Bei Ganzkörper-Vibrationen sind jedoch die für die Schwingungsrichtung z einerseits und die Schwingungsrichtungen x und y andererseits unterschiedlichen Expositionsgrenzwerte zu beachten.

Auch bei Ganzkörper-Vibrationen wird der Auslösewert $0,5 \text{ m/s}^2$ mit dem Punktwert 100 verknüpft. Für den Expositionsgrenzwert $0,8 \text{ m/s}^2$ für die z-Schwingungsrichtung ergibt sich damit ein Punktwert von 256, für den Expositionsgrenzwert $1,15 \text{ m/s}^2$ für die Schwingungsrichtungen x und y ein Punktwert von 529. Für die Nutzung eines einzelnen Fahrzeuges oder einer einzelnen Arbeitsmaschine können die zu den Beschleunigungswerten (ggf. unter Berücksichtigung des Faktors $k_{x,y} = 1,4$ wie oben angegeben) zugehörigen Punktwerte unter Berücksichtigung der Einwirkungsdauer aus Tabelle 5 (siehe Seite 152) abgelesen und miteinander verglichen werden. Tabelle 6 (siehe Seite 153) unterstützt die Beurteilung und führt erforderliche Maßnahmen auf.

Bei mehreren Schwingungseinwirkungen durch Nutzung mehrerer Maschinen an einem Tag gelangt man auch für Ganzkörper-Vibrationen über die Addition der Einzelpunktwerte P_{Ei} zu einem Ergebnis für die Summenpunktzahl P_{Etot} (Tabelle 6). Daraus ergeben sich die erforderlichen Maßnahmen.

Tabelle 4:
Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber aufgrund von Hand-Arm-Schwingungsbelastung nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [3]

Punktwert P_{Etot} der Gesamtschwingungsbelastung	Tagesexpositionswert $A(8)$	Expositionsbereich	Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber
$P_{Etot} < 100$	$A(8) < 2,5 \text{ m/s}^2$	Auslösewert nicht überschritten	Es sind angemessene Maßnahmen zu ergreifen, das Risiko durch die Schwingungsbelastung auf ein Minimum zu verringern. Informationen über die Schwingungen und Training des richtigen Arbeitsverhaltens sind den Beschäftigten bereitzustellen.
$P_{Etot} = 100$	$A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$	Auslösewert erreicht	Beschäftigte sind über Gesundheitsgefährdungen zu unterweisen.
$100 < P_{Etot} < 400$	$2,5 \text{ m/s}^2 < A(8) < 5 \text{ m/s}^2$	Über dem Auslösewert, aber unter dem Expositionsgrenzwert	Zusätzlich zur Unterweisung ist ein Aktionsprogramm zur Verringerung der Exposition durch Vibrationen durchzuführen. Den Beschäftigten ist eine Vorsorgeuntersuchung nach G 46 [8] anzubieten und eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung ist sicherzustellen.
$400 \leq P_{Etot}$	$5 \text{ m/s}^2 \leq A(8)$	Expositionsgrenzwert erreicht oder überschritten	Die Schwingungsbelastung ist unverzüglich unter den Grenzwert abzusenken. Regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen nach G 46 [8] sind zu veranlassen.

Weiterführende Informationen sowie ein Kennwertrechner können von der Internetseite des BGIA unter www.dguv.de/bgia Webcode d4691 abgerufen werden.

Tabelle 5:

Bestimmung der Punktwerte P_E der Schwingungsbelastung aus dem äquivalenten Schwingungsgesamtwert und der zugehörigen Einwirkungsdauer nach Richtlinie 2002/44/EG [3] – Ganzkörper-Vibrationen

Äquivalenter Vibrations- wert $a_{we} = k \cdot a_{w,eq}$ [m/s ²]	Expositionszeit T									
	0.1 h	0.2 h	0.5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h
	6 min	12 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min	480 min
0,45	1	2	5	10	20	30	41	51	61	81
0,5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100
0,55	2	3	8	15	30	45	61	76	91	121
0,6	2	4	9	18	36	54	72	90	108	144
0,65	2	4	11	21	42	63	85	106	127	169
0,7	2	5	12	25	49	74	98	123	147	196
0,75	3	6	14	28	56	84	113	141	169	225
0,8	3	6	16	32	64	96	128	160	192	256
0,85	4	7	18	36	72	108	145	181	217	289
0,9	4	8	20	41	81	122	162	203	243	324
0,95	5	9	23	45	90	135	181	226	271	361
1,00	5	10	25	50	100	150	200	250	300	400
1,05	6	11	28	55	110	165	221	276	331	441
1,1	6	12	30	61	121	182	242	303	363	484
1,15	7	13	33	66	132	198	265	331	397	529
1,2	7	14	36	72	144	216	288	360	432	576
1,25	8	16	39	78	156	234	313	391	469	625
1,3	8	17	42	85	169	254	338	423	507	676
1,35	9	18	46	91	182	273	365	456	547	729
1,4	10	20	49	98	196	294	392	490	588	784
1,45	11	21	53	105	210	315	421	526	631	841
1,5	11	23	56	113	225	338	450	563	675	900
1,55	12	24	60	120	240	360	481	601	721	961
1,6	13	26	64	128	256	384	512	640	768	1024
1,65	14	27	68	136	272	408	545	681	817	1089
1,7	14	29	72	145	289	434	578	723	867	1156
1,75	15	31	77	153	306	459	613	766	919	1225
1,8	16	32	81	162	324	486	648	810	972	1296
1,85	17	34	86	171	342	513	685	856	1027	1369
1,9	18	36	90	181	361	542	722	903	1083	1444
1,95	19	38	95	190	380	570	761	951	1141	1521
2	20	40	100	200	400	600	800	1000	1200	1600
2,05	21	42	105	210	420	630	841	1051	1261	1681
2,1	22	44	110	221	441	662	882	1103	1323	1764
2,15	23	46	116	231	462	693	925	1156	1387	1849
2,2	24	48	121	242	484	726	968	1210	1452	1936
2,25	25	51	127	253	506	759	1013	1266	1519	2025
2,3	26	53	132	265	529	794	1058	1323	1587	2116
2,35	28	55	138	276	552	828	1105	1381	1657	2209
2,4	29	58	144	288	576	864	1152	1440	1728	2304
2,45	30	60	150	300	600	900	1201	1501	1801	2401
2,5	31	63	156	313	625	937	1250	1563	1875	2500

Tabelle 6:
Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber aufgrund von Schwingungsbelastung
nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [3]

Schwingungsrichtung z		Schwingungsrichtungen x, y (incl. Faktor 1,4)		Expositionsbereich	Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber
Punkt看wert der Gesamtschwingungsbelastung	Tagesexposition A(8)	Punkt看wert der Gesamtschwingungsbelastung	Tagesexposition		
$P_{E\text{ tot}} < 100$	$A(8) < 0,5 \text{ m/s}^2$		$A(8) < 0,5 \text{ m/s}^2$	Auslösewert nicht überschritten	Wenn Ergebnisse nahe Auslösewert, angemessene Maßnahmen zur Senkung der Risiken durch Vibrationseinwirkung auf ein Minimum und Bedienern Informationen und Schulung zur Vibrationsminderung bereitstellen.
$P_{E\text{ tot}} = 100$	$A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$	$P_{E\text{ tot}} = 100$	$A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$	Auslösewert erreicht	Beschäftigte sind über Gesundheitsgefährdungen zu unterweisen.
$100 < P_{E\text{ tot}} < 256$	$0,5 \text{ m/s}^2 < A(8) < 0,8 \text{ m/s}^2$	$100 < P_{E\text{ tot}} < 529$	$0,5 \text{ m/s}^2 < A(8) < 1,15 \text{ m/s}^2$	Auslösewert überschritten, aber unter dem Expositionsgrenzwert	Zusätzlich zur Unterweisung ist ein Aktionsprogramm zur Verringerung der Exposition durch Vibrationen durchzuführen. Den Beschäftigten ist eine Vorsorgeuntersuchung nach G 46 [8] anzubieten und eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung ist sicherzustellen.
$P_{E\text{ tot}} \geq 256$	$A(8) > 0,8 \text{ m/s}^2$			Expositionsgrenzwert überschritten	Unmittelbare Maßnahmen zur Senkung der Einwirkung unter den Expositionsgrenzwert notwendig. Regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen nach G 46 [8] sind zu veranlassen.
			$P_{E\text{ tot}} \geq 529$		

2.5 Literatur

- [1] Berufskrankheiten-Verordnung (BeKV) vom 31. Oktober 1997. BGBl. I, S. 2623, in der Fassung vom 5. September 2002, BGBl. I, S. 3541
- [2] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2110 Anlage 1 Berufskrankheiten-Verordnung (BeKV) vom 1. Juni 2005. BARbBl. (2000) Nr. 7, S. 43
- [3] Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen) (16. Einzelrichtlinie im Sinne des § 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EG Nr. L 177, S. 13
- [4] Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juli 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit. ABl. EG Nr. L 183, S. 1
- [5] Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung – GesBergV) vom 31. Juli 1991. BGBl. I, S. 1751
- [6] Zweite Verordnung zur Änderung bergrechtlicher Verordnungen vom 10. August 2005. BGBl. I, S. 2452. Darin: Artikel 1: Änderung der Allgemeinen Bundesbergverordnung vom 23. Oktober 1995. BGBl. I, S. 1466; Artikel 2: Änderung der Gesundheitsschutz-Bergverordnung vom 31. Juli 1991. BGBl. I, S. 1751
- [7] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen – Lärm- und Vibrations-Arbeitschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I, S. 261
- [8] Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen. Gentner-Verlag, Stuttgart 2007, S. 815-832
- [9] DIN EN ISO 5349: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1: 2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1: 2001. Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2: 2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2: 2001. Beuth, Berlin 2001
- [10] ISO 2631-1: 1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements
- [11] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen.
Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen. Ausg. 9/2002. Beuth, Berlin 2002
Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen. Ausg. 9/2002. Beuth, Berlin 2002
Blatt 3: Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden. Ausg. 6/2006. Beuth, Berlin 2006
- [12] DIN EN 14253: Mechanische Schwingungen – Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit – Praxisgerechte Anleitung, Deutsche Fassung EN 14253:2003
- [13] DIN V 45694: Mechanische Schwingungen – Anleitung zur Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen aus Angaben zu den benutzten Maschinen einschließlich Angaben von den Maschinenherstellern (CEN/TR 15350:2006). Ausgabe: 2006-07
- [14] http://bb.osha.de/docs/GKV_Tafel.pdf
- [15] VDI 2057:1987 Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen.
Blatt 1: Grundlagen, Gliederung, Begriffe (Mai 1987)
Blatt 2: Bewertung (Mai 1987)
Blatt 3: Beurteilung (Mai 1987)
Blatt 4.1: Messung und Beurteilung von Arbeitsplätzen in Gebäuden (Mai 1987)
Blatt 4.2: Messung und Bewertung von Arbeitsplätzen auf Landfahrzeugen (Mai 1987)
Blatt 4.3: Messung und Beurteilung für Wasserfahrzeuge (Mai 1987). Beuth, Berlin 1987

3 Thermische Belastungen

3.1 Klimatische Belastungen

3.1.1 Erläuterungen

Klimatische Belastungen (Klimaempfinden) des menschlichen Körpers werden hauptsächlich durch die Arbeitsschwere (Arbeitsenergieumsatz), die Bekleidung sowie durch die Klimafaktoren Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung u.a. beeinflusst. Hohe Umgebungstemperaturen, hohe Luftfeuchten, intensive Wärmestrahlung oder verschiedene gleichzeitig einwirkende Belastungsfaktoren stören das Klimaempfinden. Sie können das unter idealen Klimabedingungen vorhandene Gleichgewicht zwischen Wärmezufuhr und Wärmeabgabe des menschlichen Körpers verschieben. Gerät der Wärmehaushalt des Menschen aus dem Gleichgewicht, so führt dies zu einer erhöhten Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems. Als Folge dieser erhöhten Beanspruchung können kurzzeitige Störungen (z.B. Kreislaufstörungen, Unwohlsein) oder bei länger andauernder Belastung Erkrankungen auftreten. Bei extremen Klimabedingungen können die Belastungen sogar zum Kreislaufversagen und, sofern nicht unverzüglich eingegriffen wird, zum Tode führen.

Der menschliche Körper kann sich je nach Arbeitsenergieumsatz in gewissen Grenzen wechselnden Zuständen des Umgebungs-klimas anpassen. Innerhalb dieser Grenzen gibt es einen sogenannten „Behaglichkeitsbereich“, in dem er sich am wohlsten fühlt. Dieser Bereich lässt sich allerdings nicht streng begrenzen, da eine ganze Reihe von Einflussfaktoren zu berücksichtigen ist. Neben den Klimaparametern wird die Behaglichkeit auch von weiteren Faktoren beeinflusst wie z.B. Umschließungs-flächentemperatur (Wärmeaustausch über Strahlung), Kleidung, Geschlecht, Alter, Jahreszeit, Beleuchtung, Gerüche, Stresssituationen, Nahrungsaufnahme oder physisches sowie psychisches Wohlbefinden.

Bei der Bewertung der klimatischen Belastung an Arbeitsplätzen stehen neben den Klimaparametern insbesondere die Faktoren Arbeitsschwere, Kleidung und Aufenthaltsdauer im Vordergrund.

3.1.2 Klimabereiche und Grenzbetrachtungen

Arbeitsplätze können in vier Klimabereiche eingeteilt werden [1; 2]:

- Kältebereich
- Behaglichkeitsbereich
- Warmbereich (früher Erträglichkeitsbereich)
- Hitzebereich (früher Unerträglichkeitsbereich)

Der Behaglichkeitsbereich beschreibt die Klimaanforderungen und Belastungssituation, die üblicherweise an Arbeitsplätzen vorliegen sollen. Er ist als weitgehend thermisch neutraler Bereich anzusehen. Der Wärmeaustausch zwischen dem menschlichen Körper und der Umgebung steht hier im Gleichgewicht und im Idealfall sind Wärmezu- und -abfuhr ausgeglichen.

Im Warmbereich liegen Belastungssituationen und/oder klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben und Beanspruchungen des Herz-Kreislauf-Systems führen und bei längeren Einwirkungen zu Störungen des Klimaempfindens führen. Der Warmbereich beschreibt somit Belastungssituationen, die nicht unmittelbar zu gesundheitlichen Schäden führen, jedoch die Leistungsfähigkeit des Menschen herabsetzen. Durch entsprechende Arbeitspausen, regelmäßigen Ausgleich des Flüssigkeitsverlustes (ggf. verbunden mit der Zuführung von Mineralstoffen), Wahl angemessener Kleidung usw. können die körperliche Belastung gemindert bzw. die Leistungsfähigkeit erhalten und gesundheitliche Probleme in der Regel ausgeschlossen werden.

Tätigkeiten im Kältebereich oder im Hitzebereich sind auf das absolute Mindestmaß zu begrenzen. Personen, die sich in diesen Bereichen aufhalten, müssen einer arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung nach BGI 504-21 [3] bzw. BGI 504-30 [4] unterzogen werden. In bestimmten Fällen sind bei Arbeiten unter hohen Temperaturen bzw. Hitzebelastungen oder in bestimmten Regionen Tropentauglichkeitsuntersuchungen erforderlich.

3.1.3 Klimabewertung

3.1.3.1 Thermoregulation des Menschen

Die wichtigsten inneren Organe des Menschen sind nur in einem Temperaturbereich um 37 °C funktionsfähig. Das Thermoregulationssystem des Menschen verfügt über Mechanismen, die für die Konstanz der Körperkerntemperatur sorgen. Beim gesunden Menschen werden diese Mechanismen durch den Stoffwechsel (Energieumsatz) und durch äußere Einflüsse (Umgebungs-klima) bestimmt und können nur in engen Grenzen für eine Thermoregulation sorgen. Wichtig für die Thermoregulation sind

- der Gesamtenergieumsatz,
- die Dauer der Belastung und
- die Art der Bekleidung.

Gesamtenergieumsatz

Die innere Wärmeproduktion eines Menschen ist u.a. abhängig vom Stoffwechsel. Bei völliger Ruhe hat der erwachsene Mensch einen Grundumsatz von ca. 0,8 met (1 met = 58 Watt pro m² Körperoberfläche). Der Stoffwechsel wird durch jegliche Aktivitäten erhöht. Zum Beispiel beträgt der Gesamtenergieumsatz bei Schwerarbeit an Maschinen 2,8 met oder 162,4 W/m², bei Schwerstarbeit sind Spitzenbelastungen von > 230 W/m² (4 met) möglich.

Bekleidung

Neben dem Gesamtenergieumsatz ist die Bekleidung entscheidend für das thermische Empfinden. Dabei sind die Wärmeisolation (Schutz gegen niedrige Temperaturen) der Kleidung und der Wärmeleitwiderstand (Wärmetransport zwischen Haut und Umgebung) der Kleidung bedeutend.

Der Wärmeleitwiderstand der Kleidung wird als Relativmaß in „clo“ (clothing value; 1 clo = 0,155 m² · K/W) angegeben.

3.1.3.2 Behaglichkeits-/Warmbereich

An Arbeitsplätzen ohne besondere Belastungen und mit leichter Tätigkeit (z.B. Büroarbeitsplätze) sind folgende Grenzbereiche für die Klimafaktoren zu berücksichtigen.

Lufttemperatur:

20 bis 26 °C, bei hohen Außentemperaturen im Sommer auch darüber

relative Luftfeuchte:

30 bis 70 %

Luftgeschwindigkeit:

kleiner 0,15 m/s, aber Luftbewegung

Eine einfache Bewertung des Klimas im Behaglichkeits- und Warmbereich, ohne großen Messaufwand, kann mithilfe der BGI 5012 „Beurteilung des Raumklimas – eine Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen“ [5] erfolgen. Hierzu müssen lediglich sieben Fragen beantwortet werden. Auch können die Klimadaten vor Ort in einen Klimagraphen eingetragen werden. Das Ergebnis zeigt direkt, ob sich Handlungsbedarf zum Raumklima ergibt. Dabei handelt es sich um eine recht grobe Abschätzung. Sollten detaillierte Informationen benötigt werden, müssen Experten hinzugezogen werden.

In Arbeitsräumen mit höheren inneren Wärmebelastungen oder bei erhöhter körperlicher Belastung (Arbeitsschwere bzw. Energieumsatz) sind weitere Ermittlungen zur Klimabewertung nach den o.g. Richtlinien erforderlich.

Für eine umfassende Bewertung der Behaglichkeit wird der PMV- und der PPD-Index zugrunde gelegt (PMV = predicted mean vote; dt: Vorausgesagtes Mittleres Votum; PPD = predicted percentage of dissatisfied; dt: Vorausgesagter Anteil Unzufriedener). Diese aus empirischen Untersuchungen ermittelten Indizes werden aus den Kombinationen der Klimaparameter und dem Wärmedurchgang der Kleidung ermittelt. Bei einem Wert für PMV = 0 wird das Klima in der Regel vom Menschen als thermisch neutral (behaglich) empfunden (siehe Tabelle 1).

Die Berechnung dieser Werte erfolgt nach DIN EN ISO 7730 [6].

Es gibt keinen Zustand des Raumklimas, mit dem alle Personen zufrieden sind. Der minimale PPD-Index liegt daher bei 5 % Unzufriedenheit, d.h., 5 % der befragten Personen sind mit der Klimasituation unzufrieden. In einem informativen Anhang der Norm DIN EN ISO 7730 werden drei Kategorien für den PPD-Index beschrieben. In der mittleren Kategorie (B) wird ein PPD-Index von 10 % oder

- 0,5 < PMV < + 0,5

beschrieben.

Tabelle 1:
Bewertung der Behaglichkeit mithilfe des PMV- und des PPD-Index

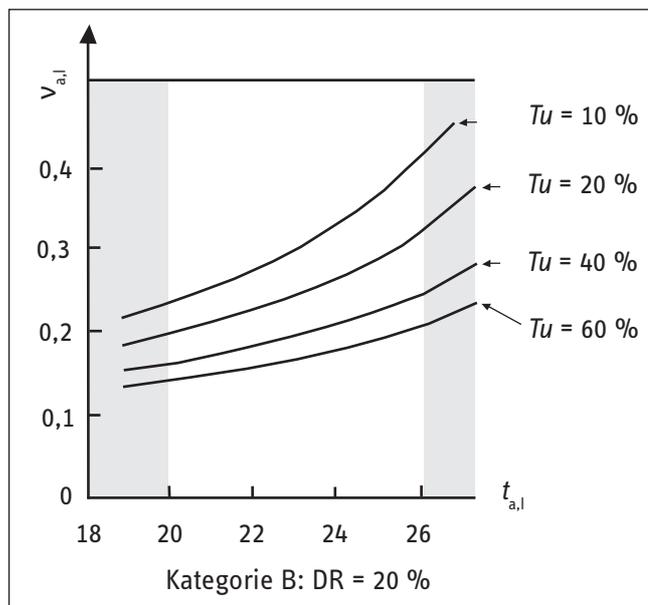
PMV	+ 3	+ 2	+ 1	+ 0,5	0	- 0,5	- 1	-2	-3
Empfinden	heiß	warm	leicht warm		neutral		leicht kühl	kühl	kalt
PPD in %	99	75	25	10	5	10	25	75	99

Der PMV- und der PPD-Index berücksichtigen den Einfluss des Raumklimas auf den gesamten Körper (mittleres Körperempfinden). Wenn Teile des Körpers jedoch unterschiedlichen klimatischen Belastungen ausgesetzt sind, kann ein lokales Unbehagen auftreten, z.B. bei kalten oder zu warmen Fußböden. Die DIN EN ISO 7730 enthält Anforderungen an die lokale thermische Behaglichkeit. Die folgenden Empfehlungen entsprechen der Kategorie B:

Zugluft

Zugluft bewirkt eine unerwünschte lokale Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung. Ein Bewertungsmaßstab für das Empfinden von Zugluft in Abhängigkeit von der Raumtemperatur ist der sogenannte „Turbulenzgrad“ (siehe Abbildung 1). Je geringer der Turbulenzgrad, desto geringer ist das Zugempfinden durch die Raumluftströmung. In Räumen mit Mischstrom-Luftverteilung darf der Turbulenzgrad von 30 bis 60 % schwanken. In Räumen mit Verdrängungslüftung oder ohne maschinelle Lüftung darf der Turbulenzgrad geringer sein.

