DGUV
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
Spitzenverband



IFA Report 2/2024

Grenzwerteliste 2024

Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz

IFA Report 2/2024

Grenzwerteliste 2024

Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz

Impressum

Herausgegeben von:	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) Glinkastr. 40 10117 Berlin Telefon: +49 30 13001-0 Telefax: +49 30 13001-9876 Internet: www.dguv.de E-Mail: info@dguv.de
Verfasst von:	Chemische Einwirkungen: Nadja von Hahn Biologische Einwirkungen: Annette Kolk Physikalische Einwirkungen: Martin Liedtke, Florian Schelle, Christian Freitag, Simone Peters, Johannes Pelzer, Viola Schmidt, Marc Wittlich, Carsten Alteköster, Ingo Bömmels, Florian Soyka, Christian Werner, Kai Heinrich, Markus Post, Olaf Mewes, Jan Zimmermann Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin
Verantwortlich für die Zusammenstellung:	Nadja von Hahn, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin
Ausgabe:	Juni 2024 Korrigierte Fassung (S. 173/174): Januar 2025
Satz und Layout:	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., Berlin
Druck:	MedienSchiff BRuno, Print- und Medienproduktion Hamburg GmbH
Titelbild:	© Juice Images – fotolia
ISBN (print): ISBN (online): ISSN:	978-3-948657-65-9 978-3-948657-67-3 0173-0387

Copyright:	Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Bezug:	www.dguv.de/publikationen Webcode: p022650

Kurzfassung

Grenzwerteliste 2024

Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) hat in der „Grenzwerteliste 2024“ 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 Einstufung sowie die verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe für Gefahrstoffe zusammengefasst in einer Tabelle. Sie beinhaltet zudem Grenzwerte und Beurteilungswerte für Innenräume, Lärm, Vibration, thermische Belastungen, Strahlung, Elektrizität, biomechanische Belastungen und Hinweise zu biologischen Einwirkungen.

Abstract

Limit Value List 2024

The „2024 List of Limit Values“ issued by the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA) 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 classifications and binding occupational exposure limit values. Also included are limit values for indoor air, noise, vibration, thermal stress tolerance, radiation, electricity, biomechanical stress tolerance and notes on the effects of biological agents.

Résumé

Liste des valeurs limites 2024

Dans sa «Liste des valeurs limites 2024» l'Institut de sécurité du travail de l'assurance social allemande des accidents de travail et maladies professionelles (IFA) 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 contient la classification et les valeurs d'évaluation obligatoires pour les substances dangereuses, résumés dans un tableau, 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 limit 2024

El Instituto de Seguro Social Alemán de Seguridad y Salud Ocupacional (IFA) ha reunido en la «Lista de valores máximos 2024» 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 límite contiene la clasificación y los criterios de clasificación vinculante de las sustancias nocivas resumidos en una tabla así como los valores máximos para espacios interiores, ruido, vibraciones, agentes térmicos, radiación, electricidad, agentes biomecánicos y advertencias acerca de los efectos biológicos.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung **8**

1 Chemische Einwirkungen **9**
1.1 Gefahrstoffliste mit Vorbemerkungen 9
1.2 Stoffspezifische Äquivalenzwerte in biologischem Material zur Akzeptanz- und Toleranzkonzentration nach TRGS 910 130
1.3 Biologische Grenzwerte (BGW) 131
1.4 Besondere Stoffgruppen 134
1.5 Literatur 136

2 Gefahrstoffe in Innenräumen **138**
2.1 Einführung und Erläuterungen 138
2.2 Tabelle der Beurteilungswerte für die Gefahrstoffexposition in der Innenraumluft 140
2.3 Spezielle Beurteilungswerte und Indikatoren für Innenraumarbeitsplätze 154
2.3.1 Kohlendioxid 154
2.3.2 Flüchtige organische Verbindungen 154
2.3.3 Stäube 157
2.4 Literatur 158

3 Biologische Einwirkungen **160**
3.1 Einführung und Erläuterungen 160
3.2 Kontrollwertkonzept 162
3.2.1 Technischer Kontrollwert 162
3.2.2 Messstrategie/Messverfahren 162
3.2.3 Schwankungsbreite von Messergebnissen 163
3.2.4 Glossar 163
3.3 Grenzwerte 164
3.3.1 Technischer Kontrollwert für biologischeund andere Abfallbehandlungsanlagen 164
3.3.2 Endotoxine 165
3.3.3 Luftbefeuchtungseinrichtungen 165
3.3.4 Innenräume 165
3.4 Literatur 168

4 Physikalische Einwirkungen – Lärm **171**
4.1 Einführung und Erläuterungen 171
4.1.1 Gehörgefährdung 171
4.1.2 Extra-aurale Lärmwirkungen 171
4.1.3 Unfallgefahren 171
4.2 Auslösewerte und maximal zulässige Expositionswerte 172
4.2.1 Gehörgefährdung 172
4.2.2 Extra-aurale Lärmwirkungen 173
4.2.3 Grenzwerte für Schwangere 173
4.2.4 Unfallgefahren 173
4.3 Literatur 173

5 Physikalische Einwirkungen – Vibrationen **175**
5.1 Einführung und Erläuterung relevanter Grenzwerte in Normen und Verordnungen 175
5.2 Bestimmung von A(8) 176
5.2.1 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung für Hand-Arm-Schwingungen 176
5.2.2 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung für Ganzkörper-Schwingungen 177
5.3 Richtwertkurven für die Prävention 177
5.3.1 Richtwertkurve Hand-Arm-Schwingungen 177
5.3.2 Richtwertkurve Ganzkörper-Schwingungen 177

5.4 Einfaches Verfahren zur Gefährdungsanalyse ... 179
5.4.1 Punktwerte für Hand-Arm-Schwingungen ... 179
5.4.2 Punktwerte für Ganzkörper-Schwingungen ... 179
5.5 Literatur ... 184

6 Physikalische Einwirkungen – Thermische Belastungen ... 186
6.1 Klimatische Belastungen ... 186
6.1.1 Erläuterungen ... 186
6.1.2 Beanspruchungsbereiche ... 186
6.1.3 Klimabewertung ... 187
6.1.3.1 Behaglichkeitsbereich ... 187
6.1.3.2 Kältebereich ... 189
6.1.3.3 Warmbereich ... 189
6.1.3.4 Hitzebereich ... 189
6.1.4 Literatur ... 192
6.2 Berührungen heißer Oberflächen ... 193
6.2.1 Erläuterungen ... 193
6.2.2 Grenzwerte ... 193
6.2.3 Empfehlungen ... 194
6.2.4 Literatur ... 194
6.3 Berührungen kalter Oberflächen ... 194
6.3.1 Erläuterungen ... 194
6.3.2 Grenzwerte ... 194
6.3.3 Empfehlungen ... 194
6.3.4 Literatur ... 194

7 Physikalische Einwirkungen – Strahlung ... 195
7.1 Ionisierende Strahlung ... 195
7.1.1 Erläuterungen ... 195
7.1.3 Schutzmaßnahmen ... 198
7.1.4 Literatur ... 200
7.2 Inkohärente optische Strahlung(ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung) ... 200
7.2.1 Erläuterungen ... 200
7.2.2 Ultraviolette Strahlung ... 200
7.2.2.1 Wirkungen ... 200
7.2.2.2 Grenzwerte ... 201
7.2.2.3 Messung und Bewertung von UV-Strahlenexpositionen ... 203
7.2.3 Sichtbare und Infrarot-Strahlung ... 203
7.2.3.1 Wirkungen ... 203
7.2.3.2 Grenzwerte ... 204
7.2.3.3 Messung und Bewertung von sichtbarer und infraroter Strahlung ... 206
7.2.4 Literatur ... 206
7.3 Laserstrahlung ... 207
7.3.1 Erläuterungen ... 207
7.3.2 Wirkungen ... 207
7.3.3 Grenzwerte ... 207
7.3.4 Weitere Hilfen ... 213
7.3.5 Empfehlungen ... 213
7.3.6 Literatur ... 213
7.4 Elektromagnetische Felder ... 214
7.4.1 Einleitung ... 214
7.4.2 Wirkungen ... 214
7.4.2.1 Direkte Wirkungen ... 214
7.4.2.2 Indirekte Wirkungen ... 214
7.4.3 Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen der EMFV ... 215
7.4.3.1 Expositionsgrenzwerte ... 215
7.4.3.2 Auslöseschwellen ... 215

7.4.4 Tabellen der Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen 215
7.4.4.1 Frequenzbereich 0 Hz bis 10 MHz (nichtthermische Wirkungen) 216
7.4.4.2 Frequenzbereich 100 kHz bis 300 GHz (thermische Wirkung) 219
7.4.5 Hinweise zur Bewertung der Exposition durch elektromagnetische Felder bei der Arbeit 221
7.4.5.1 Bewertung nicht-sinusförmiger Felder 222
7.4.5.2 Bewertung der Exposition für Beschäftigte mit aktiven oder passiven medizinischen Implantaten 222
7.4.5.3 Bewertung von Arbeitsbereichen, die auch der Öffentlichkeit zugänglich sind 226
7.4.6 Weitergehende Informationen 226
7.4.7 Literatur 226

8 Physikalische Einwirkungen – Elektrizität 228
8.1 Einführung und Erläuterungen 228
8.2 Grenzwerte 228
8.3 Empfehlungen 228
8.3.1 Wirkung von sinusförmigen Wechselspannungen auf den menschlichen Körper (15 Hz bis 100 Hz) 228
8.3.2 Wirkung von Gleichspannung auf den menschlichen Körper 229
8.4 Literatur 230

9 Physikalische Einwirkungen – Biomechanische Belastungen 231
9.1 Belastung des Muskel-Skelett-Systems beim Heben, Halten, Tragen, Ziehen oder Schieben von Lasten 231
9.1.1 Einführung und Erläuterungen 231
9.1.2 Richtwerte 231
9.1.3 Grenzwerte nach dem Mutterschutzgesetz 232
9.1.4 Literatur 233
9.2 Quetschen von Körperteilen 234
9.2.1 Einführung und Erläuterungen 234
9.2.2 Grenzwerte 234
9.2.3 Literatur 235
9.3 Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration 236
9.3.1 Einführung und Erläuterungen 236
9.3.2.1 Beurteilungsmaßstäbe 237
9.3.2.2 Orientierungswerte 237
9.3.3 Messverfahren 239
9.3.4 Umrechnungshilfe / vereinfachte Empfehlung 239
9.3.5 Ergänzende Hinweise 240
9.3.6 Literatur 241

Einleitung

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

Aufgenommen sind solche Beurteilungsmaßstäbe, 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 den Leserinnen und Lesern eine Orientierung zu geben.

Die im Oktober 2023 veröffentlichte Gefahrstoffliste (IFA Report 3/2023) des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) enthält weitergehende Informationen zum Sachgebiet Gefahrstoffe, insbesondere Daten zur 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 „Chemische Einwirkungen“ enthält die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW), Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen (AK und TK) sowie Biologischen Grenzwerte (BGW) einschließlich der bis Juli 2024 veröffentlichten Änderungen.
- Der Abschnitt „Gefahrstoffe in Innenräumen“ enthält Richtwerte und Empfehlungen für die Innenraumluft.