Abbildung 1:
Höchstzulässige mittlere Luftgeschwindigkeit als Funktion der Lufttemperatur und des Turbulenzgrades vor Ort [6]



$t_{a,l}$ lokale Temperatur, in °C
 $v_{a,l}$ lokale mittlere Luftgeschwindigkeit, in m/s
 Tu Intensität der Turbulenzen

Vertikaler Lufttemperaturunterschied

Die Differenz der Lufttemperatur zwischen Kopf und Füßen soll 3 °C nicht überschreiten („kühler Kopf und warme Füße“).

Fußbodentemperatur

Sowohl zu warme als auch zu kalte Fußböden werden als unbehaglich empfunden. Die Fußbodentemperatur soll zwischen 19 und 29 °C liegen.

Asymmetrie der Strahlungstemperatur

Differenzen bei den Temperaturen der Umschließungsflächen (z.B. kalte Fensterflächen, warme Decken) können zum lokalen Unbehagen führen. Die Differenz zwischen Decken- und Raumtemperatur sollte maximal bei 5 °C liegen, diejenige zwischen kalten Fenstern und Raumtemperatur bei maximal 10 °C.

Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte hat bei gemäßigten Temperaturen von 20 bis 26 °C in der Regel nur einen geringen Einfluss auf das Temperaturempfinden (Behaglichkeit). Laut DIN EN 13779 [7] entstehen in diesem Temperaturbereich in der Regel keine Probleme, wenn die relative Feuchte zwischen 30 und 70 % liegt. Entsprechend Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung [8] soll beim Einsatz Lüftungstechnischer Anlagen die relative Luftfeuchte die folgenden Werte nicht überschreiten:

Lufttemperatur in °C	relative Luftfeuchte in %
20	80
22	70
24	62
26	55

Liegen die Werte für die relative Luftfeuchte darüber, wird das Klima als schwül empfunden. Als untere Grenze empfiehlt die DIN EN 13779 eine relative Luftfeuchte von 30 %. Bei Beschwerden über zu trockene Luft ist zu berücksichtigen, dass die Ursache häufig in Staub oder anderen Verschmutzungen in der Luft zu suchen ist. Auch zu hohe Raumtemperaturen und/oder Außenluftvolumenströme können Auslöser sein. Vor einer Luftbefeuchtung sollten daher alle anderen Ursachen ausgeschlossen werden.

Operative Temperatur

Die operative Temperatur beschreibt die gleichmäßige Temperatur eines imaginären schwarzen Raumes, in dem eine Person die gleiche Wärmemenge durch Strahlung und Konvektion austauschen würde wie in der bestehenden nicht gleichmäßigen Umgebung. Abbildung 2 zeigt für Kategorie B die optimale operative Temperatur und den zulässigen Temperaturbereich als Funktion der Bekleidung und der Aktivität.

3.1.3.3 Hitzebelastungen

Eine einfache Bewertung für den Hitzebereich kann mithilfe der BGI 899 „Beurteilung von Hitzearbeit – eine Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen“ [9] erfolgen. Anhand weniger Fragen kann die Belastung abgeschätzt werden.

Eine umfassende Bewertung der Hitzebelastungen durch konvektive Wärme, Wärmestrahlung oder bei konvektiver Wärme in Verbindung mit Wärmestrahlung erfolgt nach DIN 33403 Teil 3 [10].

Nach Ermittlung der Belastungsgrößen sind die Grenzbereiche für zulässige Hitzeexpositionen aus den Diagrammen der DIN 33403 Teil 3 zu entnehmen. Überschreiten die Belastungsgrößen die jeweiligen Grenzbereiche, so sind Maßnahmen zur Minderung der Belastung erforderlich (siehe BGI 579 „Hitzearbeit: Erkennen – Beurteilen – Schützen“) [11].

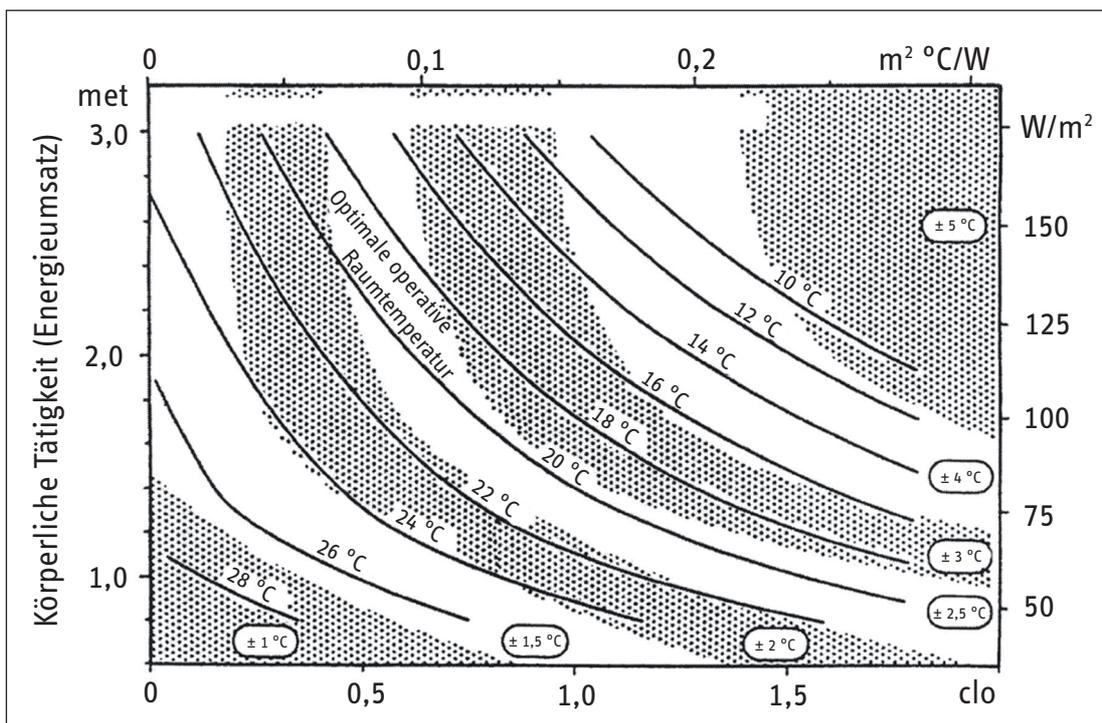


Abbildung 2:
Optimale operative
Temperatur als Funktion
der Bekleidung
und der Aktivität [6]

Beschäftigte, die Hitzearbeiten durchführen, müssen laut Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ (BGV A4) durch arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen (Erstuntersuchungen vor Aufnahme der Beschäftigung und Nachuntersuchungen während der Beschäftigung) überwacht werden. Die Beurteilung, ob eine Untersuchung zu erfolgen hat, richtet sich nach den Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 „Hitzearbeiten“ [4].

Die Wärmebelastung wird durch die sogenannte korrigierte Normaleffektivtemperatur CNET (°C) als dem am weitesten verbreiteten Hilfsmaß für das menschliche Klimaempfinden oder durch die Wärmestromdichte (Wärmestrahlung) oder die Kombination beider angegeben. Die muskuläre Belastung wird in leicht, mittelschwer und schwer bis sehr schwer unterteilt (siehe nachstehende Tabelle 2).

Einen Überblick über die Kriterien zur Auswahl der zu untersuchenden unter Hitzeeinwirkung beschäftigten Personen gibt die Tabelle 3.

Tabelle 2:

Einteilung des Arbeitsenergieumsatzes (AU) und des Gesamtenergieumsatzes (EU) nach Tätigkeitsarten (nach BGI 579); fett gedruckt in Spalte 1: Werte aus der BGI 504-30 [4]

Energieumsatz	Beispiele für Tätigkeiten
Stufe 0 Ruhezustand EU: 100 bis 125 W AU : 20 bis 45 W	Sitzen oder Stehen im Ruhezustand
Stufe 1 Leicht: AU ca. 100 W EU: etwa 125 bis 235 W AU: etwa 45 bis 155 W	leichte Handarbeit: Schreiben, Schreibmaschine schreiben, Zeichnen, Nähen, Buchführung Hand- und Armarbeit: kleine Handwerkzeuge, Inspektion, Zusammenbau oder Sortieren von leichten Gegenständen Arm- und Beinarbeit: Fahren von Fahrzeugen, Flurförderzeugen oder Kranen unter üblichen Bedingungen, Betätigen eines Fußschalters oder Pedals, Kontrollgänge, Tätigkeiten in Schaltwarten oder Steuer- und Regelanlagen
Stufe 2 Mittelschwer: AU ca. 200 W EU: etwa 235 bis 360 W AU: etwa 155 bis 240 W	Ununterbrochene Hand- und Armarbeit: Einschlagen von Nägeln, Feilen Arm- und Beinarbeit: Fahren von Lkw, Traktoren oder Baufahrzeugen im Gelände Arm- und Körperarbeit: Arbeiten mit Presslufthammer, Zugmaschinen, Pflasterarbeiten, ununterbrochenes Handhaben von mittelschweren Materialien, Schieben und Ziehen von leichten Karren oder Schubkarren, Schmieden, Eisen gießen mit Hebezeug, Vulkanisieren
Stufe 3 Schwer: AU ca. 300 W EU: etwa 360 bis 465 W AU: etwa 240 bis 385 W	Intensive Arm- und Körperarbeit: Tragen von schwerem Material, Schaufeln, Arbeiten mit Vorschlaghammer, Sägen, Bearbeiten von hartem Holz mit Hobel oder Stechbeitel, Graben, Schieben oder Ziehen schwer beladener Handwagen oder Schubkarren, Zerschlagen von Gussstücken, Legen von Betonplatten, Ein- und Aussetzen in der grobkeramischen Industrie, Ofenreparatur im heißen Ofen, Gemenge einlegen von Hand in Glashütten, Eisen gießen (Handguss), Handflämmen
Stufe 4 Sehr schwer: AU > 300 W EU: ab etwa 465 W AU: ab etwa 385 W	Sehr intensive Arm- und Körperarbeit mit hohem Arbeitstempo: Arbeiten mit der Axt, intensives Schaufeln oder Graben, Besteigen von Treppen, Rampen oder Leitern

Tabelle 3:

Auswahl des zu untersuchenden Personenkreises (nach BGI 504-30)

Arbeitsenergieumsatz in W	ununterbrochene Expositionszeit in Minuten			
	< 15 min	15 bis 30 min	31 bis 60 min	> 60 min
Gruppe 1	ständig exponierte, hitzeadaptierte Beschäftigte			
bis 100 W	–	> 36	36	34
bis 200 W	–	36	34	32
bis 300 W	–	34	32	30
> 300 W	35	32	30	
Gruppe 2	gelegentlich exponierte, nicht hitzeadaptierte Beschäftigte			
bis 100 W	–	> 36	34	
bis 200 W	–	34	32	
bis 300 W	35	32	30	
> 300 W	35	30	28	

3.1.4 Literatur

[1] DIN Fachbericht 128: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Grundlagen der Klimaermittlung. Beuth, Berlin 2003

[2] DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen (04.02). Beuth, Berlin 2002

[3] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 21 „Kältarbeiten“ (BGI 504-21) (1998). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 1998

[4] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 „Hitzearbeiten“ (BGI 504-30) (1998). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 1998

[5] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beurteilung des Raumklimas – eine Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen (BGI 5012) (01.05). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 2005

[6] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (05.06). Beuth, Berlin 2006

[7] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme (09.07). Beuth, Berlin 2007

[8] Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (ASR 5) (10.79). B ArbBl. (1979) Nr. 10, zul. geänd. B ArbBl. (1984) Nr. 12, S. 85

[9] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beurteilung von Hitzearbeit – eine Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen (BGI 899) (01.05). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 2005

[10] DIN 33403: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung. Teil 2: Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen (08.00). Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimaaussummenmaße (04.01). Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältarbeitsplätzen (01.97), Beuth, Berlin

[11] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Hitzearbeit – erkennen, beurteilen, schützen (BGI 579) (12.06). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 2006

Weiterführende Literatur

Arbeitsstätten-Richtlinie Raumtemperaturen (ASR 6) (05.01). B ArbBl. (2001) Nr. 6/7, S. 94

DIN EN ISO 11399: Ergonomie des Umgebungsklimas – Grundlagen und Anwendung relevanter Internationaler Normen (04.01). Beuth, Berlin 2001

DIN EN ISO 15265: Ergonomie der thermischen Umgebung – Strategie zur Risikobeurteilung zur Abwendung von Stress oder Unbehagen unter thermischen Arbeitsbedingungen (11.04). Beuth, Berlin 2004

VDI 2083-5: Reinraumtechnik. Blatt 5: Thermische Behaglichkeit (02.96), Beuth, Berlin 1996

DIN EN 27243: Warmes Umgebungsklima – Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (12.93). Beuth, Berlin 1993

Rietschel, H.; Esdorn, H. (Hrsg.): Raumklimatechnik, Band 1; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1994

Recknagel, Sprenger, Schramek (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; R. Oldenbourg Verlag München, Wien 2006

3.2 Berührungen heißer Oberflächen

3.2.1 Erläuterungen

Bei Berührung einer heißen Oberfläche kann es zur Verbrennung der Haut kommen. Ob eine Verbrennung auftritt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die wichtigsten sind

- die Temperatur der Oberfläche,
- das Material der Oberfläche und
- die Dauer des Kontaktes zwischen der Oberfläche und der Haut.

Schwellenwerte der Oberflächentemperatur, ab der eine Verbrennung auftritt, wurden für verschiedene Materialien und für verschiedene Kontaktzeiten ermittelt. Sie können der Norm DIN EN ISO 13732-1 [1] entnommen werden. Diese ersetzt die bisherigen Normen DIN EN 563 [2] und DIN EN 13202 [3].

3.2.2 Grenzwerte

Eine rechtsverbindliche Festlegung von höchstzulässigen Temperaturen heißer Oberflächen zum Schutz vor Verbrennungen erfolgte bisher nur auf einzelnen Gebieten. Zur Umsetzung der EU-Maschinenrichtlinie [4] im Hinblick auf Gefährdungen durch heiße Oberflächen wurde die Norm DIN EN 563, die inzwischen ihre Gültigkeit verloren hat, in die Liste der harmonisierten Normen aufgenommen. Deren Anwendung löst die Vermutung der Konformität mit der Richtlinie aus.

In einer Reihe von Produktnormen gibt es Festlegungen für maximal zulässige Oberflächentemperaturen. Teils dienen diese Festlegungen zum Schutz vor Verbrennungen, zum Teil aber auch zum Schutz der Materialien vor thermischen Schäden. Liegen diese Oberflächentemperaturen über den Werten der Verbrennungsschwellen nach DIN EN ISO 13732-1, dann schützen sie nicht vor Verbrennungen der Haut.

Zur Umsetzung der Betriebssicherheitsverordnung [5] wird vom Ausschuss für Betriebssicherheit die Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) „Thermische Gefährdungen“ vorbereitet. Mit Erscheinen dieser TRBS werden die dort festgelegten Grenzwerte für Temperaturen heißer Oberflächen rechtsverbindlich werden.

3.2.3 Empfehlungen

Die Schwellenwerte nach DIN EN ISO 13732-1 für die Verbrennung der Haut sind gleichzeitig auch Empfehlungen für Oberflächentemperatur-Grenzwerte, sofern zur Vermeidung von Verbrennungen eine Begrenzung der Oberflächentemperatur notwendig ist. Der Norm ist ebenfalls zu entnehmen, wie solche Grenzwerte für verschiedene Oberflächen und verschiedene Berührungssituationen festgelegt werden können.

Aufgrund des großen Umfangs können diese Verbrennungsschwellen hier nicht abgedruckt werden. Es wird auf die DIN EN ISO 13732-1 verwiesen.

3.2.4 Literatur

[1] DIN EN ISO 13732-1: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsverfahren für menschliche Reaktionen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 1: Heiße Oberflächen (ISO 13732-1:2006). Ausg. 12/2006. Beuth, Berlin 2006

[2] DIN EN 563: Sicherheit von Maschinen – Temperaturen berührbarer Oberflächen – Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen. Ausg. 1/2000. Beuth, Berlin 2000

[3] DIN EN 13202: Ergonomie der thermischen Umwelt – Temperaturen berührbarer heißer Oberflächen – Leitfaden zur Festlegung der Temperaturgrenzwerte von heißen Oberflächen in Produktnormen unter Anwendung von EN 563. Ausg. 9/2000. Beuth, Berlin 2000

[4] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (Text für Bedeutung für den EWR), Amtsblatt der Europäischen Union, L 157/24 vom 9. Juni 2006 ABI EU (2006) Nr. L 157, S 24-86

[5] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV), BGBl. I (2002) Nr. 1, S. 3777

3.3 Berührungen kalter Oberflächen

3.3.1 Erläuterungen

Bei der Berührung einer kalten Oberfläche kann es zu Schmerzen, zu einem Taubheitsgefühl und zu Erfrierungen der Haut kommen. Ob eine Kälteschädigung auftritt und welcher Art sie ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab wie

- Oberflächeneigenschaften des Gegenstandes, der berührt wird,
- Temperatur der kalten Oberfläche und der Umgebung,
- Dauer des Kontaktes zwischen der Haut und der Oberfläche,
- Merkmale der Haut an Händen und die Art des Kontakts.

Schwellenwerte der Oberflächentemperatur, ab der eine Kälteschädigung auftritt, wurden für verschiedene Materialien, für verschiedene Kontaktzeiten und für verschiedene Arten von Schädigungen ermittelt. Sie können der Norm DIN EN ISO 13732-3 [1] entnommen werden.

3.3.2 Grenzwerte

Eine rechtsverbindliche Festlegung von niedrigstzulässigen Temperaturen kalter Oberflächen zum Schutz vor Kälteschädigungen erfolgte bisher nicht. Jedoch kann DIN EN ISO 13732-3 als Stand der Technik angesehen werden, wenn die EU-Maschinenrichtlinie [2] im Hinblick auf Gefährdungen durch kalte Oberflächen umgesetzt werden soll. Wird DIN EN ISO 13732-3 in die Liste der harmonisierten Normen zur EU-Maschinenrichtlinie aufgenommen, löst ihre Anwendung die Vermutung der Konformität mit der Richtlinie aus.

Zur Umsetzung der Betriebssicherheitsverordnung [3] wird vom Ausschuss für Betriebssicherheit die Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) „Thermische Gefährdungen“ vorbereitet. Mit Erscheinen dieser TRBS werden die dort festgelegten Grenzwerte für Temperaturen kalter Oberflächen rechtsverbindlich werden.

3.3.3 Empfehlungen

Die Schwellenwerte nach DIN EN ISO 13732-3 von Oberflächentemperaturen für Kälteschädigungen sind gleichzeitig Empfehlungen für Oberflächentemperatur-Grenzwerte, sofern zur Vermeidung von Kälteschädigungen eine Begrenzung von niedrigen Oberflächentemperaturen notwendig ist. Der Norm ist zu entnehmen, wie solche Grenzwerte für verschiedene Oberflächeneigenschaften, Berührungssituationen und mögliche Kälteschädigungen festgelegt werden können.

Aufgrund des großen Umfangs können die Verbrennungsschwellen hier nicht abgedruckt werden. Es wird auf die DIN EN ISO 13732-3 verwiesen.

3.3.4 Literatur

[1] DIN EN ISO 13732-3: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsmethoden für Reaktionen des Menschen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 3: Kalte Oberflächen (ISO 13732-3:2005). Ausg. 2/2006. Beuth, Berlin 2006

[2] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (Text für Bedeutung für den EWR), ABI EU (2006) Nr. L 157/24 vom 9. Juni 2006

[3] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV), BGBl. (2002) Nr. 1, S. 3777

4 Strahlung

4.1 Ionisierende Strahlung

4.1.1 Erläuterungen

Unter ionisierende Strahlung fallen sowohl elektromagnetische Wellen wie Röntgen- oder Gammastrahlung als auch Teilchenstrahlung (Alpha-, Beta-, Neutronenstrahlung usw.) mit einer Wellenlänge von unter 100 nm bzw. einer Teilchen-/Quantenenergie von mehr als 12 eV.

Die Einwirkung ionisierender Strahlung auf Menschen kann in hohen Dosen akute Strahlenschäden (Hautverbrennung, Organschäden, Strahlenkrankheit, Tod) hervorrufen. Aber auch durch langzeitige Einwirkung niedriger Strahlendosen können Schäden hervorgerufen werden: Hierzu gehören Krebs (Karzinome, Leukämie) sowie genetische Schäden.

Für die berufliche Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung sind in der Röntgenverordnung [1] und in der Strahlenschutzverordnung [2] die gleichen Expositionsgrenzwerte festgelegt. Diese gelten einerseits für die Exposition durch äußere Bestrahlung und andererseits auch für die Exposition, die durch innere Bestrahlung bei der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper entsteht. Wirkt sowohl äußere als auch innere Bestrahlung durch Aufnahme radioaktiver Stoffe ein, sind beide Einwirkungen zu berücksichtigen und der Dosisgrenzwert ist insgesamt einzuhalten. Dabei ist die Dosis durch innere Bestrahlung aus der zugeführten Aktivität und den nuklidspezifischen Dosiskoeffizienten [3] zu berechnen.