Das Kapitel „Biologische Einwirkungen“ geht wegen des Verzichts auf Grenzwerte für den Arbeitsplatz insbesondere auf die Grundzüge einer Arbeitsplatzbeurteilung ein.

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

- Lärm,
- Vibrationen,
- Thermische Belastungen,
- Strahlung,
- Elektrizität,
- Biomechanische Belastungen (Heben und Tragen von Lasten, Quetschen von Körperteilen, Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration).

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.

1 Chemische Einwirkungen

1.1 Gefahrstoffliste mit Vorbemerkungen

Die Stoffliste (siehe Seite 19) enthält Hinweise zur Einstufung (krebserzeugend, keimzellmutagen, reproduktionstoxisch, Gefahr über die Laktation, Sensibilisierung der Haut und Atemwege und Gefahr der Hautresorption) und zu verbindlichen Beurteilungsmaßstäben (Arbeitsplatzgrenzwerte, Aktzeptanz- und Toleranzkonzentrationen, Biologische Grenzwerte).

Die Angaben wurden folgenden Veröffentlichungen entnommen:

- Verordnung (EG) 1272/2008 (CLP-Verordnung) [1]
  Stand: Verordnung (EU) Nr. 2024/197,
- Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ [2],
- TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“ [3],
- TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe“ [4],
- TRGS 906 „Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV“ [5],
- TRGS 907 „Verzeichnis sensibilisierender Stoffe“ [6],
- TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ [7],
- Richtlinie 2004/37/EG [8]
  Stand: Richtlinie (EU) 2022/431,
- 59. Mitteilung der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK- und BAT-Werte-Liste 2023) [9].

Spalte 1 – Stoffidentität

Mit * gekennzeichnete Stoffe weisen auf einen neuen verbindlichen Beurteilungsmaßstab oder auf Veränderungen bei der Einstufung (Spalte 2 bis 4) und/oder den BGW 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 des European Inventory of Existing Chemical Commercial Substances) bzw.
  - die ELINCS-Nummer (Registriernummer der European List of New Chemical Substances).

Einstufung/Bewertung

In den Spalten 2 bis 5 wird die Einstufung von Stoffen nach Anhang VI der CLP-Verordnung 1272/2008 bezüglich ihrer krebserzeugenden, keimzellmutagenen, reproduktionstoxischen Wirkung, ihrer Wirkung über die Laktation sowie ihrer sensiblisierenden Wirkung wiedergegeben.

Ferner enthalten diese Spalten Hinweise zur darüber hinausgehenden nationalen Bewertung nach TRGS 900, 905, 906, 907 und 910. Die Einstufungen nach Anhang VI der CLP-Verordnung werden in Normalschrift dargestellt. Die davon abweichenden nationalen Bewertungen sind durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Bei einigen Stoffen finden sich in Spalte 2, 3 oder 4 zwei Eintragungen: z. B. Bromethan **1B** und 2. Hierbei gilt die normal gedruckte Eintragung (Legaleinstufung) für das Inverkehrbringen von Gefahrstoffen (EU-Einstufung), während die fett gedruckte nationale Bewertung (1B) für Tätigkeiten mit diesem Gefahrstoff gilt (TRGS 905). Das heißt, für Tätigkeiten mit diesem Gefahrstoff gelten in diesem Fall zusätzlich die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [10] für krebserzeugende Stoffe der Kategorie 1A oder 1B. Im Sicherheitsdatenblatt ist auf die Wirkung der Stoffe nach TRGS 905 hinzuweisen (§ 5 Abs. 2 GefStoffV). Sofern der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) nach Prüfung der Datenlage keine Einordnung in die Kategorien 1A bis 2 vornehmen konnte, wird dies durch einen Strich (–) gekennzeichnet.

Ein komplettes, ständig aktualisiertes Verzeichnis der krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffe kann auf den Internetseiten des IFA unter www.dguv.de/ifa/fachinfos/kmr-liste/index.jsp eingesehen werden.

Spalte 2 – Karzinogen (krebserzeugend)

Kategorie 1
Stoffe, die bekanntermaßen oder wahrscheinlich beim Menschen karzinogen sind.

Kategorie 1A oder 1A i
Stoffe, die bekanntermaßen beim Menschen karzinogen sind; die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen beim Menschen.
(H350 „Kann Krebs erzeugen“ oder H350i „Kann beim Einatmen Krebs erzeugen“)

Kategorie 1B oder 1B i
Stoffe, die wahrscheinlich beim Menschen karzinogen sind; die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen bei Tieren.
(H350 oder H350i)

Kategorie 2
Verdacht auf karzinogene Wirkung beim Menschen:
Die Einstufung eines Stoffes in Kategorie 2 erfolgt aufgrund von Nachweisen aus Studien an Mensch und/oder Tier, die jedoch nicht hinreichend genug für eine Einstufung des Stoffes in Kategorie 1A oder 1B sind, anhand der Aussagekraft der Nachweise und zusätzlicher Hinweise. Solche Nachweise können entweder aus Studien beim Menschen stammen, die einen Verdacht auf karzinogene Wirkung begründen, oder aus Tierstudien, die einen Verdacht auf karzinogene Wirkungen ergeben.
(H351 „Kann vermutlich Krebs erzeugen“)

Spalte 3 – Keimzellmutagen

Kategorie 1
Stoffe, die bekanntermaßen vererbbare Mutationen verursachen oder die so angesehen werden sollten, als wenn sie vererbbare Mutationen an menschlichen Keimzellen auslösen. Stoffe, die bekanntermaßen vererbbare Mutationen in Keimzellen von Menschen verursachen.

Kategorie 1A
Die Einstufung in die Kategorie 1A beruht auf positiven Befunden aus epidemiologischen Studien an Menschen. Stoffe, die so angesehen werden sollten, als wenn sie vererbbare Mutationen an menschlichen Keimzellen auslösen.
(H340 „Kann genetische Defekte verursachen“)

Kategorie 1B
Die Einstufung in Kategorie 1B beruht auf:

- positiven Befunden von In-vivo-Prüfungen auf vererbbare Keimzellmutagenität bei Säuger oder
- positiven Befunden von In-vivo-Mutagenitätsprüfungen an Somazellen von Säugern in Verbindung mit Hinweisen darauf, dass der Stoff das Potenzial hat, an Keimzellen Mutationen zu verursachen. Diese unterstützenden Nachweise können sich beispielsweise aus In-vivo-Mutagenitäts-/Genotoxizitätsprüfungen an Keimzellen ergeben oder aus dem Aufzeigen der Fähigkeit des Stoffes oder seines/seiner Metaboliten, mit dem genetischen Material von Keimzellen zu interagieren, oder
- positiven Befunden von Prüfungen, die mutagene Wirkungen an Keimzellen von Menschen zeigen, allerdings ohne Nachweis der Weitergabe an die Nachkommen; dazu gehört beispielsweise eine Zunahme der Aneuploidierate in Spermien exponierter Personen.

(H340 „Kann genetische Defekte verursachen“)

Kategorie 2
Stoffe, die für Menschen bedenklich sind, weil sie möglicherweise vererbbare Mutationen in Keimzellen von Menschen auslösen können.

Einstufungen in Kategorie 2 beruhen auf positiven Befunden bei Versuchen an Säugern und/oder in manchen Fällen aus In-vitro-Versuchen, die erhalten wurden aus

- In-vivo-Mutagenitätsprüfungen an Somazellen von Säugern oder
- anderen In-vivo-Genotoxizitätsprüfungen an Somazellen, die durch positve Befunde aus In-vitro-Mutagenitätsprüfungen gestützt werden.

(H341 „Kann vermutlich genetische Defekte verursachen“)

Spalte 4 – Reproduktionstoxisch

Kategorie 1
Bekanntermaßen oder wahrscheinlich reproduktionstoxischer Stoff

Kategorie 1A
Bekanntermaßen reproduktionstoxischer Stoff:
Die Einstufung eines Stoffes in die Kategorie 1A beruht weitgehend auf Befunden vom Menschen.
(R_D: H360D „Kann das Kind im Mutterleib schädigen“ und/oder R_F: H360F „Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen“)

Kategorie 1B
Wahrscheinlich reproduktionstoxischer Stoff:
Die Einstufung eines Stoffes in die Kategorie 1B beruht weitgehend auf Daten aus Tierstudien. Solche Daten müssen deutliche Nachweise für eine Beeinträchtigung der Sexualfunktion und Fruchtbarkeit sowie der Entwicklung bei Fehlen anderer toxischer Wirkungen ergeben. Falls sie zusammen mit anderen toxischen Wirkungen auftreten, darf die Beeinträchtigung der Fortpflanzung nicht als sekundäre unspezifische Folge anderer toxischer Wirkungen gelten. Liegen jedoch Informationen zum Wirkmechanismus vor, die die Relevanz der Wirkungen beim Menschen infrage stellen, kann die Einstufung in Kategorie 2 geeigneter erscheinen.
(R_D: H360D/R_F 1B (H360F)

Kategorie 2
Vermutlich reproduktionstoxischer Stoff:
Stoffe werden dann als reproduktionstoxisch der Kategorie 2 eingestuft, wenn – eventuell durch weitere Informationen ergänzte – Befunde beim Menschen oder bei Versuchstieren vorliegen, die eine Beeinträchtigung der Sexualfunktion und Fruchtbarkeit oder der Entwicklung nachweisen, diese Nachweise aber nicht stichhaltig genug für eine Einstufung des Stoffes in Kategorie 1 sind. Falls Mängel der Studie die Stichhaltigkeit der Nachweise mindern, könnte eine Einstufung in die Kategorie 2 geeigneter sein. Solche Wirkungen müssen bei Fehlen anderer toxischer Wirkungen beobachtet worden sein. Treten sie aber zusammen mit anderen toxischen Wirkungen auf, darf die Beeinträchtigung der Fortpflanzung nicht als

sekundäre unspezifische Folge anderer toxischer Wirkungen gelten.
(R_D: H361d „Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen“ und/oder R_F H361f „Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen“)

Lact
Wirkungen auf oder über die Laktation:
Diese Einstufung kann auf folgender Grundlage erfolgen:

- Befunde beim Menschen, die auf eine Gefahr für Säuglinge während der Stillzeit hinweisen, und/oder
- Ergebnisse tierexperimenteller Studien über eine oder zwei Generationen, die deutliche Nachweise für eine Schädigung der Nachkommen infolge Aufnahme des Stoffes über die Muttermilch oder für eine Verschlechterung der Milchqualität ergeben, und/oder
- Absorptions-, Stoffwechsel-, Verteilungs- und Ausscheidungsstudien, die nahelegen, dass der Stoff in möglicherweise toxischen Mengen in der Muttermilch vorhanden ist.