Die Strahlenschutzverordnung enthält je nach Art der Exposition verschiedene Bestimmungen. Grob unterschieden wird dabei in „Tätigkeiten“, bei denen Expositionen durch eine zielgerichtete Nutzung der Radioaktivität vorliegen können, und „Arbeiten“, die, ohne Tätigkeiten zu sein, zu Expositionen durch natürliche Strahlenquellen führen können. Zum Bereich der Arbeiten gehören bestimmte in Anlage XI der Strahlenschutzverordnung genannte Arbeitsfelder, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche terrestrische Strahlenquellen auftreten können. Auch Expositionen des fliegenden Personals durch kosmische Strahlung in Flugzeugen fällt in den Bereich der Arbeiten. Die Unterteilung der Exposition in Tätigkeiten und Arbeiten hat Auswirkungen auf die Anwendung der Expositionsgrenzwerte.

4.1.2 Grenzwerte

Hinweis: Die Hinweise auf Anlagen, Tabellen und Paragraphen in diesem Kapitel beziehen sich auf die jeweilige Nummerierung in der Strahlenschutzverordnung.

In der Röntgenverordnung (RöV) [1] und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] sind je nach exponierter Personengruppe unterschiedliche Grenzwerte festgelegt. Bei den Personengruppen wird unterschieden in:

- beruflich strahlenexponierte Personen (Kategorien A und B)

Eine beruflich strahlenexponierte Person im Sinne der Strahlenschutzverordnung ist:

- im Bereich der Tätigkeiten diejenige der Kategorie A oder B des § 54. Zur Kategorie A gehören demnach Personen, die im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert (mSv) erhalten können. Personen, die im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv erhalten können, ohne in die Kategorie A zu fallen, gehören zur Kategorie B.
- im Bereich der Arbeiten diejenige, für die die Abschätzung nach § 95 Abs. 1 ergeben hat, dass die effektive Dosis im Kalenderjahr 6 mSv überschreiten kann, oder für die die Ermittlung nach § 103 Abs. 1 ergeben hat, dass die effektive Dosis im Kalenderjahr 1 mSv überschreiten kann.

- Einzelpersonen der Bevölkerung

Hierzu gehören Mitglieder der Allgemeinbevölkerung, die weder beruflich strahlenexponierte Personen sind noch medizinisch oder als helfende Person exponiert sind.

- Besonders schutzbedürftige Personen wie Schwangere und Jugendliche

An Arbeitsplätzen gültige Grenzwerte der Strahlenexposition sind in folgenden Paragraphen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RöV) zu finden:

- RöV
§§ 31a bis 31c, 32
- StrlSchV
bei Tätigkeiten: §§ 46, 55 bis 59
bei Arbeiten gemäß Anlage XI (terrestrische Strahlung): § 95 bei Arbeiten des fliegenden Personals (kosmische Strahlung): § 103

Da die Grenzwerte in der Röntgenverordnung identisch sind mit denen, die in der Strahlenschutzverordnung für Tätigkeiten genannt sind, werden im Folgenden nur die Grenzwerte nach der Strahlenschutzverordnung wiedergegeben.

Für die Strahlenexposition bei Tätigkeiten gelten die Grenzwerte nach §§ 46 und 55 bis 59 StrlSchV

§ 46

Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung

(1) Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.

(2) Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.

(3) Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

§ 55

Schutz bei beruflicher Strahlenexposition

(1) Für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 20 Millisievert im Kalenderjahr. § 58 bleibt unberührt. Die zuständige Behörde kann im Einzelfall für ein einzelnes Jahr eine effektive Dosis von 50 Millisievert zulassen, wobei für fünf aufeinander folgende Jahre 100 Millisievert nicht überschritten werden dürfen.

(2) Der Grenzwert der Organdosis beträgt für beruflich strahlenexponierte Personen

1. für die Augenlinse 150 Millisievert,
2. für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 500 Millisievert,
3. für die Keimdrüsen, die Gebärmutter und das Knochenmark (rot) jeweils 50 Millisievert,
4. für die Schilddrüse und die Knochenoberfläche jeweils 300 Millisievert,
5. für den Dickdarm, die Lunge, den Magen, die Blase, die Brust, die Leber, die Speiseröhre, andere Organe oder Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 Fußnote 1, soweit nicht unter Nummer 3 genannt, jeweils 150 Millisievert

im Kalenderjahr.

(3) Für Personen unter 18 Jahren beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 1 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 15 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 50 Millisievert im Kalenderjahr. Abweichend von Satz 1 und Satz 2 kann die zuständige Behörde für Auszubildende und Studierende im Alter zwischen 16 und 18 Jahren einen Grenzwert von 6 Millisievert für die effektive Dosis, 45 Millisievert für die Organdosis der Augenlinse und jeweils 150 Millisievert für die Organdosis der Haut, der Hände, der Unterarme, der Füße und Knöchel im Kalenderjahr festlegen, wenn dies zur Erreichung des Ausbildungszieles notwendig ist.

(4) Bei gebärfähigen Frauen beträgt der Grenzwert für die über einen Monat kumulierte Dosis an der Gebärmutter 2 Millisievert. Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung der Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert der Dosis aus äußerer und innerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

§ 56

Berufslebensdosis

Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen beruflich strahlenexponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 eine weitere berufliche Strahlenexposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich strahlenexponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

§ 57

Dosisbegrenzung bei Überschreitung

Wurde unter Verstoß gegen § 55 Abs. 1 oder 2 ein Grenzwert im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person nur zulässig, wenn die Expositionen in den folgenden vier Kalenderjahren unter Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt werden, dass die Summe der Dosen das Fünffache des jeweiligen Grenzwertes nicht überschreitet. Ist die Überschreitung eines Grenzwertes so hoch, dass bei Anwendung von Satz 1 die bisherige Beschäftigung nicht fortgesetzt werden kann, kann die zuständige Behörde im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 Ausnahmen von Satz 1 zulassen.

§ 58

Besonders zugelassene Strahlenexpositionen

(1) Unter außergewöhnlichen, im Einzelfall zu beurteilenden Umständen kann die zuständige Behörde zur Durchführung notwendiger spezifischer Arbeitsvorgänge Strahlenexpositionen abweichend von § 55 Abs. 1, 2 und Abs. 4 Satz 1 zulassen. Für diese besonders zugelassene Strahlenexposition beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 100 Millisievert, der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 300 Millisievert, der Grenzwert der Organdosis für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 1 Sievert für eine Person im Berufsleben.

(2) Einer Strahlenexposition nach Absatz 1 dürfen nur Freiwillige, die beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A sind, ausgesetzt werden, ausgenommen schwangere Frauen und, wenn die Möglichkeit einer Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann, stillende Frauen.

(3) Eine Strahlenexposition nach Absatz 1 ist im Voraus zu rechtfertigen. Die Personen nach Absatz 2 sind über das mit der Strahlenexposition verbundene Strahlenrisiko aufzuklären. Der Betriebsrat oder der Personalrat, die Fachkräfte für Arbeitssicherheit, der Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 oder die Betriebsärzte, soweit sie nicht Ärzte nach § 64 Abs. 1 Satz 1 sind, sind zu beteiligen.

(4) Die Körperdosis durch eine Strahlenexposition nach Absatz 1 ist unter Berücksichtigung der Expositionsbedingungen zu ermitteln. Sie ist in den Aufzeichnungen nach §§ 42 und 64 Abs. 3 getrennt von den übrigen Ergebnissen der Messungen und Ermittlungen der Körperdosis einzutragen. Die Strahlenexposition nach Absatz 1 ist bei der Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen nach § 56 zu berücksichtigen.

(5) Wurden bei einer Strahlenexposition nach Absatz 1 die Grenzwerte des § 55 Abs. 1 oder 2 überschritten, so ist diese Überschreitung allein kein Grund, die Person ohne ihr Einverständnis von ihrer bisherigen Beschäftigung auszuschließen.

§ 59

Strahlenexposition bei Personengefährdung und Hilfeleistung

(1) Bei Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für Personen ist anzustreben, dass eine effektive Dosis von mehr als 100 Millisievert nur einmal im Kalenderjahr und eine effektive Dosis von mehr als 250 Millisievert nur einmal im Leben auftritt.

(2) Die Rettungsmaßnahmen dürfen nur von Freiwilligen über 18 Jahren ausgeführt werden, die zuvor über die Gefahren dieser Maßnahmen unterrichtet worden sind.

(3) Die Körperdosis einer bei Rettungsmaßnahmen eingesetzten Person durch eine Strahlenexposition bei den Rettungsmaßnahmen ist unter Berücksichtigung der Expositionsbedingungen zu ermitteln. Die Rettungsmaßnahme und die ermittelte Körperdosis der bei der Rettungsmaßnahme eingesetzten Personen sind der zuständigen Behörde unverzüglich mitzuteilen. Die Strahlenexposition nach Satz 1 ist bei der Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen nach § 56 zu berücksichtigen. § 58 Abs. 4 Satz 2 und Abs. 5 gilt entsprechend.

Für die Strahlenexposition bei Arbeiten an Arbeitsplätzen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen (terrestrischer Strahlung) gelten die in § 95 StrlSchV enthaltenen Grenzwerte:

§ 95

Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen

(1) Wer in seiner Betriebsstätte eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in Anlage XI genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, hat je nach Zugehörigkeit des Arbeitsfeldes zu Teil A oder B der Anlage XI innerhalb von sechs Monaten nach Beginn der Arbeiten eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Radon-222-Exposition oder der Körperdosis durchzuführen. Die Abschätzung ist unverzüglich zu wiederholen, wenn der Arbeitsplatz so verändert wird, dass eine höhere Strahlenexposition auftreten kann. Satz 1 gilt auch für denjenigen, der in einer fremden Betriebsstätte in eigener Verantwortung Arbeiten nach Satz 1 ausübt oder unter seiner Aufsicht stehende Personen Arbeiten ausüben lässt. In diesem Fall hat der nach Satz 1 Verpflichtete ihm vorliegende Abschätzungen für den Arbeitsplatz bereitzustellen.

Anlage XI:

Arbeitsfelder, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche terrestrische Strahlungsquellen auftreten können

<p>Teil A: Arbeitsfelder mit erhöhten Radon-222-Expositionen</p> <p>Arbeiten in</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken 2. Radon-Heilbäder und -Heilstollen 3. Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung
<p>Teil B: Arbeitsfelder mit erhöhten Expositionen durch Uran und Thorium und deren Zerfallsprodukte ohne Radon</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Schleifen von und Wechselstromschweißen mit thorierten Schweißelektroden 2. Handhabung und Lagerung thorierten Gasglühstrümpfe 3. Verwendung von Thorium oder Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung oder in angereicherter Form einschließlich der daraus jeweils hervorgehenden Tochternuklide, sofern vorhanden, zu chemisch-analytischen oder chemisch-präparativen Zwecken 4. Handhabung, insbesondere Montage, Demontage, Bearbeiten und Untersuchen von Produkten aus thorierten Legierungen 5. Gewinnung, Verwendung und Verarbeitung von Pyrochlorerzen 6. Verwendung und Verarbeitung von Schlacke aus der Verhüttung von Kupferschiefererzen

(2) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat der zuständigen Behörde innerhalb von drei Monaten nach Durchführung der Abschätzung nach Absatz 1 Anzeige gemäß Satz 2 zu erstatten, wenn die Abschätzung nach Absatz 1 ergibt, dass die effektive Dosis 6 Millisievert im Kalenderjahr überschreiten kann. Aus der Anzeige müssen die konkrete Art der Arbeit, das betreffende Arbeitsfeld oder die betreffenden Arbeitsfelder, die Anzahl der betroffenen Personen, die eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr erhalten können, die nach Absatz 10 Satz 1 vorgesehene Ermittlung und die nach § 94 vorgesehenen Maßnahmen hervorgehen. Bei Radonexpositionen kann davon ausgegangen werden, dass die effektive Dosis von 6 Millisievert im Kalenderjahr durch diese Expositionen nicht überschritten ist, wenn das Produkt aus Aktivitätskonzentration von Radon-222 am Arbeitsplatz und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr den Wert von 2×10^6 Becquerel pro Kubikmeter mal Stunden nicht überschreitet. Bei deutlichen Abweichungen des Gleichgewichtsfaktors zwischen Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten von dem zugrunde gelegten Wert von 0,4 kann die Behörde abweichende Werte für das Produkt aus Radon-222-Aktivitätskonzentration und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr festlegen.

(3) Der nach Absatz 1 Satz 3 Verpflichtete hat dafür zu sorgen, dass er selbst und die unter seiner Aufsicht stehenden Personen in fremden Betriebsstätten anzeigebedürftige Arbeiten nur ausüben, wenn jede Person im Besitz eines vollständig geführten, bei der zuständigen Behörde registrierten Strahlenpasses ist.

(4) Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 20 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organdosis beträgt für die Augenlinse 150 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 500 Millisievert. Bei Radonexpositionen kann davon ausgegangen werden, dass die effektive Dosis von 20 Millisievert im Kalenderjahr durch diese Expositionen nicht überschritten ist, wenn das Produkt aus Aktivitätskonzentration von Radon-222 am Arbeitsplatz und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr den Wert von 6×10^6 Becquerel pro Kubikmeter mal Stunden nicht überschreitet. Absatz 2 Satz 4 gilt entsprechend.

(5) Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen beruflich strahlenexponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 eine weitere berufliche Strahlenexposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich strahlenexponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

(6) Wurde unter Verstoß gegen Absatz 4 Satz 1 oder 2 ein Grenzwert im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person nur zulässig, wenn die Expositionen in den folgenden vier Kalenderjahren unter Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt werden, dass die Summe der Dosen das Fünffache des jeweiligen Grenzwertes nicht überschreitet. Ist die Überschreitung eines Grenzwertes so hoch, dass bei Anwendung von Satz 1 die bisherige Beschäftigung nicht fortgesetzt werden kann, kann die Behörde im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 Ausnahmen von Satz 1 zulassen.

(7) Für Personen unter 18 Jahren beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 6 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organ-dosis beträgt für die Augenlinse 50 Millisievert, für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 150 Millisievert im Kalenderjahr.

(8) Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung seiner Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert für die Summe der Dosis aus äußerer und innerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

(9) Sobald eine Frau, die eine anzeigebedürftige Arbeit nach Anlage XI Teil B ausübt, den nach Absatz 1 Verpflichteten darüber informiert hat, dass sie schwanger ist oder stillt, hat er ihre Arbeitsbedingungen so zu gestalten, dass eine innere berufliche Strahlenexposition ausgeschlossen ist.

(10) Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, hat der nach Absatz 1 Verpflichtete die Radon-222-Exposition und die Körperdosis auf geeignete Weise durch Messung der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung, der Konzentration radioaktiver Stoffe oder Gase in der Luft, der Kontamination des Arbeitsplatzes, der Personendosis, der Körperaktivität oder der Aktivität der Ausscheidung nach Maßgabe des Satzes 3 zu ermitteln. Die Radon-222-Exposition kann auch durch direkte Messung ermittelt werden. Die Ermittlungsergebnisse müssen spätestens neun Monate nach erfolgter Strahlenexposition der die anzeigebedürftige Arbeit ausführenden Person vorliegen. Für die Messungen kann die zuständige Behörde die anzuwendenden Messmethoden und Messverfahren festlegen und für Messungen Messstellen bestimmen. § 41 Abs. 8 gilt entsprechend.

(11) Der nach Absatz 1 Verpflichtete darf Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausüben, eine Beschäftigung oder Weiterbeschäftigung nur erlauben, wenn sie innerhalb des jeweiligen Kalenderjahrs von einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 untersucht worden sind und dem nach Absatz 1 Verpflichteten eine von diesem Arzt ausgestellte Bescheinigung vorliegt, nach der der Beschäftigung keine gesundheitlichen Bedenken entgegenstehen. Satz 1 gilt entsprechend für Personen, die in eigener Verantwortung in eigener oder in einer anderen Betriebsstätte Arbeiten ausüben. § 60 Abs. 3 und die §§ 61 und 62 gelten entsprechend. Die in entsprechender Anwendung des § 61 Abs. 1 Satz 1 angeforderten Unterlagen sind dem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 unverzüglich zu übergeben. Der Arzt hat die ärztliche Bescheinigung dem Verpflichteten nach Absatz 1 Satz 1, der beruflich strahlenexponierten Person und, soweit gesundheitliche Bedenken bestehen, auch der zuständigen Behörde unverzüglich zu übersenden.

(12) Bei einer Arbeit nach Absatz 1, die zu einer effektiven Dosis von weniger als 6 Millisievert im Kalenderjahr führt, kann die Pflicht nach § 94 auch dadurch erfüllt werden, dass Strahlenschutzmaßnahmen auf der Grundlage von Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes Anwendung finden. Die zuständige Behörde kann entsprechende Nachweise verlangen.

Für die Strahlenexposition bei Arbeiten des fliegenden Personals (kosmische Strahlung) gelten die in § 103 StrlSchV enthaltenen Grenzwerte:

§ 103 Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung

(1) Wer Flugzeuge, die in der deutschen Luftfahrzeugrolle nach § 3 des Luftverkehrsgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999 (BGBl. I S. 550) in der jeweils geltenden Fassung eingetragen sind, gewerblich oder im Rahmen eines wirtschaftlichen Unternehmens betreibt, oder wer als Unternehmer mit Sitz im Geltungsbereich dieser Verordnung Flugzeuge betreibt, die in einem anderen Land registriert sind, und Personal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß dem deutschen Arbeitsrecht steht, einsetzt, hat die effektive Dosis, die das fliegende Personal durch kosmische Strahlung während des Fluges einschließlich der Beförderungszeit nach § 4 Abs. 1 Satz 1 der Zweiten Durchführungsverordnung zur Betriebsordnung für Luftfahrtgerät vom 12. November 1974 (BGBl. I S. 3181), die zuletzt durch die Verordnung vom 6. Januar 1999 (BAnz. S. 497) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung erhält, nach Maßgabe des Satzes 2 zu ermitteln, soweit die effektive Dosis durch kosmische Strahlung 1 Millisievert im Kalenderjahr überschreiten kann. Die Ermittlungsergebnisse müssen spätestens sechs Monate nach dem Einsatz vorliegen. Die Sätze 1 und 2 gelten auch für Flugzeuge, die im Geschäftsbereich des Bundesministeriums der Verteidigung betrieben werden.

(2) Für das fliegende Personal beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch kosmische Strahlung 20 Millisievert im Kalenderjahr. Der Pflicht zur Dosisreduzierung nach § 94 kann insbesondere bei der Aufstellung der Arbeitspläne und bei der Festlegung der Flugrouten und -profile Rechnung getragen werden.

(3) Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen beruflich strahlenexponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 eine weitere berufliche Strahlenexposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich strahlenexponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

(4) Wurde unter Verstoß gegen Absatz 2 Satz 1 der Grenzwert der effektiven Dosis im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person nur zulässig, wenn die Expositionen in den folgenden vier Kalenderjahren unter Berücksichtigung der erfolgten Grenzwertüberschreitung so begrenzt werden, dass die Summe der Dosen das Fünffache des Grenzwertes nicht überschreitet. Ist die Überschreitung eines Grenzwertes so hoch, dass bei Anwendung von Satz 1 die bisherige Beschäftigung nicht fortgesetzt werden kann, kann die zuständige Behörde im Benehmen mit einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 Ausnahmen von Satz 1 zulassen.

(5) Für ein ungeborenes Kind, das aufgrund der Beschäftigung seiner Mutter einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert der Dosis aus äußerer Strahlenexposition vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

(6) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat das fliegende Personal mindestens einmal im Kalenderjahr über die gesundheitlichen Auswirkungen der kosmischen Strahlung und über die zum Zweck der Überwachung von Dosisgrenzwerten und der Beachtung der Strahlenschutzgrundsätze erfolgende Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten zu unterrichten; hierbei sind Frauen darüber zu unterrichten, dass eine Schwangerschaft im Hinblick auf die Risiken einer Strahlenexposition für das ungeborene Kind so früh wie möglich mitzuteilen ist. Die Unterrichtung kann Bestandteil erforderlicher Unterweisungen nach anderen Vorschriften sein. Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat über den Inhalt und Zeitpunkt der Unterrichtung Aufzeichnungen zu führen, die von der unterrichteten Person zu unterzeichnen sind. Er hat die Aufzeichnungen fünf Jahre lang nach der Unterrichtung aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen.

(7) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat

1. die Ergebnisse der Dosisermittlung nach Absatz 1 unverzüglich aufzuzeichnen,
2. die Aufzeichnungen nach Nummer 1
 - a) so lange aufzubewahren, bis die überwachte Person das 75. Lebensjahr vollendet hat oder vollendet hätte, mindestens jedoch 30 Jahre nach Beendigung der jeweiligen Beschäftigung,
 - b) spätestens 95 Jahre nach der Geburt der betroffenen Person zu löschen,
 - c) auf Verlangen der überwachten Person oder der zuständigen Behörde vorzulegen oder bei einer von dieser Behörde zu bestimmenden Stelle zu hinterlegen,
 - d) bei einem Wechsel des Beschäftigungsverhältnisses dem neuen Arbeitgeber auf Verlangen zur Kenntnis zu geben, falls weiterhin eine Beschäftigung als beruflich strahlenexponierte Person ausgeübt wird,
3. Überschreitungen des Grenzwertes der effektiven Dosis nach Absatz 2 Satz 1 der zuständigen Behörde unter Angabe der Gründe, der betroffenen Personen und der ermittelten Dosen unverzüglich mitzuteilen,
4. den betroffenen Personen im Fall der Nummer 3 die effektive Dosis unverzüglich mitzuteilen.

(8) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat die ermittelte effektive Dosis und die in § 112 Abs. 1 Nr. 2 und 3 genannten Angaben dem Luftfahrt-Bundesamt oder einer vom Luftfahrt-Bundesamt bestimmten Stelle zur Weiterleitung an das Strahlenschutzregister mindestens halbjährlich zu übermitteln. Auskünfte aus dem Strahlenschutzregister werden dem nach Absatz 1 Verpflichteten erteilt, soweit es für die Wahrnehmung seiner Aufgaben erforderlich ist. § 112 Abs. 4 Satz 1 Nr. 1 und 3 und Satz 2 finden Anwendung.

(9) Der nach Absatz 1 Verpflichtete darf Personen, bei denen die Ermittlung nach Absatz 1 ergeben hat, dass eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr überschritten werden kann, eine Beschäftigung oder Weiterbeschäftigung nur erlauben, wenn sie innerhalb des jeweiligen Kalenderjahrs von einem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 untersucht worden sind und dem gemäß Absatz 1 Verpflichteten eine von diesem Arzt ausgestellte Bescheinigung vorliegt, nach der der Beschäftigung keine gesundheitlichen Bedenken entgegenstehen. Die in entsprechender Anwendung des § 61 Abs. 1 Satz 1 angeforderten Unterlagen sind dem Arzt nach § 64 Abs. 1 Satz 1 unverzüglich zu übergeben. Der Arzt hat die ärztliche Bescheinigung dem Verpflichteten nach Absatz 1 Satz 1, der beruflich strahlenexponierten Person und, soweit gesundheitliche Bedenken bestehen, auch der zuständigen Behörde unverzüglich zu übersenden. Die Untersuchung kann im Rahmen der fliegerärztlichen Untersuchung erfolgen.

4.1.3 Literatur

[1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV) vom 8. Januar 1987. BGBl. I S. 114; zul. geänd. durch die Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18. Juni 2002, BGBl. 2002, Teil I Nr. 36, S. 1869-1907, und durch die Bekanntmachung vom 30. April 2003, BGBl. I, S. 604

[2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001. BGBl. I, S. 1714; zul. geänd. durch Artikel 2 des Gesetzes vom 12. August 2005 (BGBl. I, S. 2365) und durch Artikel 2 des Gesetzes vom 1. September 2005 (BGBl. I, S. 2618)

[3] Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten; Bundesanzeiger Nr. 160 a und b vom 28. August 2001

4.2 Optische Strahlung (ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung)

4.2.1 Erläuterungen

Optische Strahlung ist ein Teil der nicht ionisierenden Strahlung, zu der auch elektromagnetische Felder gehören. Eine Unterteilung der optischen Strahlung ergibt sich aufgrund der Wellenlänge (λ) in

- Ultraviolettstrahlung: $100 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$
- sichtbare Strahlung: $400 \text{ nm} < \lambda < 780 \text{ nm}$
- Infrarotstrahlung: $780 \text{ nm} < \lambda < 1 \text{ mm}$

Eine weitere Einteilung unterscheidet entsprechend der Kohärenzeigenschaft der optischen Strahlung in

- Laser, d.h. kohärente optische Strahlung
- inkohärente optische Strahlung

Bei der Einwirkung von optischer Strahlung auf Personen kann es je nach der Art der Strahlung, der Strahlungsintensität und der Einwirkungsdauer zu unterschiedlichen Schädigungen kommen. Dies wird nachfolgend bei jeder Strahlungsart behandelt.

Rechtsverbindliche Grenzwerte für kohärente Strahlung sind in der Unfallverhütungsvorschrift BGV B2 „Laserstrahlung“ [1] festgelegt. Für inkohärente optische Strahlung enthält die Berufsgenossenschaftliche Information BGI 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ [2] Empfehlungen, die zwar nicht rechtsverbindlich sind, jedoch in der Praxis angewendet werden. Auf europäischer Ebene ist im April 2006 die EU-Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ [3] in Kraft getreten. Sie gilt sowohl für inkohärente als auch für kohärente optische Strahlung. Sie muss bis spätestens April 2010 in nationales Recht umgesetzt werden. Sobald die Umsetzung erfolgt ist, werden die BGV B2 und die BGI 5006 außer Kraft gesetzt werden.

Inkohärente optische Strahlung wird in Abschnitt 4.2, Laserstrahlung in Abschnitt 4.3 behandelt.

4.2.2 Ultraviolette Strahlung

4.2.2.1 Wirkungen

Ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) ist elektromagnetische Wellenstrahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 nm. Die Einwirkung von ultravioletter Strahlung auf den Menschen kann zu Schädigungen des Auges und der Haut führen. Eine kurzfristige Einwirkung sehr hoher Intensität kann im Auge Bindehaut- und Hornhautentzündung und auf der Haut ein Erythem (Sonnenbrand) hervorrufen. Langfristige chronische UV-Einwirkung kann im Auge eine Linsentrübung verursachen sowie eine Alterung der Haut und das Entstehen von Hautkrebs bewirken.

4.2.2.2 Grenzwerte

Die im Folgenden aufgelisteten Expositionsgrenzwerte wurden der BGI 5006 [2] entnommen. Diese unterscheidet zwischen zwei Tagesexpositionsgrenzwerten für das Auge, einem Tagesexpositionsgrenzwert für die Haut und einem gemeinsamen Jahresexpositionsgrenzwert für die Augen und die Haut. Bei der Ermittlung der Strahlenexpositionen, die mit den Expositionsgrenzwerten verglichen werden sollen, sind für die Messgrößen die Basis-Berechnungsformeln (1) bis (9) des Abschnitts 3.3 der BGI 5006 anzuwenden.

Tagesexpositionsgrenzwerte für Einwirkungen auf die Augen (180 bis 400 nm)

Die Tagesexpositionsgrenzwerte für Augeneinwirkungen gelten

1. für Einwirkungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für einmalige oder wiederholte UV-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann ist die Gesamtdosis zu bestimmen, und es dürfen pro Arbeitstag dennoch die festgelegten 8-h-Tagesexpositionsgrenzwerte nicht überschritten werden,
3. zum Schutz vor akuten Schädigungen des Auges (z.B. Fotokeratitis, Fotokonjunktivitis).

Für UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen gelten die folgenden Tagesexpositionsgrenzwerte der effektiven Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ im Bereich 180 bis 400 nm (a) und der Bestrahlung $H_{\text{(GW)}}$ im Bereich 315 bis 400 nm (b) gleichzeitig.

(a) Tagesexpositionsgrenzwert der effektiven Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ im Bereich 180 bis 400 nm

Aus den Expositionswerten ist nach den Gleichungen (1) und (3) oder (4) der BGI 5006 die effektive Bestrahlung H_{eff} im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm zu ermitteln; die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ sind Tabelle 1 (siehe Seite 168 f.) zu entnehmen. Der Tagesexpositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm beträgt

$$H_{\text{eff(GW)}} = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

(b) Tagesexpositionsgrenzwert der Bestrahlung $H_{\text{(GW)}}$ im Bereich 315 bis 400 nm

Die Bestrahlung H ist nach den Gleichungen (2) oder (5) der BGI 5006 im Bereich von $\lambda_1 = 315$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm zu ermitteln. Der Tagesexpositionsgrenzwert für die Bestrahlung $H_{\text{(GW)}}$ durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm beträgt:

$$H_{\text{(GW)}} = 10\,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tagesexpositionsgrenzwert für Einwirkungen auf die Haut (180 nm bis 400 nm)

Der Tagesexpositionsgrenzwert für Hauteinwirkungen gilt

1. für Einwirkungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für einmalige oder wiederholte UV-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann ist dafür die Gesamtdosis zu bestimmen, und es dürfen pro Arbeitstag dennoch die festgelegten 8-Stunden-Tagesexpositionsgrenzwerte nicht überschritten werden,
3. zum Schutz vor akuten Schädigungen der Haut (z.B. UV-Erythem).

Die effektive Bestrahlung H_{eff} für den Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm ist nach den Gleichungen (3) oder (4) der BGI 5006 zu ermitteln; die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ sind Tabelle 1 zu entnehmen. Der Tagesexpositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ durch Strahleneinwirkung auf die Haut im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm beträgt

$$H_{\text{eff(GW)}} = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tabella 1:

Relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ für Einwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich zwischen 180 und 400 nm

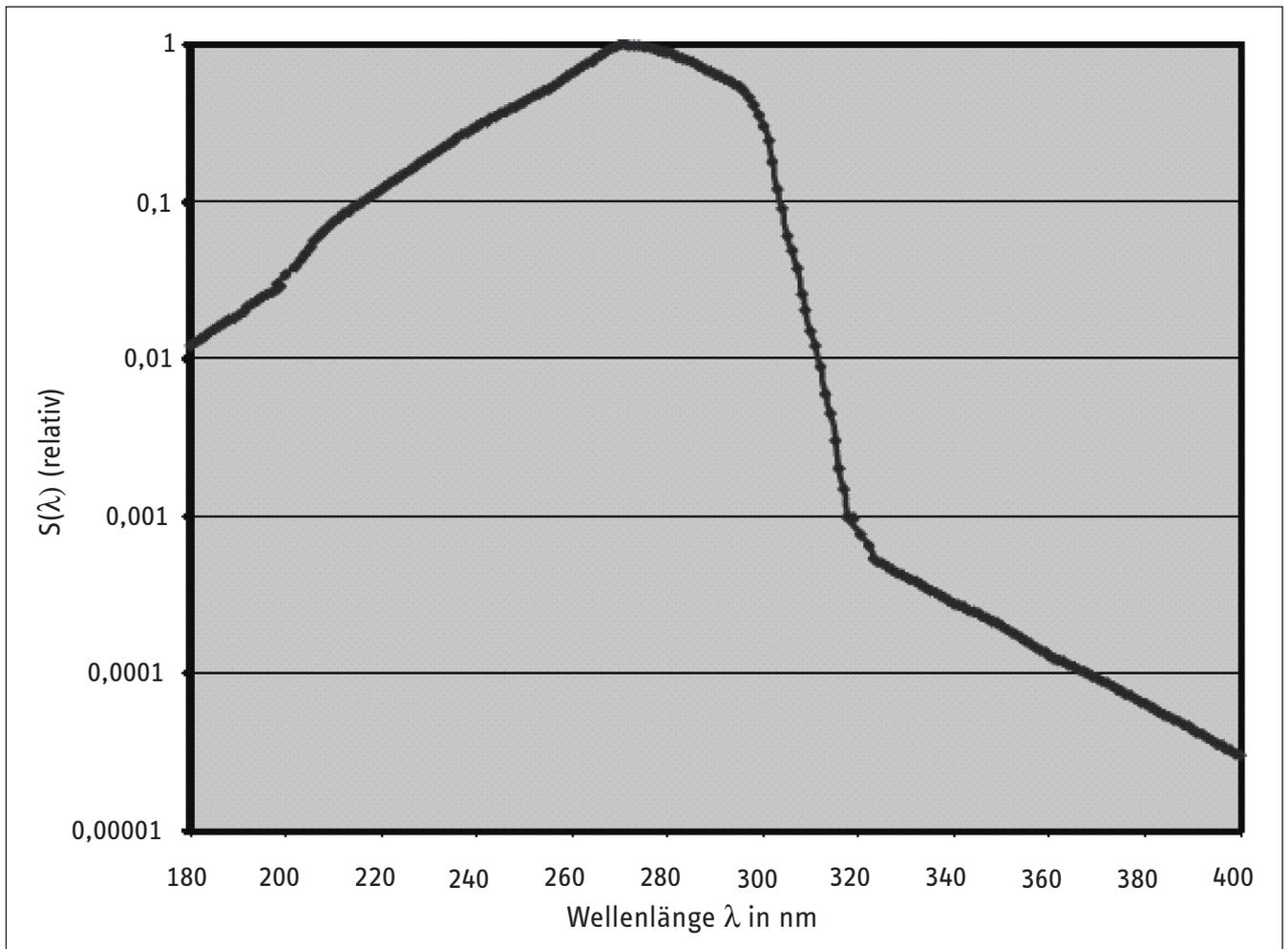
λ in nm	$S(\lambda)$								
180	0,0120	228	0,1740	276	0,9440	324	0,000520	372	0,0000866
181	0,0127	229	0,1820	277	0,9280	325	0,000500	373	0,0000834
182	0,0134	230	0,1900	278	0,9120	326	0,000480	374	0,0000802
183	0,0141	231	0,2000	279	0,8960	327	0,000460	375	0,0000770
184	0,0148	232	0,2100	280	0,8800	328	0,000440	376	0,0000744
185	0,0155	233	0,2200	281	0,8580	329	0,000425	377	0,0000718
186	0,0162	234	0,2300	282	0,8360	330	0,000410	378	0,0000692
187	0,0169	235	0,2400	283	0,8140	331	0,000397	379	0,0000666
188	0,0176	236	0,2520	284	0,7920	332	0,000383	380	0,0000640
189	0,0183	237	0,2640	285	0,7700	333	0,000370	381	0,0000618
190	0,0190	238	0,2760	286	0,7440	334	0,000355	382	0,0000596
191	0,0201	239	0,2880	287	0,7180	335	0,000340	383	0,0000574
192	0,0212	240	0,3000	288	0,6920	336	0,000328	384	0,0000552
193	0,0223	241	0,3120	289	0,6660	337	0,000316	385	0,0000530
194	0,0234	242	0,3240	290	0,6400	338	0,000304	386	0,0000512
195	0,0245	243	0,3360	291	0,6200	339	0,000292	387	0,0000494
196	0,0256	244	0,3480	292	0,6000	340	0,000280	388	0,0000476
197	0,0267	245	0,3600	293	0,5800	341	0,000272	389	0,0000458
198	0,0278	246	0,3740	294	0,5600	342	0,000264	390	0,0000440
199	0,0289	247	0,3880	295	0,5400	343	0,000256	391	0,0000424
200	0,0300	248	0,4020	296	0,5000	344	0,000248	392	0,0000408
201	0,0342	249	0,4160	297	0,4600	345	0,000240	393	0,0000392
202	0,0384	250	0,4300	298	0,4067	346	0,000232	394	0,0000376
203	0,0426	251	0,4475	299	0,3533	347	0,000224	395	0,0000360
204	0,0468	252	0,4650	300	0,3000	348	0,000216	396	0,0000348
205	0,0510	253	0,4825	301	0,2400	349	0,000208	397	0,0000336
206	0,0558	254	0,5000	302	0,1800	350	0,000200	398	0,0000324
207	0,0606	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000192	399	0,0000312
208	0,0654	256	0,5460	304	0,0900	352	0,000184	400	0,0000300
209	0,0702	257	0,5720	305	0,0600	353	0,000176		
210	0,0750	258	0,5980	306	0,0487	354	0,000168		
211	0,0790	259	0,6240	307	0,0373	355	0,000160		
212	0,0830	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000154		
213	0,0870	261	0,6820	309	0,0205	357	0,000148		
214	0,0910	262	0,7140	310	0,0150	358	0,000142		
215	0,0950	263	0,7460	311	0,0120	359	0,000136		
216	0,1000	264	0,7780	312	0,0090	360	0,000130		
217	0,1050	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1100	266	0,8480	314	0,0045	362	0,000122		

λ in nm	$S(\lambda)$								
219	0,1150	267	0,8860	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9240	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1260	269	0,9620	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1320	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000107		
223	0,1380	271	0,9920	319	0,00120	367	0,000103		
224	0,1440	272	0,9840	320	0,00100	368	0,000100		
225	0,1500	273	0,9760	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1580	274	0,9680	322	0,000670	370	0,0000930		
227	0,1660	275	0,9600	323	0,000540	371	0,0000898		

Erläuterungen zur Tabelle 1

Für UV-Strahlung, deren Wellenlänge nicht angegeben ist, kann der Wert der relativen spektralen Wirksamkeit durch Interpolation (aus den Werten für die nächstkleinere und für die nächstgrößere Wellenlänge) berechnet werden.

Im folgenden Diagramm ist die Funktion $S(\lambda)$ grafisch dargestellt.



Jahresexpositionsgrenzwert für Einwirkungen auf die Haut und die Augen (180 bis 400 nm)

Der Jahresexpositionsgrenzwert für Haut- und Augeneinwirkungen gilt

1. für die Exposition durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für UV-Einwirkungen an allen Arbeitstagen im Zeitraum eines Jahres,
3. zur Begrenzung des Risikos von langfristigen Schädigungen der Haut (z.B. Hautalterung, Hautkrebs) und der Augen (z.B. Katarakt).

Die effektive Bestrahlung H_{eff} für den Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm ist nach den Gleichungen (1) und (3) oder (4) der BGI 5006 zu bestimmen; die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Der Grenzwert für die effektive Bestrahlung für die Dauer eines Jahres (Jahresexpositionsgrenzwert der Bestrahlung) $H_{\text{eff(GW)}}$ durch UV-Strahleneinwirkungen im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180 \text{ nm}$ bis $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$ beträgt

$$H_{\text{eff(GW)}} = 4\,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Expositionsgrenzwerte für den Wellenlängenbereich zwischen 100 und 180 nm

Soll außer der Strahlung im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm auch Strahlung von 100 bis 180 nm bewertet werden, so ist die Berechnung von H_{eff} nach Gleichung (4) des Abschnittes 3.3 der BGI 5006 über den Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 100 \text{ nm}$ bis $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$ durchzuführen. Zwischen 100 und 180 nm kann für $S(\lambda)$ der Wert für 180 nm konstant über alle Wellenlängen verwendet werden.

Anmerkung: Strahlung mit Wellenlängen $<$ als 180 nm wird in Luft sehr stark absorbiert und kommt nur an wenigen Arbeitsplätzen vor. Bewertungen von Strahlungsexpositionen unterhalb von 180 nm sind daher nur sehr selten notwendig. Über die Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ liegen unterhalb von 180 nm noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

4.2.2.3 Messung und Bewertung von UV-Strahlenexpositionen

Um beurteilen zu können, ob von UV-Strahlung Gefährdungen ausgehen, ist es oft notwendig, die Strahlenexpositionen exponierter Personen zu messen und zu bewerten. In DIN EN 14255-1 [4] sind Verfahren zur Messung und Beurteilung personenbezogener Expositionen gegenüber ultravioletter Strahlung durch künstliche Strahlungsquellen festgelegt.

4.2.3 Sichtbare und Infrarotstrahlung

4.2.3.1 Wirkungen

Sichtbare Strahlung (Licht) ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 bis 780 nm. Als Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) wird elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 780 nm und 1 mm bezeichnet.

Beide Strahlungsarten können Schädigungen des Auges und der Haut hervorrufen. Wirkt Licht hoher Bestrahlungsstärke auf das Auge ein, so kann es zu einer Verbrennung und fotochemischen Schädigung der Netzhaut kommen. Auch eine langzeitige (chronische) Einwirkung von Licht auf das Auge kann über fotochemische Reaktionen zu einer Netzhautschädigung führen (sog. Blaulichtgefährdung oder Fotoretinitis).

Die Einwirkung sehr intensiver IR-Strahlung auf das Auge kann theoretisch unmittelbar zu einer Trübung der Augenlinse führen. In der Praxis kommt dies aufgrund der Wärmeempfindung und aufgrund des Lidschlussreflexes aber nicht vor. Dagegen werden vereinzelt Linsentrübungen (Katarakte) durch Infrarot-Strahleneinwirkungen über lange Zeiträume (10 bis 30 Jahre) beobachtet.

Die wichtigste Schädigungsmöglichkeit bei der kurzfristigen Einwirkung intensiver Wärmestrahlung (Licht und IR-Strahlung) auf die Haut ist die Verbrennung der Haut. Daneben kann eine Wärmestrahlungseinwirkung auch unterhalb der Verbrennungsschwelle zu einer thermischen Belastung des gesamten Körpers führen (siehe Abschnitt 3.1 „Klimatische Belastungen“).

4.2.3.2 Grenzwerte

Die im Folgenden aufgelisteten Expositionsgrenzwerte wurden der BGI 5006 [2] entnommen. Bei der Ermittlung der Strahlenexpositionen, die mit den Expositionsgrenzwerten verglichen werden sollen, sind für die Messgrößen die Basis-Berechnungsformeln (1) bis (9) des Abschnitts 3.3 der BGI 5006 und für die Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Winkelausdehnung der Quellen die Formeln (10) bis (12) des Abschnitts 3.3 der BGI 5006 anzuwenden.

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor thermischer Netzhautgefährdung (380 bis 1 400 nm)

Um die effektive Strahldichte L_R einer Quelle für die thermische Netzhautgefährdung im Wellenlängenbereich zwischen 380 und 1 400 nm zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (6) aus Abschnitt 3.3 der BGI 5006 anzuwenden. Die Werte der Funktion $R(\lambda)$ sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Um das Auge vor einer thermischen Netzhautgefährdung zu schützen, gilt für den Expositionsgrenzwert der effektiven Strahldichte $L_{R(\text{GW})}$ für eine Einwirkungsdauer t in s

$$L_{R(\text{GW})} = \frac{2,8 \cdot 10^4}{C_\alpha} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{für } t > 10 \text{ s}$$

$$L_{R(\text{GW})} = \frac{5 \cdot 10^4}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{für } 18 \mu\text{s} < t \leq 10 \text{ s}$$

$$L_{R(\text{GW})} = \frac{41,2}{C_\alpha \cdot t^{0,9}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{für } t \leq 18 \mu\text{s}$$

Dabei ist C_α der Korrekturfaktor nach Abschnitt 3.4 der BGI 5006 in rad.

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor der fotochemischen Netzhautgefährdung durch Blaulicht (Blaulichtgefährdung) des Auges (international: blue-light hazard) im Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 380$ nm und $\lambda_2 = 600$ nm

Je nach Winkelausdehnung α der Quelle ist einer der beiden folgenden Expositionsgrenzwerte (a) oder (b) anzuwenden.