(H362: „Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen“)

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. Bei der Gefährdungsbeurteilung nach TRGS 400 sind zusätzlich die Maßnahmen nach TRGS 401 und 406 für sensibilisierende Stoffe zu beachten. Mit „S“ ausgewiesen werden alle Stoffe, die nach den EU-Kriterien als sensibilisierend (H317, H334) angesehen werden müssen (CLP-Verordnung sowie TRGS 900 und 907).

Sa = Sensibilisierung der Atemwege
Sh = Sensibilisierung der Haut
S = Sensibilierung der Atemwege und der Haut

Verbindliche Beurteilungsmaßstäbe

Für die Beurteilung der inhalativen Exposition an Arbeitsplätzen stehen nach TRGS 402 folgende verbindliche Beurteilungsmaßstäbe zur Verfügung:

- Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) gemäß TRGS 900
  Ein Arbeitsplatzgrenzwert gibt an, bis zu welcher Konzentration eines Stoffs akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Beschäftigten im Allgemeinen nicht zu erwarten sind.

- Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen für krebserzeugende Gefahrstoffe nach TRGS 910
  Die Akzeptanzkonzentration (AK) ist die Konzentration eines als krebserzeugend oder keimzellmutagen eingestuften Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, die bei 40jähriger arbeitstäglicher Exposition mit dem Akzeptanzrisiko in Höhe von 4 : 100 000 (übergangsweise 4 : 10 0000) assoziiert ist. Bei Einhaltung wird das Risiko einer Krebserkrankung als niedrig und akzeptabel angesehen (Bereich niedrigen Risikos). Bei einer Überschreitung der Akzeptanzkonzentration bis zur Erreichung der Toleranzkonzentration ist von einem mittleren Risiko auszugehen (Bereich mittleren Risikos). Die Toleranzkonzentration (TK) ist die Konzentration eines als krebserzeugend oder keimzellmutagen eingestuften Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, die bei 40jähriger arbeitstäglicher Exposition mit dem Toleranzrisiko assoziiert ist. Bei Überschreitung wird das Risiko einer Krebserkrankung (4 : 1 000) als hoch und nicht tolerabel angesehen (Bereich hohen Risikos).

- Beurteilungsmaßstäbe aus stoffspezifischen TRGS

Darüber hinaus sind auch die verbindlichen EU-Arbeitsplatzgrenzwerte (BOELV – binding occupational exposure limit value)) aus der Richtlinie 2004/37/EG zu berücksichtigen.

Spalte 6 – mg/m³ bzw. ml/m³

Die in dieser Spalte angegebenen verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe beziehen sich auf die Konzentration (Gewichts- bzw. Volumenanteil) eines Gefahrstoffes in der Luft am Arbeitsplatz. Für die Beurteilung der inhalativen Exposition ist der Massenwert als Bezugswert heranzuziehen (TRGS 900). Bei den angegebenen Beurteilungswerten handelt es sich um 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 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 Beurteilungsmaßstab heranzuziehen ist. Die Bezeichnungen sind der DIN EN 481 „Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“ entnommen.

Bezeichnung	Abkürzung
Alveolengängige Fraktion	A
Einatembare Fraktion	E

Dampf und Aerosol

In der Regel liegen Stoffe an Arbeitsplätzen entweder

als Gas/Dampf oder als kondensierte Phase in Form von Tröpfchen oder Partikeln (Staub) vor. Es gibt jedoch eine Reihe von Stoffen, die bereits bei Raumtemperatur aufgrund ihres Dampfdruckes im Arbeitsbereich in relevanter Menge sowohl als Dampf als auch als Aerosol auftreten können. Deshalb ist bei der Ermittlung der inhalativen Exposition stets darauf zu achten, ob durch das Arbeitsverfahren Dampf- und Aerosolgemische gebildet werden können. Bei der Messung sollten in diesen Fällen generell Probenahmeverfahren gewählt werden, die Dampf und Aerosol gleichzeitig in einem Probenahmesystem erfassen. Dabei ist für das Aerosol eine Probenahmeeinrichtung für die einatembare Fraktion zu wählen. Die Beurteilung der Exposition erfolgt über die Summe aus Dampf und Aerosol. Auf Stoffe, die gleichzeitig als Dampf und Aerosol auftreten können, wird in Spalte 8 mit Bemerkung 11 hingewiesen.

2 Allgemeiner Staubgrenzwert

Der Allgemeine Staubgrenzwert soll die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge der allgemeinen Staubwirkung verhindern. Er ist als AGW anzuwenden für schwerlösliche bzw. unlösliche Stäube, die nicht anderweitig reguliert sind.

Mit einer Gesundheitsgefährdung ist nur dann nicht zu rechnen, wenn nach einschlägiger Überprüfung sichergestellt ist, dass erbgutverändernde, krebserzeugende, 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, Graphit, Kohlestaub, Kunststoffstäube (z. B. Polyvinylchlorid, Bakelit, Polyethylenterephthalat , Polytetrafluorethen), Magnesiumoxid (außer Magnesiumoxid-Rauch), Siliciumcarbid (faserfrei), Talk, Tantal, Titandioxid, Zirkoniumdioxid, Pigment Yellow 12, Pigment Yellow 13, und Pigment Yellow 83.