(a) Winkelausdehnung der Quelle $\alpha \geq 0,011$ rad

Um die effektive Strahldichte L_B einer Quelle für die Blaulichtgefährdung im Wellenlängenbereich zwischen 380 und 600 nm zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (7) aus Abschnitt 3.3 der BGI 5006 anzuwenden. Die Werte der Funktion $B(\lambda)$ sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Um das Auge vor dieser Schädigung zu schützen, gilt folgender Wert $L_{B(GW)}$ für die maximal erlaubte effektive Strahldichte bei einer Einwirkungsdauer von t in s und einer Winkelausdehnung $\alpha \geq 0,011$ rad:

$$L_{B(GW)} = \frac{1 \cdot 10^6}{t} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{für } t \leq 10\,000 \text{ s}$$

$$L_{B(GW)} = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{für } t > 10\,000 \text{ s}$$

(b) Winkelausdehnung der Quelle $\alpha < 0,011$ rad

Um die effektive Blaulichtbestrahlungsstärke E_B der Quelle zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (8) aus Abschnitt 3.3 der BGI 5006 anzuwenden. Die Werte der Funktion $B(\lambda)$ sind Tabelle 2 (siehe Seite 172) zu entnehmen.

Um das menschliche Auge bei Quellen mit $\alpha < 0,011$ rad (11 mrad) vor einem Blaulichtschaden zu schützen, sind die folgenden expositionszeitabhängigen Grenzwerte $E_{B(GW)}$ einzuhalten:

$$E_{B(GW)} = \frac{100}{t} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{für } t \leq 10\,000 \text{ s}$$

$$E_{B(GW)} = 0,01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{für } t > 10\,000 \text{ s}$$

Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Augen vor IR-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 780 und 3 000 nm

Für IR-Strahleneinwirkung auf die Augen gelten die folgenden Expositionsgrenzwerte (a) und (b) gleichzeitig.

(a) Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Augen vor thermischen Schäden (780 bis 3 000 nm)

Der Expositionsgrenzwert gilt für

1. Einwirkungen durch künstliche IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. IR-Strahleneinwirkungen mit Einwirkungsauern bis 1 000 s, bei variierender Bestrahlungsstärke für den Maximalwert der Bestrahlungsstärke,

3. einmalige (bis zu 1 000 s) oder wiederholte IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Bei wiederholten IR-Einwirkungen muss zwischen den Einzelwirkungen eine ausreichend lange Abkühlungspause eingelegt werden. Die Abkühlpause soll mindestens 5 min betragen, wenn der Expositionsgrenzwert 25 % des Grenzwertes übersteigt,
4. den Schutz vor akuten thermischen Schäden des Auges.

Die Bestrahlungsstärke E_{IR} ist nach Gleichung (9) des Abschnittes 3.3 der BGI 5006 im Bereich von $\lambda_1 = 780$ nm bis $\lambda_2 = 3\,000$ nm zu bestimmen. Für Einwirkungsauern t bis zu 1 000 s beträgt der Expositionsgrenzwert für die Bestrahlungsstärke $E_{IR(GW)}$ durch Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 780$ nm bis $\lambda_2 = 3\,000$ nm

$$E_{IR(GW)} = 18\,000 \cdot t^{-0,75} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

(b) Expositionsgrenzwert zum Schutz des Auges vor Linsentrübungen (780 nm bis 3 000 nm)

Der Expositionsgrenzwert gilt

1. für Einwirkungen durch künstliche IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für einmalige oder wiederholte IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, darf dennoch der festgelegte 8-Stunden-Expositionsgrenzwert nicht überschritten werden,
3. zum Schutz vor langfristigen Schädigungen der Augenlinse (Linsentrübungen, Katarakte aufgrund von Kumulationswirkungen mit Latenzzeiten von 10 bis 30 Jahren).

Die Bestrahlung H während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h im Bereich von $\lambda_1 = 780$ nm bis $\lambda_2 = 3\,000$ nm ist nach Gleichung (5) des Abschnittes 3.3 der BGI 5006 zu bestimmen. Der Grenzwert für die Bestrahlung H während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h durch IR-Strahleneinwirkungen der Augen im Wellenlängenbereich von 780 bis 3 000 nm beträgt

$$H_{IR(GW)} = 3 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Expositionsgrenzwerte im sichtbaren und IR-Spektralbereich für Einwirkungen auf die Haut (380 bis 10⁶ nm)

Der Expositionsgrenzwert gilt

1. für Einwirkungen durch künstliche IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für IR-Strahleneinwirkungen mit Einwirkungsauern bis 10 s, bei variierender Bestrahlungsstärke für den Maximalwert der Bestrahlungsstärke,
3. für einmalige oder wiederholte IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Bei wiederholten IR-Einwirkungen muss zwischen den Einzeleinwirkungen eine ausreichend lange Abkühlungspause eingelegt werden. Die Abkühlpause soll mindestens 5 min betragen, wenn der Expositionswert 25 % des Grenzwertes übersteigt,
4. zum Schutz vor akuten Verbrennungen der Haut.

Die Bestrahlung H im Bereich von $\lambda_1 = 380$ nm bis $\lambda_2 = 10^6$ nm ist nach den Gleichungen (2) oder (5) des Abschnitts 3.3 der BGI 5006 zu bestimmen. Für Einwirkungsauern bis zu 10 s beträgt der Expositionsgrenzwert der Bestrahlung $H_{IR(GW)}$ durch Strahleneinwirkungen auf die Haut im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 10^6 nm

$$H_{IR(GW)} = 18\,000 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Für Wellenlängen, die nicht in Tabelle 2 angegeben sind, kann der Wert der relativen spektralen Wirksamkeit für $B(\lambda)$ bzw. $R(\lambda)$ durch Interpolation (aus den Werten für die nächstkleinere und für die nächstgrößere Wellenlänge) berechnet werden.

Tabelle 2:
Spektrale Wichtungsfaktoren für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautgefährdung

Wellenlänge λ in nm	Relative spektrale Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung $B(\lambda)$	Relative spektrale Wirksamkeit für die thermische Netzhautgefährdung $R(\lambda)$
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,4	4
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
> 500-600	$10^{0,02 \cdot (450-\lambda)}$	1
> 600-700	-	1
> 700-1050	-	$10^{0,002 \cdot (700-\lambda)}$
> 1050-1150	-	0,2
> 1150-1200	-	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150-\lambda)}$
> 1200-1400	-	0,02

4.2.3.4 Messung und Bewertung von sichtbarer und infraroter Strahlung

Um beurteilen zu können, ob von sichtbarer oder IR-Strahlung Gefährdungen ausgehen, ist es oft notwendig, die Strahlenexpositionen betroffener Personen zu messen und zu bewerten. In DIN EN 14255-2 [5] sind Verfahren zur Messung und Bewertung personenbezogener Expositionen gegenüber sichtbarer und infraroter Strahlung durch künstliche Strahlungsquellen festgelegt.

4.2.4 Literatur

- [1] BGV B2: Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“, (Ausg. 1/97). Carl Heymanns, Köln, 1997, mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1995, aktualisierte Nachdruckfassung der Durchführungsanweisungen vom April 2007
- [2] BGI 5006: Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung (Ausg. 10/2004). Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Carl Heymanns, Köln 2004
- [3] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung), (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EU (2006) Nr. L 114, S. 38-59
- [4] DIN EN 14255-1: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung. Ausg. 6/2005. Beuth, Berlin 2005
- [5] DIN EN 14255-2: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 2: Sichtbare und infrarote Strahlung künstlicher Quellen am Arbeitsplatz. Ausg. 3/2006. Beuth, Berlin 2006

4.3 Laserstrahlung

4.3.1. Erläuterungen

Laserstrahlung ist kohärente Strahlung, die meist bei einer einzelnen Wellenlänge im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Spektralbereich emittiert wird (siehe Abschnitt 4.2.1). Kohärenz bedeutet, dass die Entstehung der Strahlung auf atomarer Ebene koordiniert abläuft und sich die Strahlungsanteile, die von einzelnen Atomen oder Molekülen ausgesandt werden, zu einer intensiven Gesamtstrahlung überlagern.

Die möglichen Schädigungen durch Laserstrahlung sind die gleichen, wie für sie für inkohärente ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung beschrieben werden. Eine Schädigung insbesondere des Auges, aber auch der Haut, ist möglich. Da Laserstrahlung aufgrund der Kohärenzeigenschaft stark gebündelt werden kann, sind damit hohe Strahlungsintensitäten zu erzielen. Das Gefährdungspotenzial von Laserstrahlung ist deshalb im Allgemeinen wesentlich höher als dasjenige von inkohärenter optischer Strahlung.

4.3.2 Literatur

- [1] BGV B2: Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“, (Ausg. 1/97). Carl Heymanns, Köln, 1997, mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1995, aktualisierte Nachdruckfassung der Durchführungsanweisungen vom April 2007
- [2] DIN EN 60 825-1/VDE 0837 Teil 1: Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien, März 1997
- [3] DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien, November 2001
- [4] DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien, Oktober 2003
- [5] DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen. Mai 2008
- [6] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung), (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EU (2006) Nr. L 114, S. 38-59

4.3.3 Grenzwerte

Rechtsverbindliche Expositionsgrenzwerte für kohärente Strahlung sind im Anhang 2 der aktualisierten Nachdruckfassung der Durchführungsanweisungen zur Unfallverhütungsvorschrift BGV B2 „Laserstrahlung“ [1] festgelegt. Sie enthält Grenzwerte für die maximal zulässige Bestrahlung, die sog. MZB-Werte. Diese MZB-Werte basieren auf Richtwerten, die in der aktuellen Fassung der europäischen Norm DIN EN 60825-1 vom Oktober 2003 [4] empfohlen werden. Die übrigen Bestimmungen der BGV B2 basieren dagegen auf der Fassung der europäischen Norm DIN EN 60825-1 vom März 1997 [2], die danach mehrmals überarbeitet wurde [3; 4; 5]. So wurde z.B. mit der Ausgabe der europäischen Norm DIN EN 60825-1 vom November 2001 [3] die Anzahl der Laserklassen von fünf auf sieben erweitert. Damit taucht das Problem auf, dass die BGV B2 als geltende Rechtsvorschrift teils andere Regelungen enthält als die Lasernorm, die den Stand der Technik widerspiegelt und in der praktischen Umsetzung eine große Bedeutung hat. Um dem Anwender in dieser Situation eine Hilfestellung zu geben, wurden die Durchführungsanweisungen zur BGV B2 vom Oktober 1995 in der aktualisierten Nachdruckfassung von April 2007 dem Inhalt der aktuellen Lasernorm angepasst [1]. Darin wird erläutert, wie Lasereinrichtungen, die nach der Norm DIN EN 60825-1 vom November 2001 in den Verkehr gebracht werden, in Übereinstimmung mit der Unfallverhütungsvorschrift BGV B2 „Laserstrahlung“ und deren Anhängen betrieben werden können. Die Änderungen, die sich durch die neuen Klassen ergeben, werden hinsichtlich der auftretenden Gefährdungen erläutert und Schutzmaßnahmen den neuen Laserklassen zugeordnet. Auch die neuen, der europäischen Norm entnommenen Expositionsgrenzwerte (MZB-Werte) sind darin enthalten.

Hinweis: Zu einer Überarbeitung der BGV B2 wird es in Zukunft nicht mehr kommen. Im April 2006 ist die EU-Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ [6] erschienen, die auch Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung enthält. Sie muss bis spätestens April 2010 in nationales Recht umgesetzt werden. Sobald die Umsetzung erfolgt ist, wird die BGV B2 außer Kraft gesetzt werden. Es werden dann die Expositionsgrenzwerte der EU-Richtlinie gelten.

Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)

Die im Folgenden aufgelisteten MZB-Werte wurden dem Anhang 2 entnommen. Die Nummerierung in diesem Abschnitt entspricht ebenfalls der des Anhangs 2 der BGV B2 [1].

1 Allgemeine Bemerkungen

Die Werte für die maximal zulässige Bestrahlung (MZB) sind für die Benutzer so festgelegt, dass sie unterhalb der bekannten Gefahrenpegel liegen. Sie basieren auf den besten zur Verfügung stehenden Informationen aus experimentellen Studien. Die MZB-Werte sollten als Richtwerte bei der Kontrolle von Bestrahlungen angesehen werden; sie stellen keine präzise definierte Abgrenzung zwischen sicheren und gefährlichen Pegeln dar. In jedem Fall muss die Einwirkung der Laserstrahlung so gering wie möglich sein. Wenn ein Laser Strahlung bei mehreren sehr unterschiedlichen Wellenlängen emittiert oder wenn einer kontinuierlichen Strahlung Impulse überlagert sind, können die Berechnungen der Gefährdung kompliziert sein.

Im Wellenlängenbereich von 400 bis 600 nm wird für Expositionsdauern über 10 s zwischen fotochemischen und thermischen Wirkungen unterschieden. Diese sind zunächst getrennt zu bewerten. Der restriktivere Wert ist hierbei zu verwenden.

Bei Bestrahlung mit mehreren Wellenlängen sollte ein additiver Effekt auf einer proportionalen Basis der spektralen Wirksamkeit entsprechend den MZB-Werten von den Tabellen 6a, 6b und 7 (siehe Seite 179 ff.) angenommen werden, wenn

- a) die Impulsdauer oder Einwirkungsdauer innerhalb einer Größenordnung liegen und
- b) die Spektralbereiche in Tabelle 1 – durch die Symbole (A) für die Einwirkung auf das Auge und (H) für die Einwirkung auf die Haut dargestellt – als additiv gekennzeichnet sind. Dabei darf die Summe der Quotienten aus der jeweiligen Bestrahlung und dem zugehörigen MZB-Wert nicht größer als 1 sein.

Werden die Grenzwerte für das Auge (MZB) für Zeitbasen und Einwirkungsauern über 10 s bewertet, sind die additiven fotochemischen Wirkungen (400 nm bis 600 nm) und die additiven thermischen Wirkungen (400 nm bis 1400 nm) unabhängig voneinander zu untersuchen und der restriktivere Wert zu verwenden.

Wo die ausgestrahlten Wellenlängen nicht als additiv aufgezeigt sind, sind die Gefahren getrennt zu bewerten. Für Wellenlängen, bei denen die Wirkung als additiv bezeichnet ist, bei denen die Impulsdauern oder Einwirkungszeiten aber nicht von gleicher Größenordnung sind, ist extreme Vorsicht erforderlich (z.B. im Fall gleichzeitiger Einwirkung von gepulster und kontinuierlicher Strahlung).

2 Laser als ausgedehnte Quellen

Die folgenden Korrekturen zu den MZB-Werten für kleine Quellen sind in den meisten Fällen auf die Beobachtung diffuser Reflexionen und von LED beschränkt; in einigen Fällen könnten sie auch für Laseranordnungen oder ausgedehnte Quellen bei Lasereinrichtungen, die gestreute Strahlung erzeugen, gelten.

Für Laserstrahlung von ausgedehnten Quellen, z.B. Beobachten von diffusen Reflexionen, im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm werden die MZB-Werte für die thermische Netzhautgefährdung um den Faktor C_6 vergrößert, vorausgesetzt, dass die Winkelausdehnung der Quelle (gemessen am Auge des Beobachters) größer als α_{\min} ist, wobei α_{\min} gleich 1,5 mrad ist.

Tabelle 1:
Additivität der Wirkungen am Auge (A) und an der Haut (H) in verschiedenen Spektralbereichen

Spektralbereich	UV-C und UV-B 180 nm bis 315 nm	UV-A 315 nm bis 400 nm	Sichtbares und IR-A 400 nm bis 1400 nm	IR-B und IR-C 1400 nm bis 10 ⁶ nm
UV-C und UV-B 180 nm bis 315 nm	A H			
UV-A 315 nm bis 400 nm		A H	H	A H
Sichtbar und IR-A 400 nm bis 1400 nm		H	A H	H
IR-B und IR-C 1400 nm bis 10 ⁶ nm		A H	H	A H

2.1 Der Korrekturfaktor C_6

Der Korrekturfaktor C_6 ergibt sich aus Tabelle 2.

Tabelle 2:

$C_6 = 1$	Für $\alpha \leq \alpha_{\min}$
$C_6 = \alpha / \alpha_{\min}$	Für $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$
$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min}$	Für $\alpha > \alpha_{\max}$

2.2 Werte für α_{\min} und α_{\max}

Tabelle 3 enthält α_{\min} und α_{\max} .

Tabelle 3:

$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
$\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$

2.3 Wiederholt gepulste oder modulierte Laserstrahlung

Da es nur wenige Daten über die Bestrahlung mit Mehrfachimpulsen gibt, muss bei der Abschätzung der zulässigen Bestrahlung durch wiederholt gepulste Laserstrahlung besondere Vorsicht walten. Die folgenden Verfahren sollen angewandt werden, um die auf wiederholt gepulste Laserstrahlung anzuwendenden MZB-Werte zu bestimmen.

Die MZB für eine Bestrahlung der Augen im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 10^6 nm ist durch die Benutzung der restriktivsten der Anforderungen a), b) und c) bestimmt. Die Anforderung c) gilt nur für die thermischen MZB-Werte und nicht für die fotochemischen MZB-Werte.

Die MZB für eine Bestrahlung der Augen für Wellenlängen unter 400 nm und die MZB für eine Bestrahlung der Haut sind durch die Benutzung der restriktivsten der Anforderungen a) und b) bestimmt.

- Die Bestrahlung durch jeden Einzelimpuls einer Impulsfolge darf nicht den MZB-Wert für einen Einzelimpuls überschreiten.
- Die mittlere Bestrahlungsstärke für eine Impulsfolge der Einwirkungsdauer T darf den MZB-Wert nach Tabelle 6a, 6b und 7 für einen Einzelimpuls der Einwirkungsdauer T nicht übersteigen.
- Die mittlere Bestrahlung durch Impulse innerhalb einer Impulsfolge darf den MZB-Wert des Einzelimpulses multipliziert mit dem Korrekturfaktor C_5 nicht übersteigen.

Anmerkung 1:

Die Bestrahlungen in einer Impulsfolge sind über die gleiche Emissionsdauer zu mitteln, die für die Bestimmung der Anzahl N der Impulse während der Bestrahlung benutzt wird. Jede mittlere Bestrahlung durch Impulse muss mit dem reduzierten Grenzwert $MZB_{\text{Impulsfolge}}$ verglichen werden, so wie es im Folgenden angegeben ist:

$$MZB_{\text{Impulsfolge}} = MZB_{\text{Einzelimpuls}} \cdot C_5$$

Dabei ist:

$MZB_{\text{Impulsfolge}}$ = MZB-Wert für jeden Einzelimpuls in der Impulsfolge

$MZB_{\text{Einzelimpuls}}$ = MZB-Wert für einen Einzelimpuls

$C_5 = N^{-1/4}$, N = Anzahl der Impulse während der Bestrahlung

In manchen Fällen kann dieser Wert unter die MZB für Dauerbetrieb fallen, die bei gleicher Spitzenleistung und gleicher Zeitbasis gültig wäre. Unter diesen Voraussetzungen darf die MZB für Dauerbetrieb verwendet werden.

Werden Impulse veränderlicher Amplitude verwendet, ist die Bewertung für Impulse jeder Amplitude getrennt auszuführen sowie für die gesamte Impulsfolge.

Die längste Einwirkungsdauer, für die die Anforderung c) angewandt werden sollte, also zur Bestimmung von N , ist im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm T_2 (siehe Tabelle 8) und 10 s für längere Wellenlängen.

Anmerkung 2:

C_5 gilt nur für Dauern der Einzelimpulse unter 0,25 s.

Anmerkung 3:

Treten während der Zeitdauer T_i (siehe Tabelle 4) Mehrfachimpulse auf, werden sie als ein einziger Impuls gezählt, um N zu bestimmen, und die Bestrahlungen der einzelnen Impulse werden zum Vergleich mit der für T_i geltenden MZB addiert, falls alle einzelnen Impulsdauern größer als 10^{-9} s sind.

Tabelle 4:

Zeiten T_i , unterhalb denen die Impulsgruppen aufsummiert werden

Wellenlänge	T_i in s
$400 \text{ nm} \leq \lambda < 1050 \text{ nm}$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1050 \text{ nm} \leq \lambda < 1400 \text{ nm}$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1400 \text{ nm} \leq \lambda < 1500 \text{ nm}$	10^{-3}
$1500 \text{ nm} \leq \lambda < 1800 \text{ nm}$	10
$1800 \text{ nm} \leq \lambda < 2600 \text{ nm}$	10^{-3}
$2600 \text{ nm} \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$	10^{-7}

Anmerkung 4:

Die Bestrahlung durch jegliche Impulsgruppe (oder Impuls-Untergruppe einer Impulsfolge), die in irgendeinem Zeitintervall ausgesandt wird, sollte die MZB für diese Zeitdauer nicht überschreiten.

Anmerkung 5:

Falls die Impulsdauer oder die Impulsintervalle veränderlich sind, kann an Stelle der Anforderung c) die Methode der Impuls-Gesamt-Einschalt-Dauer (IGED) verwendet werden. In diesem Fall ist die MZB durch die Länge der IGED bestimmt, die die Summe über alle Impulsdauern innerhalb der Einwirkungsdauer darstellt bzw. durch T_2 – je nachdem was kürzer ist. Impulsen mit Impulsdauern unter T_1 werden Impulsdauern von T_1 zugeordnet. Treten zwei oder mehr Impulse innerhalb von T_1 auf, werden diesen Impulsgruppen Impulsdauern von T_1 zugeordnet. Zum Vergleich mit der MZB für die entsprechende Zeitdauer werden alle Energien der Einzelimpulse addiert.

Dieses Verfahren ist der Anforderung c) äquivalent, falls die mittlere Bestrahlung der Impulse mit der MZB für den Einzelimpuls multipliziert mit C_5 verglichen wird.

4 Messblenden

Für alle Messungen und Berechnungen der MZB-Werte ist eine geeignete Blende zu verwenden. Diese Blende ist bestimmt durch den maximalen Durchmesser einer kreisförmigen Fläche, über die die Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung zu mitteln ist. Die Werte für die Messblenden sind in der Tabelle 5 angegeben.

Für die Bestrahlung durch wiederholt gepulste Laser im Wellenlängenbereich zwischen 1400 nm und 10^6 nm wird die 1-mm-Blende für die Bestimmung der Gefährdung aus einem einzelnen Impuls verwendet; dagegen wird die 3,5-mm-Blende zur Bestimmung der maximal zulässigen Bestrahlung für Bestrahlungen länger als 3 s verwendet.

Anmerkung:

Die Werte für die Bestrahlung der Augen im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm sind mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser (Pupille) zu bestimmen. Der MZB-Wert darf nicht korrigiert werden, um kleinere Pupillendurchmesser zu berücksichtigen.

5 Messbedingungen

5.1 Messblende

Die Werte von Bestrahlung oder Bestrahlungsstärke, die mit den entsprechenden Werten der MZB verglichen werden sollen, sind über eine kreisförmige Blende zu mitteln, die den Messblenden von Tabelle 5 entsprechen.

Für Bestrahlung der Augen im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm ist ein minimaler Messabstand von 100 mm zu verwenden.

5.2 Empfangswinkel

a) Fotochemische MZB-Werte für die Netzhaut:

Bei Messungen an Quellen, die hinsichtlich der fotochemischen Grenzwerte (400 nm bis 600 nm) bewertet werden sollen, beträgt der Grenzeingangswinkel γ_p :

$$\text{für } 10 \text{ s} < t \leq 100 \text{ s}; \quad \gamma_p = 11 \text{ mrad}$$

$$\text{für } 100 \text{ s} < t \leq 10^4 \text{ s}; \quad \gamma_p = 1,1 \cdot t^{0,5} \text{ mrad}$$

$$\text{für } 10^4 \text{ s} < t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ s}; \quad \gamma_p = 110 \text{ mrad}$$

Tabelle 5:

Blendendurchmesser für die Messung der Bestrahlungsstärke und der Bestrahlung durch Laser

Wellenlängenbereich nm	Blendendurchmesser für	
	Auge mm	Haut mm
180 bis 400	1	3,5
≥ 400 bis 1400	7	3,5
≥ 1400 bis 10^5	1 für $t \leq 0,35 \text{ s}$ $1,5 t^{3/8}$ für $0,35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$ 3,5 für $t \geq 10 \text{ s}$	3,5
$\geq 10^5$ bis 10^6	11	11

Ist die Winkelausdehnung α der Quelle größer als der angegebene Grenzeingangswinkel γ_p , sollte der Empfangswinkel nicht größer als die Werte sein, die für γ_p festgelegt sind. Ist die Winkelausdehnung α der Quelle kleiner als der angegebene Grenzeingangswinkel γ_p , muss der Empfangswinkel die betrachtete Quelle voll erfassen, braucht im Übrigen aber nicht genau definiert zu sein, d.h., der Empfangswinkel braucht nicht auf γ_p beschränkt zu sein.

Anmerkung :

Ist bei Messungen an einzelnen kleinen Quellen $\alpha < \gamma_p$, dann braucht nicht mit einem bestimmten, genau definierten Empfangswinkel gemessen zu werden. Um einen genau definierten Empfangswinkel zu erhalten, kann der Empfangswinkel entweder durch Abbildung der Quelle auf eine Feldblende oder durch eine Ablendung der Quelle festgelegt werden.

b) Alle anderen Grenzwerte:

Für die Messung von Strahlung, die mit anderen MZB-Werten als denen für die fotochemische Gefährdung der Netzhaut verglichen werden soll, muss der Empfangswinkel die betrachtete Quelle voll erfassen (d.h., der Empfangswinkel muss mindestens so groß sein wie die Winkelausdehnung α der Quelle). Ist jedoch im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm $\alpha > \alpha_{\max}$, darf der Grenzeingangswinkel für die MZB-Werte, die sich auf die thermische Gefährdung beziehen, nicht größer als α_{\max} (0,1 rad) sein. In dem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm muss für die MZB-Werte, die sich auf die thermische Gefährdung beziehen, der Empfangswinkel für die Bewertung einer scheinbaren Quelle, die aus mehreren Punkten besteht, im Bereich $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$ liegen.

5.3 Messung richtungsveränderlicher Laserstrahlung

Messungen an richtungsveränderlicher Laserstrahlung haben mit einer stillstehenden Messblende mit 7 mm Durchmesser zu erfolgen (die entstehende zeitliche Änderung der aufgenommenen Strahlung soll als Impuls oder als Impulsfolge betrachtet werden).

6 Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm

Für den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm sind noch keine speziellen Werte für die maximal zulässige Bestrahlung festgelegt. Bis zu einer solchen Festlegung sind die MZB-Werte für die Wellenlänge 180 nm zu verwenden.

Tabelle 6a:

Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) der Hornhaut bei direkter Bestrahlung durch Laserstrahlung^{a, b, c} (Einwirkungsdauer von 10^{-13} s bis 10 s)

Einwirkungs- dauer in s Wellen- länge λ in nm	10^{-13} bis 10^{-11}	10^{-11} bis 10^{-9}	10^{-9} bis 10^{-7}	10^{-7} bis $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$ bis 10
180 bis 302,5	$3 \cdot 10^{10} \cdot W \cdot m^2$		$30 J \cdot m^{-2}$				
302,5 bis 315			$C_2 J \cdot m^{-2} (t > T_1)$				
315 bis 400			$C_1 J \cdot m^{-2} (t \leq T_1)$				
400 bis 700	$1,5 \cdot 10^{-4} C_6 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_6 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} C_6 J \cdot m^{-2}$	$18 t^{0,75} C_6 J \cdot m^{-2}$			
700 bis 1050	$1,5 \cdot 10^{-4} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$18 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$			
1050 bis 1400	$1,5 \cdot 10^{-3} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^5 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$		$90 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$		
1400 bis 1500	$10^{12} W \cdot m^{-2}$		$10^3 J \cdot m^{-2}$				$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$
1500 bis 1800	$10^{13} W \cdot m^{-2}$		$10^4 J \cdot m^{-2}$				
1800 bis 2 600	$10^{12} W \cdot m^{-2}$		$10^3 J \cdot m^{-2}$				$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$
2 600 bis 10^6	$10^{11} W \cdot m^{-2}$		$100 J \cdot m^{-2}$	$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$			

^a Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 8

^b Die MZB für Einwirkungsauern unter 10^{-9} und für Wellenlängen unter 400 nm sowie größer als 1400 nm wurden abgeleitet, indem die äquivalente Bestrahlungsstärke aus den MZB-Werten, die für 10^{-9} s gelten, berechnet wurde. Die MZB für Einwirkungsauern unter 10^{-13} s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei 10^{-13} s gelten.

^c Der Winkel γ_p ist der Grenzeinfallswinkel für das Messinstrument.

^d Im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 600 nm gelten zweierlei Grenzwerte, und die Bestrahlung darf keinen der geltenden MZB-Werte überschreiten. Normalerweise gelten die MZB-Werte für fotochemische Netzhautgefährdung für Einwirkungsauern über 10 s; der MZB-Wert von $100 \cdot C_3 J \cdot m^2$ für fotochemische Gefährdung ist jedoch für Wellenlängen zwischen 400 nm und 484 nm und für Größen scheinbarer Quellen zwischen 1,5 mrad und 82 mrad bei Einwirkungsauern über 1 s zu verwenden.

Tabelle 6b:

Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) der Hornhaut bei direkter Bestrahlung durch Laserstrahlung^{a, b, c} (Einwirkungsdauer von 10 s bis 3 · 10⁴ s)

Einwirkungs- dauer in s	10 bis 10 ²		10 ² bis 10 ³	10 ³ bis 10 ⁴	10 ⁴ bis 3 · 10 ⁴
Wellen- länge λ in nm					
180 bis 302,5	30 J · m ⁻²				
302,5 bis 315	C ₂ J · m ⁻²				
315 bis 400	10 ⁴ J · m ⁻²			10 W · m ⁻²	
400 bis 700	fotochemische Gefährdung der Netzhaut				
	400 bis 600 nm	100 C ₃ J · m ⁻² mit γ _p = 11 mrad	1 C ₃ W · m ⁻² mit γ _p = 1,1 t ^{0,5} mrad		1 C ₃ W · m ⁻² mit γ _p = 110 mrad
		und ^d			
	400 bis 700 nm	thermische Gefährdung der Netzhaut			
18 t ^{0,75} C ₆ J · m ⁻² (t ≤ T ₂)		α ≤ 1,5 mrad: 10 W · m ⁻² α > 1,5 mrad: 18 C ₆ T ₂ ^{-0,25} W · m ⁻² (t > T ₂)			
700 bis 1050	α ≤ 1,5 mrad: 10 C ₄ C ₇ W · m ⁻² α > 1,5 mrad: 18 C ₄ C ₆ C ₇ T ₂ ^{-0,25} W · m ⁻² (t > T ₂)				
1050 bis 1400					
1400 bis 1500	1000 W · m ⁻²				
1500 bis 1800					
1800 bis 2600					
2600 bis 10 ⁶					

^a Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 8^b Die MZB für Einwirkungsauern unter 10⁻⁹ und für Wellenlängen unter 400 nm sowie größer als 1400 nm wurden abgeleitet, indem die äquivalente Bestrahlungsstärke aus den MZB-Werten, die für 10⁻⁹ s gelten, berechnet wurde. Die MZB für Einwirkungsauern unter 10⁻¹³ s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei 10⁻¹³ s gelten.^c Der Winkel ist γ_p ist der Grenzempfangswinkel für das Messinstrument.^d Im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 600 nm gelten zweierlei Grenzwerte, und die Bestrahlung darf keinen der geltenden MZB-Werte überschreiten. Normalerweise gelten die MZB-Werte für fotochemische Netzhautgefährdung für Einwirkungsauern über 10 s; der MZB-Wert von 100 · C₃ J · m² für fotochemische Gefährdung ist jedoch für Wellenlängen zwischen 400 nm und 484 nm und für große scheinbare Quellen zwischen 1,5 mrad und 82 mrad bei Einwirkungsauern über 1 s zu verwenden.

Tabelle 7:

Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) für die Einwirkung von Laserstrahlung auf die Haut ^{a, b, c}

Einwirkungs- dauer t in s	$< 10^{-9}$	10^{-9} bis 10^{-7}	10^{-7} bis 10^{-3}	10^{-3} bis 10	10 bis 10^3	10^3 bis $3 \cdot 10^4$
Wellenlänge λ in nm						
180 bis 302,5	$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
302,5 bis 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t \leq T_1)$			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t > T_1)$	
315 bis 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
400 bis 700	$2 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 bis 1400	$2 \cdot 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1400 bis 1500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ }^c$	
1500 bis 1800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
1800 bis 2600	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
2600 bis 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		

^a Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 8.

^b Es gibt nur wenig Erfahrung über die Wirkung bei Einwirkungsdauern unter 10^{-9} s. Die MZB-Werte für diese Einwirkungsdauern wurden abgeleitet von der Bestrahlung bei 10^{-9} s.

^c Für bestrahlte Hautflächen größer als $0,1 \text{ m}^2$ wird der MZB-Wert auf $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ verringert. Zwischen $0,01 \text{ m}^2$ und $0,1 \text{ m}^2$ verändert sich der MZB-Wert umgekehrt proportional zur bestrahlten Hautfläche.

Anmerkungen zu den Tabellen 6a, 6b und 7:

- Es gibt nur ein begrenztes Wissen über Effekte von Einwirkungsdauern, die kleiner sind als 10^{-9} s. Die MZB-Werte für diese Einwirkungsdauern sind aus den Werten abgeleitet worden, die sich für die Bestrahlungsstärke für 10^{-9} s ergeben.
- Die speziellen Korrekturfaktoren C_1 bis C_7 und die Knickstellen T_1 bis T_2 , die in den Tabellen 6 und 7 verwendet werden, sind durch die folgenden Beziehungen definiert (siehe Tabelle 8).
- In den Formeln in den Tabellen 6a, 6b und 7 muss die Wellenlänge λ in nm und die Einwirkungsdauer t in s eingesetzt werden.

Tabelle 8:
Definition der Parameter

Parameter	Spektralbereich [nm]
$C_1 = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$	302,5 bis 400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15} \text{s}$	302,5 bis 315
$C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$	302,5 bis 315
$T_2 = 10 \cdot 10^{[(\alpha - 1,5 \text{ mrad})/98,5]} \text{s}^*$	400 bis 1 400
$C_3 = 1,0$	400 bis 450
$C_3 = 10^{0,02(\lambda - 450)}$	450 bis 600
$C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$	700 bis 1 050
$C_4 = 5$	1 050 bis 1 400
$C_5 = N^{-1/4} **$	400 bis 10^6
$C_6 = 1$ für $\alpha \leq \alpha_{\min} ***$	400 bis 1 400
$C_6 = \alpha/\alpha_{\min}$ für $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max} ***$	400 bis 1 400
$C_6 = \alpha_{\max}/\alpha_{\min} = 66,7$ für $\alpha > \alpha_{\max} ****/****$	400 bis 1 400
$C_7 = 1$	700 bis 1 150
$C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$	1 150 bis 1 200
$C_7 = 8$	1 200 bis 1 400

* $T_2 = 10 \text{ s}$ für $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ und $T_2 = 100 \text{ s}$ für $\alpha > 100 \text{ mrad}$

** C_5 gilt nur für Impulsdauern unter 0,25 s

*** C_6 gilt nur für gepulste Laser und für Dauerstrichlaser, mit dominierender thermischer Gefährdung (siehe Tabelle 6)

**** Der Grenzempfangswinkel γ_p muss gleich α_{\max} sein

$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$

$\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$

N ist die Zahl der Impulse während der anzuwendenden Zeitdauer

4.4 Elektromagnetische Felder

4.4.1 Erläuterungen

Elektromagnetische Felder werden wie optische Strahlungen zur nicht ionisierenden Strahlung gezählt. Ihr Spektrum umfasst den Frequenzbereich von $f = 0$ Hz bis 300 GHz, in dem unterschieden wird in

- statische elektrische und magnetische Felder:
 $f = 0$ Hz
- niederfrequente elektrische und magnetische Felder:
 $0 \text{ Hz} < f < 30 \text{ kHz}$
- hochfrequente elektromagnetische Felder:
 $30 \text{ kHz} < f < 300 \text{ GHz}$

Bei der Einwirkung dieser Felder auf den Menschen ist die Wirkung je nach Frequenzbereich unterschiedlich. Während es bei niederfrequenten Feldern bis zu etwa 30 kHz zu Reizungen von Muskeln und Nervenzellen kommen kann, ist die Wirkung von Feldern oberhalb dieses Frequenzbereichs thermischer Natur: Deren Einwirkung kann bei hoher Intensität zu lokaler Temperaturerhöhung im Körper und damit zur Schädigung von Körperteilen führen.

4.4.2 Grenzwerte

Bei der Errichtung und beim Betrieb von Anlagen, die elektromagnetische Felder zu gewerblichen Zwecken erzeugen (z.B. Sendeanlagen), sind die Grenzwerte nach der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [1] einzuhalten. Diese Grenzwerte dienen zum Schutz der Allgemeinheit vor schädlichen Einwirkungen durch die erzeugten Felder.

Grenzwerte zum Schutz vor Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern an Arbeitsplätzen sind in der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ [2] festgelegt. Sie wird durch die BG-Regel BGR B11 „Elektromagnetische Felder“ [3] näher erläutert. Die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 unterscheidet zwischen „Basiswerten“ und davon „abgeleiteten Werten“. Die Basiswerte sind Grenzwerte für die unmittelbare Einwirkung elektromagnetischer Felder auf den menschlichen Körper. Sie sind für die Größen Körperstromdichte, spezifische Absorption, spezifische Absorptionsrate und Leistungsflussdichte festgelegt. Da sich diese Größen im Allgemeinen nur schwer messen lassen, wurden auch Grenzwerte für die leichter zu messenden Größen elektrische und magnetische Feldstärke, magnetische Flussdichte, Leitungsflussdichte, Körperstrom und Berührungsspannung angegeben – diese werden als abgeleitete Werte bezeichnet. Es gilt die Regelung, dass die Basiswerte in jedem Fall einzuhalten sind. Werden die abgeleiteten Werte, die den Basiswerten zumindest gleichwertig, meist aber restriktiver sind, eingehalten, dann ist man sicher, dass auch die Basiswerte eingehalten werden. Diese Regelung hat den Vorteil, dass man in der Regel nur einfach messbare Größen bestimmen muss wie z.B. elektrische und magnetische Feldstärken.

Die Grenzwerte werden in der BGV B11 als „zulässige Werte“ bezeichnet. Gemeint ist damit die Obergrenze einer Größe, die einzuhalten ist. Im Abschnitt 4.4.4 sind die zulässigen Werte nach BGV B11 zusammengestellt.

Hinweis: Die Regelungen der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 werden in Zukunft von den Regelungen der europäischen Richtlinie 2004/40/EG [4] abgelöst, in der zwischen Expositionsgrenzwerten und Auslösewerten unterschieden wird. Die Expositionsgrenzwerte stimmen mit den Basiswerten und die Auslösewerte in etwa mit den zulässigen Werten für den Expositionsbereich 2 der BGV B11 überein. Bei einer Überschreitung der Auslösewerte muss in Zukunft die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nachgewiesen werden. Die EU-Richtlinie 2004/40/EG muss bis spätestens April 2012 in nationales Recht umgesetzt werden. Sobald die Umsetzung dieser EU-Richtlinie in nationales Recht erfolgt, wird die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 außer Kraft gesetzt werden.

4.4.3 Literatur

[1] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996, BGBl. I (1996) Nr. 66, ausgegeben am 20. Dezember 1996

[2] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Elektromagnetische Felder (BGV B11). Ausg. 6/2001. Carl Heymanns, Köln 2001

[3] Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Elektromagnetische Felder (BGR B11). Ausg. 1/2006. Hrsg.: Fachausschuss „Elektrotechnik“ der Berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit bei der Arbeit (BGZ). Carl Heymanns, Köln 2006

[4] Berichtigung der Richtlinie 2004/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (18. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EU (2004) Nr. L 184, S. 1-9

4.4.4 Zulässige Werte nach BGV B11

Hinweis: Die im Folgenden aufgelisteten Grenzwerte wurden der Anlage 1 der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“, Juni 2001 [2], entnommen. Die Nummerierung in diesem Abschnitt entspricht der Anlage 1 der BGV B11 [2].

Zulässige Werte für elektromagnetische Felder

Als zulässige Werte werden Basis- und abgeleitete Werte für die verschiedenen Expositionsbereiche angegeben. Diese gelten für sinusförmige periodische Vorgänge einer Frequenz. Für gepulste elektromagnetische Felder und Anwendung der Basiswerte siehe Abschnitte 3 und 4.

Die zulässigen Werte für **Expositionsbereich 1** orientieren sich am Konzept der Vermeidung von Gefährdungen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren. Es sind Effekte berücksichtigt wie Reizung von Sinnesorganen, Nerven- und Muskelzellen, Beeinflussung der Herzaktion und Wärmeeffekte. Die Werte gelten längstens für eine Arbeitsschicht.

Für den **Expositionsbereich 2** gelten Werte, die aufgrund der allgemeinen Zugänglichkeit und zur Vermeidung möglicher Belästigungen zusätzliche Sicherheitsfaktoren berücksichtigen.

1 Basiswerte für unmittelbare Wirkungen

Als Basiswerte für unmittelbare Wirkungen sind die in Tabelle 1 angegebenen Grenzwerte festgelegt.

2 Abgeleitete Werte

Die abgeleiteten Werte sind so festgelegt, dass selbst unter Zugrundelegung der ungünstigsten Expositionsbedingungen der EM-Felder die Basiswerte nicht überschritten werden. Die abgeleiteten Werte für den Expositionsbereich 1 und den Expositions-

bereich 2 wurden dabei unter Berücksichtigung verschiedener Sicherheitsfaktoren aus den Basiswerten der Tabelle 1 berechnet.

Die abgeleiteten Werte sind grundsätzlich einzuhalten. Sie dürfen überschritten werden, wenn nachgewiesen ist, dass die Basiswerte nicht überschritten werden.

Die Einhaltung der abgeleiteten Werte gewährleistet nicht zwangsläufig die Sicherheit von Trägern aktiver elektronischer Körperhilfsmittel.

Die Abbildungen 1 und 2 enthalten die grafische Darstellung der abgeleiteten Werte.