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 verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe 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. Der Allgemeine Staubgrenzwert gilt nicht für:

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

Messung und Beurteilung

Löslichkeit

Solange keine anderen Erkenntnisse vorliegen, ist die gesamte erfasste Staubfraktion als unlöslich zu bewerten. Kommen in der betrieblichen Praxis Fälle vor, in denen der Löslichkeit der auftretenden Stäube eine besondere Bedeutung zukommt (z. B. Zucker, Kalisalz, Gips), kann der Arbeitgebende im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ein Verfahren dafür festlegen, wie der lösliche Anteil bei der Ermittlung und Beurteilung berücksichtigt werden soll. In der IFA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ [11] steht mit Kennzahl 0412/7 ein Konventionsverfahren zur Ermittlung der Löslichkeit von Stäuben zur Verfügung.

Dichte der Stäube

Der AGW für die alveolengängige Staubfraktion (A-Staub-Fraktion) basiert auf einer mittleren Dichte von 2,5 g/cm³. Werden an einem Arbeitsplatz Materialien mit besonders niedriger Dichte (z. B. Kunststoffe, Papier) oder besonders hoher Dichte (z. B. Metalle) verwendet, kann mit der Materialdichte umgerechnet werden.

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 ermitteln und zu bewerten. Der größere Stoffindex ist für die Arbeitsplatzbeurteilung heranzuziehen. Liegen ausreichende Informationen über das Verhältnis von einatembarer 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 branchen- oder tätigkeitsspezifischen Hilfestellungen nach TRGS 402 vorliegen.

Für Arbeitsplätze mit konstanten Bedingungen und Arbeitsplätze mit gelegentlicher Exposition (siehe Anhang 5 der TRGS 402) kann für die A-Staub-Fraktion in der Gefährdungsbeurteilung auch ein dosisbasiertes Überwachungskonzept über einen repräsentativen Ermittlungszeitraum von maximal einem Monat festgelegt werden. Dazu werden über den gewählten Ermittlungszeitraum die einzelnen Schichtmittelwerte messtechnisch ermittelt und dokumentiert. Der Durchschnitt der gemessenen Schichtmittelwerte darf dabei über den Ermittlungszeitraum den AGW für die A-Staub-Fraktion nicht überschreiten. Ein einzelner Schichtmittelwert darf den Wert von 3 mg/m³ für die A-Staub-Fraktion nicht überschreiten.

Gemische
Bei der Berechnung der Bewertungsindizes von Stoffgemischen nach TRGS 402 Abs. 5.3.2 sind die Stoffindizes für den Allgemeinen Staubgrenzwert nicht zu berücksichtigen.

Aus den Stoffindizes für die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion wird ebenfalls kein Bewertungsindex nach TRGS 402 Abs. 5.3.2 berechnet.

3 AGW für Kohlenwasserstoffgemische

(1) Die AGW sind anzuwenden auf Kohlenwasserstoffgemische mit C-Zahlen bis C14, die einen Siedebereich bis ca. 250 °C aufweisen, einen Benzolgehalt ‹ 0,1 Gew.-% haben und keine kohlenwasserstofffremden Additive enthalten, als solche oder als Bestandteile in Gemischen. Kohlenwasserstoffgemische bestehen aus Kohlenwasserstoffen in variabler Zusammensetzung. Der Unterschied zwischen den verschiedenen Kohlenwasserstoffgemischen beruht hauptsächlich auf ihren unterschiedlichen Kohlenwasserstoffarten (z. B. lineare, verzweigte oder cyclische Alkane und Aromaten) und ihrer Kohlenwasserstoffkettenverteilung. Der für ein bestimmtes Kohlenwasserstoffgemisch anzuwendende AGW (Gemischgrenzwert) ist anhand der Zusammensetzung des Kohlenwasserstoffgemisches mittels der Formel (1) unter Berücksichtigung der Absätze 4 bis 6 zu berechnen. Dies gilt sowohl für Kohlenwasserstoffgemische als UVCB-Stoffe im Sinne der REACH-Verordnung (UVCB-Stoffe sind Stoffe mit unbekannter oder variabler Zusammensetzung, komplexe Reaktionsprodukte oder biologische Materialien) als auch für sonstige Kohlenwasserstoffgemische.

(2) Die AGW sind nicht anzuwenden auf Gemische mit einem Benzolgehalt ≥ 0,1 Gew.-%, auf Gemische aus Terpenkohlenwasserstoffen und vegetabilen Lösemitteln (z. B. Rapsölprodukte) sowie auf andere komplexe kohlenwasserstoffhaltige Gemische wie Kühlschmierstoffe, Kraftstoffe, Schmieröle oder Korrosionsschutzflüssigkeiten, da diese Gemische in der Regel olefinische Kohlenwasserstoffe, kohlenwasserstofffremde Additive (mit einem Additivgehalt von mehr als 1 Gew.-%) oder langkettige Kohlenwasserstoffe (C › 14) enthalten. Eine Zusammenstellung dieser kohlenwasserstoffhaltigen Produkte enthält das Begründungspapier „Kohlenwasserstoffgemische: AGW für Kohlenwasserstoffgemische zur Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additiv-frei (Reciprocal Calculation-based Procedure – RCP)“ in der Tabelle 1 (https://www.baua.de).

(3) Der AGW eines Kohlenwasserstoffgemisches ($AGW_{Gemisch}$) ist anhand seiner Zusammensetzung unter Berücksichtigung der Massenanteile der einzelnen RCP-Gruppen (C6-C8-Aliphaten, C9-C14-Aliphaten und C9-C14-Aromaten) sowie dem Massenanteil bestimmter Einzelkohlenwasserstoffe (siehe Absatz 5) im Kohlenwasserstoffgemisch gemäß folgender RCP-Formel zu berechnen und für die Beurteilung heranzuziehen:

$$\frac{1}{AGW_{Gemisch}} = \frac{Fraktion_a}{AGW_a} + \frac{Fraktion_b}{AGW_b} + \ldots \frac{Fraktion_n}{AGW_n} \qquad (1)$$

Fraktion:
Massenanteil (w/w) der jeweiligen RCP-Gruppe des Kohlenwasserstoffgemisches oder eines Kohlenwassestoffgemisches mit bekanntem RCP-Grenzwert (siehe Absatz 4) oder eines Einzel-Kohlenwasserstoffs nach Absatz 5 im flüssigen Lösemittel.