Tabelle 1:
Basiswerte für unmittelbare Wirkungen

Frequenzbereich	Effektivwert der elektrischen Stromdichte J in A/m^2 ¹	Spezifische Absorptionsrate SAR in W/kg ⁴			Spezifische Absorption für Impulsfelder SA in J/kg ^{5,6}	Leistungsdichte S in W/m^2 ^{7,8}
		Ganzkörpermittelwert	Lokale SAR ⁵			
			Kopf und Rumpf	Gliedmaßen		
> 0-1 Hz	0,040	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1-4 Hz	$0,040/f^2$	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
4-1 000 Hz	0,010	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1-100 kHz	$f/100^3$	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
0,1-10 MHz	$f/100^3$	0,4	10	20	(-)	(-)
0,01-10 GHz	(-)	0,4	10	20	0,01	(-)
10-300 GHz	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	50

¹ Über jedes Flächenelement von 1 cm^2 senkrecht zur Stromrichtung sowie über jedes Zeitintervall von 1 s zu mitteln

² f in Hz

³ f in kHz

⁴ Über jedes 6 Minuten-Intervall arithmetisch zu mitteln

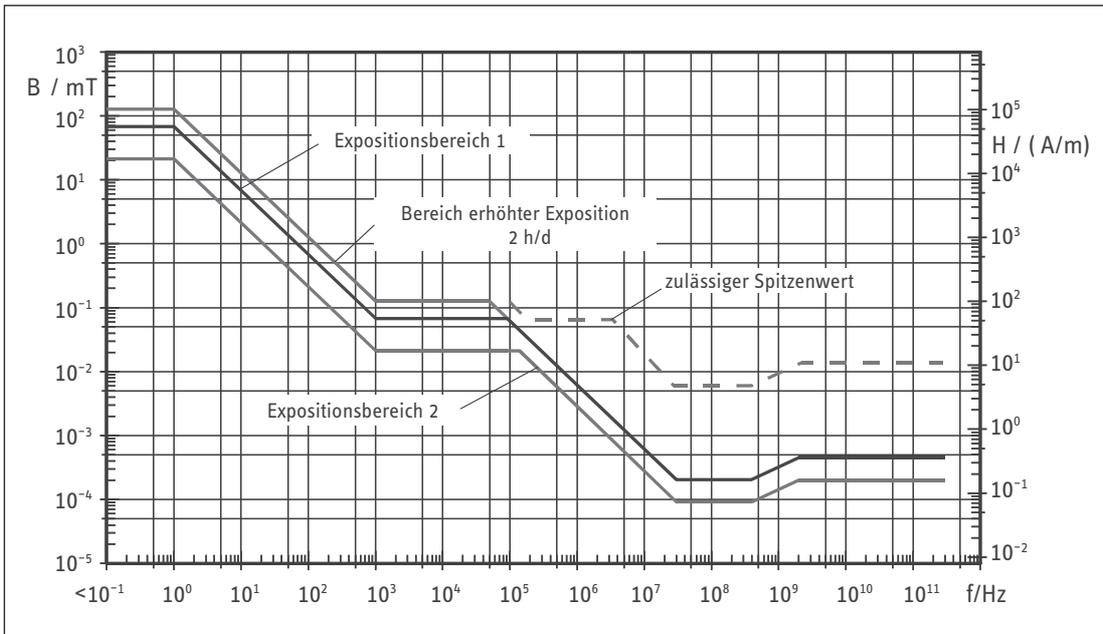
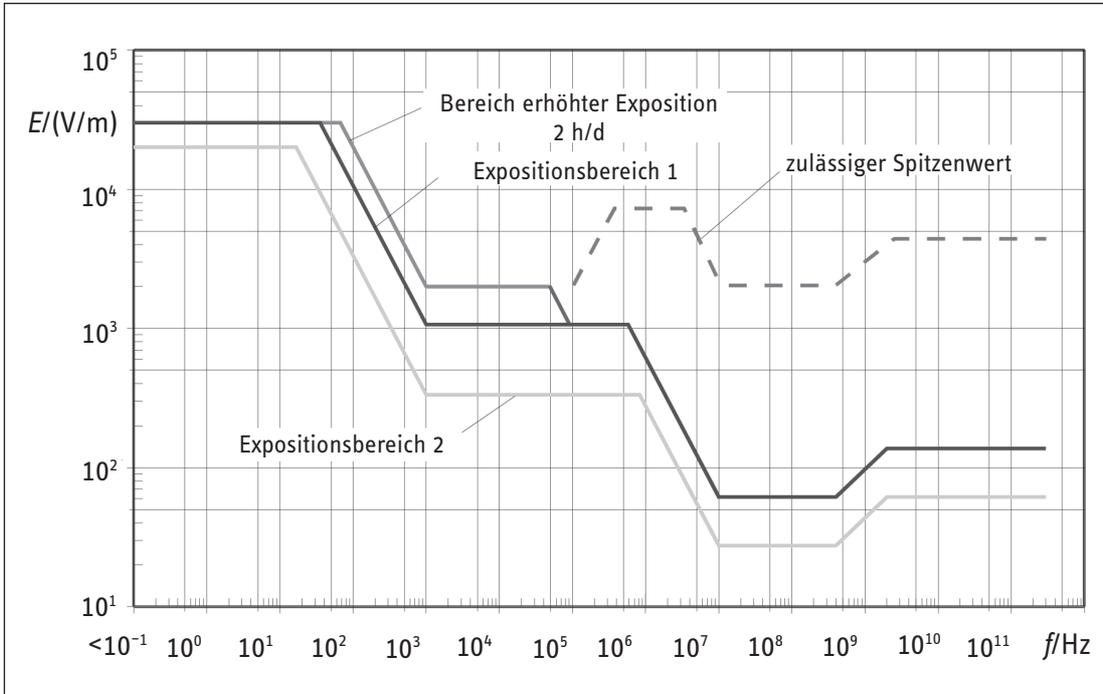
⁵ Mittelungsmasse 10 g

⁶ Trägerfrequenz $f > 300\text{ MHz}$ und Pulslänge $T < 30\text{ }\mu\text{s}$

⁷ Über jedes Flächenelement von 20 cm^2 und jedes Zeitintervall von jeweils $68/f^{1,05}$ -Minuten (f in GHz) zu mitteln

⁸ Die maximale örtliche Leistungsdichte gemittelt über jedes Flächenelement von 1 cm^2 darf 1 kW/m^2 nicht überschreiten

(-) bei diesen Frequenzen nicht relevant



2.1 Abgeleitete Werte im Frequenzbereich 0 Hz bis 29 kHz

2.1.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Bei der Festlegung der Werte für kurze Expositionszeiten werden die Sicherheitsfaktoren der abgeleiteten Werte für Expositionsbereich 1 verringert. Dies ist aufgrund der Größe der Sicherheitsfaktoren und der kontrollierten Expositionsbedingungen zulässig. Zur Begrenzung von Sekundäreffekten darf beim elektrischen Feld ein Wert von 30 kV/m nicht überschritten werden.

Tabelle 2:

Effektivwerte der elektrischen Feldstärke im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f/Hz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0-35,53	30	30
35,53-66,67	$1066/f$	30
66,67-1000	$1066/f$	$2000/f$
1000-29000	1,066	2

Der zulässige Wert der magnetischen Flussdichte im Frequenzbereich 0 bis 1 Hz des Expositionsbereiches 1 ist aufgrund von Induktionwirkungen auf bewegte leitfähige Körper im Magnetfeld festgelegt worden. Zusätzlich ist in diesem Frequenzbereich die Kraftwirkung auf ferromagnetische Teile zu berücksichtigen.

Für Extremitäten dürfen die in Tabelle 3 angegebenen Werte für Magnetfelder um den Faktor 2,5 überschritten werden.

Tabelle 3:

Effektivwerte der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f/Hz	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in mT^1	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0-1	$67,9^2$	$127,3^2$
1-1000	$67,9/f$	$127,3/f$
1000 -29000	$67,9 \cdot 10^{-3}$	$127,3 \cdot 10^{-3}$

¹ Über Flächenelemente von 100 cm^2 zu mitteln

² Werte oberhalb von $67,9 \text{ mT}$ dürfen nur unter Beachtung von § 14 angewendet werden.

2.1.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 4:

Effektivwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 2

Frequenzbereich f/Hz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in mT^1
0-1	20	21,22
1-16,67	20	$21,22/f$
16,67-1000	$333,3/f$	$21,22/f$
1000-29000	$333,3 \cdot 10^{-3}$	$21,22 \cdot 10^{-3}$

¹ Über Flächenelemente von 100 cm^2 zu mitteln

2.2 Übergangsbereich 29 kHz bis 91 kHz

Die Festlegungen für diesen Frequenzbereich berücksichtigen den Übergang von niederfrequenten Reizwirkungen zu hochfrequenten Wärmewirkungen.

2.2.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Tabelle 5:

Effektivwerte der elektrischen Feldstärke im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich <i>f</i> /kHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
29-48,5	1,066	2
48,5-91	1,066	97/ <i>f</i>

Tabelle 6:

Effektivwerte der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich <i>f</i> /kHz	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in μT^1	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
29 -48,5	67,9	127,3
48,5-91	67,9	6 176/ <i>f</i>

¹ Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

2.2.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 7:

Effektivwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 2

Frequenzbereich <i>f</i> /kHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in μT^1
29-91	333,3	21,22

¹ Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

2.3 Abgeleitete Werte im Frequenzbereich 91 kHz bis 300 GHz

Für Expositionszeiten $t \geq 6$ Minuten (Dauerexposition) gelten die Werte nach Tabelle 8 bzw. 11. Dabei ist über jedes 6-Minuten-Intervall zu mitteln. Neben der Angabe von zulässigen Werten für Dauerexposition sind für Expositionszeiten $t < 6$ Minuten wegen der Thermoregulation des Körpers höhere Werte zulässig. Diese sind für jeden Einzelfall mit den in der Tabelle 9 enthaltenen Formeln zu bestimmen. Bei Anwendung der Werte der Tabelle 9 ist zusätzlich sicherzustellen, dass die Spitzenwerte nach Tabelle 10 nicht überschritten werden.

2.3.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Tabelle 8:

Werte im Expositionsbereich 1 bei Expositionszeiten ≥ 6 Minuten

Frequenzbereich <i>f</i> /MHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Mittelwert der Leistungsdichte in W/m ²
0,091-0,576	1066	4,9/ <i>f</i>	(-)
0,576-10	614/ <i>f</i>	4,9/ <i>f</i>	(-)
10-30	61,4	4,9/ <i>f</i>	(-)
30-400	61,4	0,163	10
400-2000	$3,07 \cdot \sqrt{f}$	$8,14 \cdot \sqrt{f} \cdot 10^{-3}$	<i>f</i> /40
2000-300000	137,3	0,364	50

Tabelle 9:
Werte im Bereich erhöhter Exposition (Expositionszeiten < 6 Minuten)

Frequenzbereich f/MHz	Höchstwert von $\sum E_i^2 \cdot t_i$ in $(\text{V/m})^2 \cdot \text{min}$	Höchstwert von $\sum H_i^2 \cdot t_i$ in $(\text{A/m})^2 \cdot \text{min}$	Höchstwert von $\sum S_i^2 \cdot t_i$ in $(\text{W/m}^2) \cdot \text{min}$
1-10	$2,26 \cdot 10^6/f^2$	$143/f^2$	(-)
10-30	$22,6 \cdot 10^3$	$143/f^2$	(-)
30-400	$22,6 \cdot 10^3$	0,16	60
400-2 000	$56,5 \cdot f$	$0,4 \cdot 10^{-3} \cdot f$	$0,15 \cdot f$
2 000-300 000	$113 \cdot 10^3$	0,8	300

E_i, H_i gemessener oder berechneter Effektivwert der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke während des i -ten Intervalls

S_i gemessener oder berechneter Mittelwert der Leistungsdichte während des i -ten Intervalls

t_i Dauer des i -ten Intervalls

Tabelle 10:
Spitzenwerte im Bereich erhöhter Exposition (Expositionszeiten < 6 Minuten)

Frequenzbereich f/MHz	Spitzenwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Spitzenwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Spitzenwert der Leistungsdichte in W/m^2
0,091-0,1	2 222	$10/f$	(-)
0,1-0,2	$22 222 \cdot f$	$10/f$	(-)
0,2-0,3	$22222 \cdot f$	50	(-)
0,3-3	6 667	50	(-)
3-10	$20 000/f$	$150/f$	(-)
10-30	2 000	$150/f$	(-)
30-400	2 000	5	10000
400-2 000	$100 \cdot \sqrt{f}$	$0,25 \cdot \sqrt{f}$	$25 \cdot f$
2 000-300 000	4472	11,2	50000

2.3.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 11:
Werte im Expositionsbereich 2 bei Expositionszeiten ≥ 6 Minuten

Frequenzbereich f/MHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Mittelwert der Leistungsdichte in W/m^2
0,091-0,14	333,3	16,8	(-)
0,14-0,826	333,3	$2,35/f$	(-)
0,826-10	$275/f$	$2,35/f$	(-)
10-30	27,5	$2,35/f$	(-)
30-400	27,5	0,073	2
400-2 000	$1,375 \cdot \sqrt{f}$	$3,64 \cdot \sqrt{f} \cdot 10^{-3}$	$f/200$
2 000-300 000	61,5	0,163	10

2.3.3 Zulässige Werte für hochfrequente Ströme im Frequenzbereich 10 MHz bis 110 MHz

Im Frequenzbereich von 10 MHz bis 110 MHz können im menschlichen Körper hochfrequente Ströme eingekoppelt werden, durch die die SAR-Werte in den Extremitäten überschritten werden können. Aus diesem Grund werden zusätzlich zu den Feldstärken die Ströme durch die Extremitäten begrenzt.

Tabelle 12:
Zulässige Werte für eingekoppelte hochfrequente Ströme

Expositionsbereich	Zulässiger Strom in mA
Expositionsbereich 1	100
Expositionsbereich 2	45

2.3.4 Bewertung der Exposition bei elektromagnetischen Feldern mit mehreren Frequenzen

In elektromagnetischen Feldern unterschiedlicher Frequenzen werden unzulässige Expositionen im Frequenzbereich von 91 kHz bis 300 GHz vermieden, wenn die nachfolgenden Bedingungen eingehalten sind.

$$\sum_k \left(\frac{E_k}{E_{a,k}} \right)^2 \leq 1; \sum_k \left(\frac{H_k}{H_{a,k}} \right)^2 \leq 1; \sum_k \frac{S_k}{S_{a,k}} \leq 1$$

Darin bedeuten:

E_k, H_k gemessene oder berechnete spektrale Effektivwerte der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärken gemittelt über jedes 6-Minuten-Intervall

S_k Mittelwert der Leistungsdichte gemittelt über jedes 6-Minuten-Intervall

$E_{a,k}, H_{a,k}, S_{a,k}$ zulässige Werte der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärken und der Leistungsdichte nach Tabelle 8 und 11

2.4 Zulässige Werte für mittelbare Wirkungen

Die zulässigen Werte für Körperströme und Berührungsspannungen sind in Tabelle 13 angegeben.

Tabelle 13:
Zulässige Körperströme und Berührungsspannungen

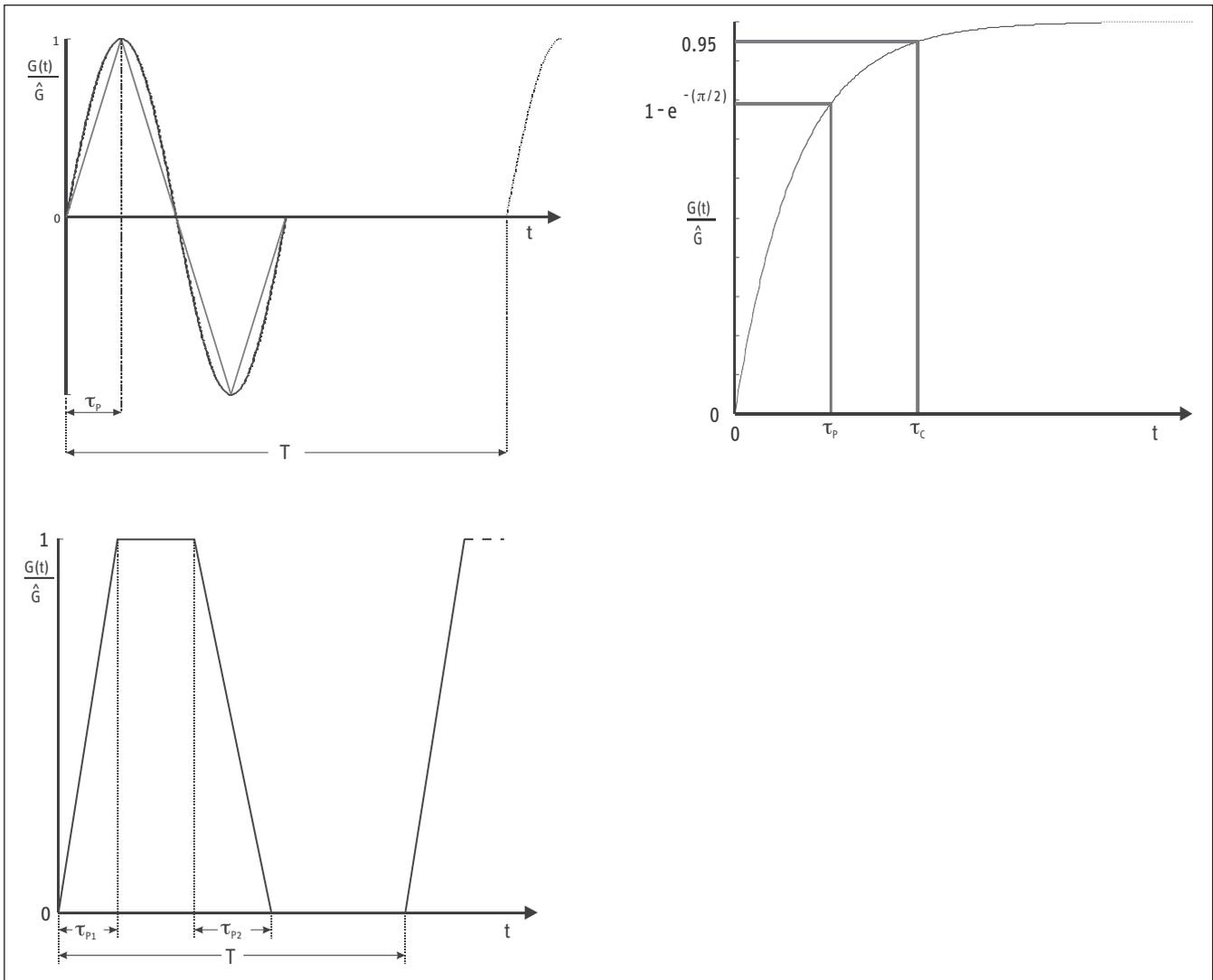
Frequenz f	Zulässiger Körperstrom in mA	Zulässige Berührungsspannung in V
0 Hz	10	60
$1 \text{ Hz} \leq f < 100 \text{ Hz}$	3,5	25
$100 \text{ Hz} \leq f < 2 \text{ kHz}$	$1,75 \cdot (f/\text{kHz}) + 3,3$	25
$2 \text{ kHz} \leq f < 3,8 \text{ kHz}$	$1,4 \cdot (f/\text{kHz}) + 4,2$	25
$3,8 \text{ kHz} \leq f < 12 \text{ kHz}$	$1,4 \cdot (f/\text{kHz}) + 4,2$	$1,05 \cdot (f/\text{kHz}) + 20,5$
$12 \text{ kHz} \leq f < 28 \text{ kHz}$	$1,75 \cdot (f/\text{kHz})$	$1,05 \cdot (f/\text{kHz}) + 20,5$
$28 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$	50	$1,05 \cdot (f/\text{kHz}) + 20,5$
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	50	125

Die in Tabelle 13 enthaltenen Werte für zulässige Körperströme und für zulässige Berührungsspannungen gelten nicht für die Beeinflussung von Rohrleitungsnetzen und Netzen der Telekommunikation bzw. der Signaltechnik, in die durch parallel verlaufende Starkstromanlagen der Bahn und der elektrischen Energieversorgung Spannungen eingekoppelt werden.

3 Gepulste Felder

Für gepulste Felder, die aus einer zeitlichen Abfolge von sinus-, trapez-, dreieckförmigen oder exponentiellen Einzel- oder Mehrfachpulsen und Pausen oder Gleichfeldanteilen bestehen, kann eine vereinfachte Bewertung mit den Festlegungen der nachfolgenden Abschnitte vorgenommen werden.

3.1 Frequenzbereich 0 Hz bis 91 kHz



Diese Felder werden durch folgende zusätzliche Kenngrößen beschrieben:

G	Anstelle der Größe G sind die elektrische Feldstärke E , die magnetische Feldstärke H oder die magnetische Flussdichte B einzusetzen. $G(t)$ kennzeichnet die Zeitfunktion, \hat{G} den Spitzenwert.
T	Zeitliche Dauer eines Impulses bzw. Impulszuges mit anschließender Pause.
T_I	Integrationszeit, wobei gilt: $T_I = \begin{cases} T & \text{für } T \leq 1 \text{ s} \\ 1 \text{ s} & \text{sonst} \end{cases}$
τ_p	Zeitdauer einer Feldänderung bei sinus-, dreieck- oder trapezförmigen Signalverläufen von Null auf den positiven oder negativen Spitzenwert bzw. vom positiven oder negativen Spitzenwert auf Null. Die Ermittlung von τ_p bei exponentiellen Signalverläufen ist gemäß obiger Abbildung vorzunehmen. Sind die einzelnen Zeitdauern τ_{pi} unterschiedlich, so sind alle diese Werte τ_{pi} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.
τ_{pmin}	Kleinster Wert aller Zeitdauern τ_{pi} : $\tau_{pmin} = \min(\tau_{pi})$
τ_c	Hilfsgröße zur Beschreibung exponentieller Signalverläufe. Sind die einzelnen Zeitdauern τ_{ci} unterschiedlich, so sind alle diese Werte τ_{ci} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.
τ_D	Zeitliche Summe aller Feldänderungen i im Zeitintervall T_I . Es gilt für: <ul style="list-style-type: none"> • sinus-, dreieck- und trapezförmige Signalverläufe: $\tau_D = \sum_i \tau_{pi}$ • exponentielle Signalverläufe: $\tau_D = \sum_i \tau_{ci}$
f_p	Frequenz der Feldänderung, wobei gilt: $f_p = \frac{1}{4 \cdot \tau_{pmin}}$
V	Gewichtungsfaktor, wobei gilt: $V = \begin{cases} \sqrt{T_I/\tau_D} & \text{für } \sqrt{T_I/\tau_D} \leq V_{max} \\ V_{max} & \text{sonst} \end{cases}$
V_{max}	maximaler Gewichtungsfaktor. Grundsätzlich gilt: $V_{max} = 8$

Unter folgenden Voraussetzungen kann beim Betrieb von Magnetresonanz-Anlagen in Wissenschaft und Forschung und bei medizinischen Anwendungen der maximale Gewichtungsfaktor vergrößert werden, wenn

- die verbindlichen Beschaffenheitsanforderungen nationaler Rechtsvorschriften, die einschlägige Gemeinschaftsvorschriften umsetzen, von der Anlage erfüllt werden,
- für die Arbeitsplätze Gefährdungsanalysen nach dem Arbeitsschutzgesetz unter besonderer Beachtung der Gefahren durch EM-Felder durchgeführt und dokumentiert werden,
- die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen sind,
- sie unter fachkundiger ärztlicher Aufsicht oder in Anwesenheit eines Sachkundigen durchgeführt werden.

Die Werte für die zulässigen zeitlichen Änderungen der magnetischen Flussdichte für gepulste Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 91 kHz sind in der Tabelle 14 angegeben. Gleichzeitig dürfen die in Tabelle 15 angegebenen, jeweils über die Zeitdauer τ_{pmin} gemittelten Werte der zeitlichen Änderungen der magnetischen Flussdichte nicht überschritten werden.

Tabelle 14:

Maximal zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f_p /Hz	Maximal zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte in T/s	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0-1	$0,6 \cdot f_p \cdot V$	$1,1 \cdot f_p \cdot V$
1-1 000	$0,6 \cdot V$	$1,1 \cdot V$
1 000-48 500	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$1,1 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$
48 500-91 000	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$55 \cdot V$

Tabelle 15:

Mittlere zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition, gemittelt über die Zeitdauer τ_{pmin}

Frequenzbereich f_p /Hz	Mittlere zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte in T/s	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0-1	$0,38 \cdot f_p \cdot V$	$0,72 \cdot f_p \cdot V$
1-1000	$0,38 \cdot V$	$0,72 \cdot V$
1000-48500	$3,8 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$0,72 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$
48500-91000	$3,8 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$35 \cdot V$

Für Extremitäten dürfen die in Tabelle 14 und 15 angegebenen Werte um den Faktor 2,5 überschritten werden.

Die maximal zulässigen Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte bei gepulsten Magnetfeldern ergeben sich aus den Werten der Tabelle 15 durch Multiplikation mit dem Faktor τ_{pmin} bzw. aus den Werten der Tabellen 3 und 6 durch Multiplikation mit dem Ausdruck $\sqrt{2} \cdot V$.

3.2 Frequenzbereich 91 kHz bis 300 MHz

Bei gepulsten Feldern sind bei Anwendung der Tabelle 9 für Effektivwerte und Tabelle 10 für Spitzenwerte die Basiswerte der Tabelle 1 eingehalten.

4 Anwendung der Basiswerte

Bei Verzicht der Anwendung der abgeleiteten Werte für Ganzkörperexposition ist sicherzustellen, dass unter allen auftretenden Bedingungen die Basiswerte eingehalten sind. Dabei werden die Basiswerte der Tabelle 1 als zusätzliche Sicherheit mit den Faktoren der nachfolgenden Tabelle 16 multipliziert.

Im Bereich erhöhter Exposition sowie für Teilkörperexposition sind die Basiswerte nach Tabelle 1 sicher einzuhalten.

Tabelle 16:

Reduktionsfaktoren zur Bewertung mit Basiswerten

Frequenz	Expositionsbereich 1	Expositionsbereich 2
0 Hz – 91 kHz	0,6	0,2
91 kHz – 300 GHz	1,0	0,2

Anlage 2

Zulässige Werte für Anlagen mit hohen statischen Magnetfeldern

Tabelle 1:

Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte

Exposition	Magnetische Flussdichte
Mittelwert für 8h (gemittelt über den ganzen Körper)	212 mT
Spitzenwert für Kopf und Rumpf	2 T
Spitzenwert für Extremitäten	5 T

Im Bereich von Wissenschaft und Forschung und im Einzelfall bei medizinischer Anwendung dürfen die Werte in Tabelle 2 angewendet werden, wenn der Betreiber der Anlage sicherstellt, dass

- die verbindlichen Beschaffenheitsanforderungen nationaler Rechtsvorschriften, die einschlägige Gemeinschaftsvorschriften umsetzen, von der Anlage erfüllt werden,
- für die Arbeitsplätze Gefährdungsanalysen nach dem Arbeitsschutzgesetz unter besonderer Beachtung der Gefahren durch EM-Felder durchgeführt und dokumentiert werden,
- die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen sind,
- Tätigkeiten unter fachkundiger ärztlicher Aufsicht oder in Anwesenheit eines Sachkundigen durchgeführt werden.

Tabelle 2:

Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte unter Berücksichtigung besonderer Voraussetzungen

Exposition	Magnetische Flussdichte
Spitzenwert für Kopf und Rumpf (maximal 2 h/d) Bei Expositionen größer 2 h/d gilt Tabelle 1	4 T
Spitzenwert für Extremitäten	10 T

5 Elektrizität

5.1 Einführung und Erläuterungen

Für die Abwendung von Gefahren für Leben und Gesundheit durch gefährliche Körperströme ist die Kenntnis der Wirkung des elektrischen Stromes beim Fluss durch den menschlichen Körper notwendig.

Die Ergebnisse einschlägiger Untersuchungen sind in [1] dargestellt. Danach hängt die Wirkung des elektrischen Stroms beim Fluss durch den menschlichen Körper von der Höhe des Stroms, der Einwirkungsdauer, der Frequenz und der Schwingungsform des Vorgangs ab. Gleiche physiologische Wirkungen beim Menschen, die durch einen Berührungstromkreis hervorgerufen werden, wurden zu Bemessungsklassen zusammengefasst.

5.2 Grenzwerte

Rechtsverbindliche Grenzwerte für die Einwirkung des elektrischen Stroms wurden bisher nicht festgelegt.

5.3 Empfehlungen

National und international befassen sich verschiedene Gremien mit der entsprechenden Normung. Für den deutschen Bereich wird auf die DIN-VDE-Bestimmungen wie z.B. [1] und [2] hingewiesen.

In [1] wird folgende Einteilung vorgenommen:

Bemessungsklasse	Wirkung auf den Menschen
1A	Grenze der Spürbarkeit
1B	Beginn der Schmerzempfindungen
2	Loslassgrenze

Bei Strömen oder Spannungen unterhalb der Loslassgrenze wird das Zustandekommen eines Berührungstromkreises lediglich im Fehlerfall in Kauf genommen. Oberhalb des Loslassgrenzwertes darf ein Berührungstromkreis nicht bestehen bleiben. Geeignete Schutzmaßnahmen sind erforderlich.

Die Werte für Strom und Spannung entsprechend der Bemessungsklasse unterscheiden sich insbesondere durch die Art des Vorgangs. Es wird unterschieden zwischen

- sinusförmigen Vorgängen,
- gleichförmigen Vorgängen,
- sinusförmigen Vorgängen mit Gleichanteil,
- nicht sinusförmigen Vorgängen mit Gleichanteil,
- Impulsentladungen und Kondensatorentladungen.

Für Netzwechselfspannungen mit einer Frequenz von 50 Hz und Einwirkdauer über zwei Sekunden ergeben sich folgende Strom- und Spannungswerte:

Bemessungsklasse	Strom	Spannung
1A	0,5 mA	12 V
1B	3,5 mA	25 V
2	10 mA	50 V

Da die sehr detaillierten Regelungen und die umfangreichen Umrechnungsdiagramme den Rahmen dieses Reports sprengen würden, wird im Weiteren auf die einschlägigen Bestimmungen wie z.B. [1] und [2] verwiesen.

5.4 Literatur

[1] DIN VDE 0800 T1: Fernmeldetechnik; Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte. Ausg. 5/1989. Beuth, Berlin 1989

[2] DIN VDE 0100: Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V. Ausg. 5/1973. Beuth, Berlin 1973

6 Biomechanische Belastungen

6.1 Heben und Tragen von Lasten

6.1.1 Einführung und Erläuterungen

Durch das manuelle Heben und Tragen von Lasten kann insbesondere eine Gefährdung der Lenden- und Halswirbelsäule entstehen. Als manuelle Handhabung von Lasten gilt jede Beförderung oder das Abstützen einer Last durch einen oder mehrere Arbeitnehmer, u.a. das Heben, Absetzen, Schieben, Ziehen, Tragen und Bewegen einer Last (zit. nach EG-Richtlinie 90/269/EWG).

Die Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) enthält in der Gruppe der durch physikalische Einwirkung verursachten Berufskrankheiten zwei Positionen:

- BK 2108

Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeit in extremer Rumpfbeugehaltung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

- BK 2109

Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Halswirbelsäule durch langjähriges Tragen schwerer Lasten auf der Schulter, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

6.1.2 Richtwerte

Die „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV)“ [1] wurde am 20. Dezember 1996 in Kraft gesetzt. Sie setzt die Richtlinie 90/269/EWG [2] in nationales Arbeitsschutzrecht um.

Erläuterungen für den Begriff „schwere Lasten“ finden sich im „Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2108, Anlage 1, Berufskrankheiten-Verordnung (BKV)“ [3] mit Angaben zu Lastgewichten beim Heben, Umsetzen und Tragen bzw. Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben (Tabelle 1). Dabei sind die Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben von Lasten nicht allgemein zu berücksichtigen, sondern als eine besondere Form der Lastenhandhabung untrennbar mit dem Heben und Tragen von Lasten verbunden.

Das Merkblatt für die BK 2109 [4] nennt ein Lastgewicht von ≥ 50 kg als Expositions-kriterium, wenn diese Last fortgesetzt (mindestens über zehn Berufsjahre) auf der Schulter getragen wurde, einhergehend mit einer statischen Belastung der zervikalen Bewegungs-segmente und außergewöhnlicher Zwangshaltung der Halswirbelsäule (nach vorn und seitlich erzwungener Kopf-beugehaltung bei gleichzeitiger maximaler Anspannung der Nackenmuskulatur).

Werte für Frauen

Werdende Mütter dürfen nach dem Mutterschutzgesetz [5] unter anderem Arbeiten nicht durchführen, bei denen

- regelmäßig Lasten von mehr als 5 kg Gewicht,
- gelegentlich Lasten von mehr als 10 kg Gewicht

ohne mechanische Hilfsmittel von Hand gehoben oder befördert werden müssen.

Bei allen Richtwertangaben sei ausdrücklich auf die Bedeutung der Randbedingungen in Tabelle 2 (siehe Seite 194) hingewiesen.

Tabelle 1:

Lastgewichte (in kg) und Aktionskräfte (in N) mit einem erhöhten Risiko für die Verursachung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule

Tätigkeit	Frauen	Männer
beidhändiges Heben	10 kg	20 kg
einhandiges Heben	5 kg	10 kg
beidhändiges Umsetzen	20 kg	30 kg
einhandiges Umsetzen	5 kg	10 kg
beidseitiges Tragen neben dem Körper, auf den Schultern oder dem Rücken	20 kg	30 kg
Tragen vor oder einseitig neben dem Körper	15 kg	25 kg
Ziehen	250 N	350 N
Schieben	300 N	450 N

Tabelle 2:
Einflussfaktoren auf die Belastung des Menschen beim Handhaben von Lasten

Die Höhe der Belastung des Menschen beim Handhaben von Lasten hängt ab von Eigenschaften		
des Menschen	der Last	des Greifens
Alter	Gewicht	Greifbarkeit
Geschlecht	Form	Griffform
Gesundheitszustand	Größe	Griffhöhe
Leistungsfähigkeit	Lage	ein- oder beidhändiges Tragen
Trainingszustand	Hubhöhe	Verwendung von Tragemitteln
Erfahrung	Transportweg	
Körpergröße und -gewicht	Transportgeschwindigkeit	

6.1.3 Literatur

[1] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV) vom 4. Dezember 1996. BGBl. I, S. 1842, zul. geänd. durch Achte Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 25. November 2003, BGBl. I S. 2304, 2342

[2] Richtlinie des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der manuellen Handhabung von Lasten, die für die Arbeitnehmer insbesondere eine Gefährdung der Lendenwirbelsäule mit sich bringt. Nr. 90/269/EWG, Vierte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG. ABl. EG (1990) Nr. L 156/9, S. 157-161

[3] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2108 Anlage 1 Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) vom 1. September 2006. BArbBl. (2006) Nr. 10, S. 30 ff

[4] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2109 Anlage 1 Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) vom 18. Dezember 1992. BArbBl. (1993) Nr. 3, S. 53

[5] Mutterschutzgesetz (MuSchG) in der Fassung vom 18. April 1968. BGBl. I, S. 3-5. Letzte Änderung vom 5. Dezember 2006. BGBl. I, S. 1191

6.2 Quetschen von Körperteilen

6.2.1 Einführung und Erläuterungen

Eine Gefährdung von Personen durch Quetschen besteht insbesondere bei kraftbetätigten Schließmechanismen, beispielsweise bei kraftbetätigten Fenstern, Türen und Toren, bei kraftbetätigten Maschinenteilen wie etwa Niederhaltern von Papierschnidemaschinen oder bei kraftbetriebenen Fahrsystemen wie z.B. fahrerlosen Transportfahrzeugen, die mit einem Auffahrschutz ausgestattet sein müssen. Handbetätigte Einrichtungen und Konstruktionsteile, die ebenfalls hohe Quetschkraften erzeugen können, werden im Zusammenhang mit der Festlegung von Grenzwerten nicht betrachtet.

Als Kenngrößen für die Beurteilung der Gefährdung einer Person durch Quetschen werden die beiden folgenden Kräfte verwendet:

- Klemmkraft F_K

- Spitzenkraft F_S

Bei der Klemmkraft F_K handelt es sich um eine statisch wirkende Kraft, mit der eine Person eingeklemmt und festgehalten wird. Die Spitzenkraft F_S wirkt dynamisch beim Aufprall von Schließkanten auf einen Messgeber.

Nach dem kurzzeitigen Einwirken der dynamischen Spitzenkraft F_S kann sich eine statische Klemmkraft F_K einstellen, durch die eine eingeklemmte Person mit den Schließkanten festgehalten wird, es kann aber auch durch Umsteuerung des Antriebs eine Reversierbewegung des Schließmechanismus ausgelöst werden, sodass die gefährdete Person sofort wieder freigegeben wird. Bei impulsförmigen Krafteinwirkungen (Impulsdauer < 5 Sekunden) kann anstelle der Klemmkraft F_K die Effektivkraft F_E als Kenngröße verwendet werden. Die Effektivkraft F_E stellt eine über den Impuls gemittelte Kraft dar.

Generell sind Reversiersteuerungen für kraftbetätigte Schließmechanismen zu bevorzugen, da sich eine eingeklemmte Person nicht nur bei der mit dem Quetschen verbundenen Druckbelastung, sondern auch beim Befreiungsversuch verletzen kann. Bei Maschinen ist jedoch für den Arbeitsablauf häufig eine Druckbelastung notwendig, sodass ein Reversieren nicht möglich ist.

Die Gefährdung einer Person durch Quetschen lässt sich ausschalten, wenn die festgelegten Grenzwerte unterschritten werden.

6.2.2 Grenzwerte

Für kraftbetätigte Türen und Tore als bauliche Einrichtungen gilt nach der Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 11/1-5 [1]:

$$F_K \leq 150 \text{ N}$$

Die Norm DIN EN 12453 [2] enthält darüber hinaus Festlegungen im Hinblick auf die dynamische Spitzenkraft an kraftbetätigten Toren (Tabelle 3).

Tabelle 3:

Zulässige Spitzenkräfte für kraftbetätigte Tore nach DIN EN 12453 bei einer Federsteifigkeit des Kraftmessgebers von 500 N/mm

Art des Tores bzw. der Einrichtung	Zulässige Spitzenkraft F_S in N		
	zwischen Schließkanten und Gegenschließkanten		zwischen ebenen Flächen $> 0,1 \text{ m}^2$ mit keiner Seite weniger als 100 mm
	in Öffnungsweiten von 50 bis 500 mm	in Öffnungsweiten $> 500 \text{ mm}$	
horizontal bewegtes Tor	400	1 400	1 400
Tor, das sich um eine Achse senkrecht zum Fußboden dreht	400	1 400	1 400
vertikal bewegtes Tor	400	400	1 400
Tor, das sich um eine Achse parallel zum Fußboden dreht	400	400	1 400
Schranken	400	400	1 400

Die Einwirkdauer des dynamischen Spitzenkraftimpulses darf dabei höchstens 0,5 s betragen. Im Bereich von 0,5 bis 5,0 s darf die an den Schließkanten wirkende Kraft 150 N nicht überschreiten und muss am Ende des gesamten Kraftimpulses von 5 s Dauer auf 25 N abgebaut sein. Den genannten Grenzwerten liegt eine Federsteifigkeit des Kraftmessgebers von 500 N/mm zugrunde.

Für kraftbetätigte Türen sind die maximal zulässigen Werte für dynamische und statische Kräfte an der Hauptschließkante (Abbildung 1) in DIN 18650-1 [3] festgelegt (Tabelle 4):

Tabelle 4:

Zulässige Schließkräfte

Türtyp	Zulässige Spitzenkräfte in N			zwischen ebenen Flächen ² Abstand $\geq 500 \text{ mm}$
	Spalt zwischen Schließkanten und Gegenschließkanten ¹			
	$< 200 \text{ mm}$	300 mm	$\geq 500 \text{ mm}$	
Schiebetür	400	700	1 400	-
Drehflügel tür, Falttür	400	700	1 400	1 400
Karusselltür	400	700	1 400	-

¹ Die Gegenschließkante kann auch als zweite Hauptschließkante ausgebildet sein.

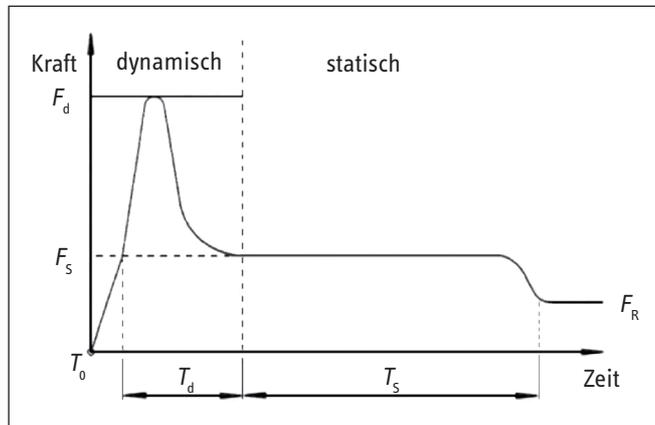
² Ebene Flächen sind Türflügel und Bauwerkswände, wenn sie keine Vorsprünge mit einer Fläche von $< 0,1 \text{ m}^2$ oder der Länge einer Kante von $> 0,05 \text{ m}$ besitzen.

Anmerkung:

Die oben angegebenen Werte sind Maximalwerte, die innerhalb einer Zeit von maximal 0,75 s ($T_d < 0,75 \text{ s}$) zulässig sind.

Diese Kräfte sind als Maximalkräfte zu sehen. Die Einhaltung der Kraftbegrenzung eignet sich nicht als Schutzmaßnahme, wenn Kinder, gebrechliche Menschen und Menschen mit Behinderungen die Türen benutzen. Für diese besonders schutzbedürftigen Menschen können auch deutlich niedrigere Kräfte, z.B. beim Anstoßen, zu erheblichen Verletzungen führen.

Abbildung 1:
Prinzipdarstellung der Schließkraft in Abhängigkeit von der Zeit



Legende:

- F_d maximale dynamische Kraft, gemessen während einer Zeitspanne T_d
- F_s maximale statische Kraft, gemessen während der Zeitspanne T_s
- F_R maximale Restkraft, gemessen nach einer Zeitspanne T_s
- T_d maximale Dauer der dynamischen Krafteinwirkung
- T_s maximale Dauer der statischen Kraft
- T_0 Aufprallzeitpunkt

Nach der Zeit T_d (0,75 s) ist keine statische Kraft größer als 150 N zulässig. Die statische Kraft muss nach 4,25 s (T_s) auf maximal 80 N absinken. Die Kräfte sind hierbei als Messwert der in DIN 18650-1 festgelegten Schließkraftmessmethode zu verstehen.

Für **Aufzugtüren** gilt nach den Technischen Regeln für Aufzüge (TRA) 200 [4]:

an den Hauptschließkanten:

$$F_K \leq 150 \text{ N}, F_S \leq 150 \text{ N}$$

an den Nebenschließkanten:

$$F_S \leq 300 \text{ N}$$

Für **Kraftomnibustüren** gilt nach der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [5]:

an den Hauptschließkanten:

$$F_E \leq 150 \text{ N}, F_S \leq 200 \text{ N}$$

an den Nebenschließkanten:

$$F_E \leq 150 \text{ N}, F_S \leq 250 \text{ N}$$

bei einer Federsteifigkeit von 10 N/mm für den Kraftmessgeber.

6.2.3 Literatur

- [1] Arbeitsstätten-Richtlinien für kraftbetätigte Türen und Tore. ASR 11/1-5 (September 1985). BArbBl. (1985) Nr. 9, S. 81
- [2] DIN EN 12453: Tore – Nutzungssicherheit kraftbetätigter Tore – Anforderungen und Klassifikation. Ausg. 2/2001. Beuth, Berlin 2001
- [3] Technische Regeln für Aufzüge: Personenaufzüge, Lastenaufzüge, Güteraufzüge (TRA 200). Ausg. 5/1992, BArbBl. (1992) Nr. 5, S. 30, und (1995) Nr. 12, S. 47
- [4] DIN 18650-1: Schlösser und Baubeschläge – Automatische Türsysteme, Teil 1: Produkthanforderungen und Prüfverfahren. Ausg. 12/2005. Beuth, Berlin 2005
- [5] Richtlinien für fremdkraftbetätigte Fahrgasttüren in Kraftomnibussen. § 35e Abs. 3 und Abs. 5 StVZO (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung). Verkehrsblatt VkBBl. (1991) Nr. 11, S. 498-500