$AGW_{a...n}$:
Gruppengrenzwert der jeweiligen Fraktion oder RCP-Grenzwert des Kohlenwasserstoffgemisches oder stoffspezifischer AGW (siehe Absatz 4 und 5). Folgende Gruppengrenzwerte sind anzuwenden:

- C6-C8 Aliphaten: 700 mg/m³
- C9-C14 Aliphaten: 300 mg/m³
- C9-C14 Aromaten: 50 mg/m³

Kohlenwasserstoffe mit stoffspezifischem AGW, die einer der RCP-Gruppen zuzuordnen sind wie beispielsweise der C9-Aromat 1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen), werden bei der Berechnung des Arbeitsplatzgrenzwertes mit den entsprechenden Gruppengrenzwerten und nicht mit den stoffspezifischen AGW berücksichtigt. Dies gilt auch, wenn die Stoffe als Einzelkomponenten zugesetzt werden. Die errechneten AGW sind wie folgt auf- oder abzurunden:

- ‹ 25 mg/m³: auf volle 10
- 25 ‹ AGW ‹ 100 mg/m³: auf volle 25
- › 100 mg/m³: auf volle 50

Auf Basis des gerundeten RCP-Grenzwertes ist der Stoffindex nach TRGS 402 für das Kohlenwasserstoffgemisch zu berechnen. Dieser Stoffindex fließt in die Berechnung des Bewertungsindexes nach TRGS 402 ein, wenn weitere Stoffe im Arbeitsbereich zur Exposition beitragen (siehe Absatz 6 und 11).

(4) Bei der Herstellung von Mischungen aus zwei oder mehr Kohlenwasserstoffgemischen muss für die Beurteilung der Kohlenwasserstoffgemische ein neuer AGW gemäß Absatz 3 berechnet werden. Hierbei sind zur Berechnung neben dem entsprechenden Massenanteil die entsprechenden nach der RCP-Formel (1) berechneten AGW der einzelnen Kohlenwasserstoffgemische heranzuziehen, die z. B. aus dem Sicherheitsdatenblatt entnommen werden können. Alternativ kann die Kohlenwasserstoffzusammensetzung des neuen Gemisches analytisch bestimmt werden und der neue AGW entsprechend der

Formel (1) berechnet werden. In Gemischen, in denen zwei oder mehr Kohlenwasserstoffgemische neben anderen Lösemitteln enthalten sein können (z. B. in Lacken), muss für die Beurteilung des Kohlenwasserstoffanteils ebenfalls ein neuer AGW gemäß Absatz 3 berechnet werden. Der Massenanteil der einzelnen Kohlenwasserstoffgemische ist nur auf den RCP-Kohlenwasserstoffanteil in der Gesamtmischung zu beziehen.

(5) Die Stoffe n-Hexan, Diethylbenzol (alle Isomere) und Decahydronaphthalin (Decalin), für die stoffspezifische AGW vorliegen, fallen nicht unter die Gruppengrenzwerte. Sie sind in die Formel (1) mit ihrem Massenanteil und dem stoffspezifischen AGW einzubeziehen. Der so berechnete Gemischgrenzwert für das Kohlenwasserstoffgemisch ist für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung anzugeben. Sofern ein Kohlenwasserstoffgemisch nach Absatz 1 alle drei Diethylbenzolisomeren enthält oder diesem ein Diethylbenzolisomerengemisch zugesetzt wird, ist der AGW von 11 mg/m³ für die Berechnung heranzuziehen.

(6) Die nicht in die RCP-Gruppen fallenden Kohlenwasserstoffe Pentan (alle Isomere), Benzol, Toluol, Xylol (alle Isomere), Ethylbenzol und Naphthalin sind bei der Berechnung des Arbeitsplatzgrenzwertes nach Absatz 3 nicht zu berücksichtigen. Pentan (alle Isomere), Toluol, Xylol, Ethylbenzol und Naphthalin sind entsprechend TRGS 402 mit ihrem AGW zu beurteilen und fließen in die Berechnung des Bewertungsindexes nach TRGS 402 ein. Benzol ist mit der Akzeptanz- und Toleranzkonzentration nach TRGS 910 zu beurteilen.

(7) Sofern Lösemittelgemische unter Verwendung von Einzel-Kohlenwasserstoffen hergestellt werden und keine Kohlenwasserstoffgemische enthalten (wie z. B. ein Gemisch aus Propan-2-ol, Methylcyclohexan, Cyclohexan, n-Heptan), findet Absatz 3 keine Anwendung. Die Stoffe sind entsprechend TRGS 402 mit ihrem AGW zu beurteilen und fließen in die Berechnung des Bewertungsindexes nach TRGS 402 ein.

(8) Der Lieferant hat den AGW für das Kohlenwasserstoffgemisch oder den Massenanteil der einzelnen RCP-Gruppen im Sicherheitsdatenblatt anzugeben. Der AGW für das Kohlenwasserstoffgemisch (Summe aller Bestandteile nach Abschnitt 3 „Zusammensetzung/Angaben zu den Bestandteilen“ des Sicherheitsdatenblattes) ist mit einem Hinweis auf die Berechnung nach TRGS 900 Nr. 2.9 anzugeben.

(9) Ist die Zusammensetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches nicht bekannt und im Sicherheitsdatenblatt kein AGW für das Kohlenwasserstoffgemisch angegeben, ist der AGW für Diethylbenzol (Isomerengemisch) für die Beurteilung heranzuziehen. Sind in Einzelfällen mehr Informationen vorhanden, können diese Informationen für die Berechnung der AGW herangezogen werden, bei der Berechnung ist jedoch immer die strengste Bewertung vorzunehmen. Beispielsweise ist für ein „Testbenzin aromatenfrei“ der niedrigste Gruppengrenzwert für Aliphaten heranzuziehen (für C9-C14 Aliphaten: 300 mg/m³).

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

(11) Besteht neben der Exposition gegenüber einem oder mehreren Kohlenwasserstoffgemischen auch eine gleichzeitige Exposition gegenüber kohlenwasserstofffremden Lösemitteln mit AGW, wie Alkoholen, Ketonen, Estern usw., so ist das Messergebnis für das Kohlenwasserstoffgemisch zusammen mit den Messergebnissen für die anderen Stoffe in die Berechnung des Bewertungsindexes nach TRGS 402 für das Gemisch mit einzubeziehen.

(12) Für die Messung an Arbeitsplätzen bei Tätigkeiten mit Kohlenwasserstoffgemischen steht ein Messverfahren des IFA in der IFA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ [11] unter Kennzahl 7735 zur Verfügung. Für die Berechnung des AGW kann der RCP-Rechner des IFA unter www.dguv.de/ifa/rcp-rechner/ genutzt werden.

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 AGW und Überschreitungsfaktor. Der maximale Überschreitungsfaktor beträgt 8. Bei achtfacher Überschreitung des Grenzwertes viermal pro Schicht über 15 Minuten darf in dieser Schicht keine weitere Exposition mehr erfolgen, da sonst die Konzentration am Arbeitsplatz als Schichtmittelwert den Grenzwert überschreitet [8 · GW · (0,25 h · 4)/8 h + 0 · GW · 7 h/8 h = GW]. Auch darf keine Exposition gegenüber anderen Stoffen mit AGW 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 Mittelungsdauer entsprechend den messtechnischen Möglichkeiten zu wählen (siehe auch TRGS 402, Anhang 2 Abschnitt A2.3.2).

Bei einigen Stoffen der Kategorie I werden 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 (I); =4= 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
Resorptiv wirksame Stoffe

Als Basiswert (15-Minuten-Mittelwert) wird ein Überschreitungsfaktor 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.

- Zeitraum
  Für die Intervalle zwischen den Perioden mit einer Konzentration oberhalb des Grenzwertes als 15-Minuten-Mittelwert (Kurzzeitwertphase) ist ein Zeitraum von einer Stunde anzustreben. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig.

- Stoffe mit Toleranzkonzentration
  Die Beurteilung von Expositionsspitzen erfolgt entsprechend Kurzzeitwertkategorie II der TRGS 900. Ein Mindestzeitraum zwischen den Kurzzeitwertphasen ist jedoch nicht festgelegt. Der ÜF wird in der TRGS 910 zusätzlich zur Toleranzkonzentration aufgeführt, standardmäßig wird der Faktor 8 festgelegt.

- Stoffe ohne Kurzzeitwert
  Für einige Stoffe wurde keine Begrenzung der Expositionsspitzen festgelegt. In diesem Fall hat der AGS vorgesehen, dass Expositionen, die kürzer als eine Stunde sind, den Beurteilungsmaßstab höchstens um den Faktor 8 überschreiten dürfen. Das bedeutet, dass sich die entsprechende Messung auf die tatsächliche Expositionsdauer beziehen muss.

Tabelle: Zulässiger Überschreitungsfaktor (ÜF) in Abhängigkeit von der Überschreitungsdauer für resorptiv wirksame Stoffe (Kategorie II)

Spitzenbegrenzung nach TRGS 900	Expositionsdauer in Minuten									
	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120
8 (II)	8	6	4,8	4	3	2,4	2	1,5	1,2	1
4 (II)	4	3	2,4	2	1,5	1,2	1			
2 (II)	2	1,5	1,2	1						

Spalte 8 — Bemerkungen

AGW Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900

AK Akzeptanzkonzentration nach TRGS 910

TK Toleranzkonzentration nach TRGS 910

BM Beurteilungsmaßstab aus einer stoffspezifischen TRGS

BOELV Binding occupational exposure limit value (Verbindlicher Arbeitsplatzgrenzwert der EU-Kommission)

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. Ein „H“ in Klammern wurde der MAK- und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) entnommen.

X
Krebserzeugender Stoff der Kat. 1A oder 1B oder krebserzeugende Tätigkeit oder Verfahren nach § 2 Absatz 3 Nr. 4 der GefStoffV – es ist zusätzlich § 10 GefStoffV zu beachten.

Y
Mit der Bemerkung „Y“ werden Stoffe ausgewiesen, bei denen ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des AGW und des BGW 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 BGW nicht ausgeschlossen werden kann.

(1) Kieselguren können, je nach Herkunft, Anteile von Quarz enthalten. Das Brennen bzw. Calcinieren von Kieselguren führt zu steigenden Cristobalitanteilen. 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. Auch in Kieselrauchen kann produktionsbedingt Quarz enthalten sein, der neben dem Kieselrauch gesondert zu ermitteln und zu bewerten ist.

(2) Kolloidale amorphe Kieselsäure [7631-86-9] einschließlich pyrogener Kieselsäure und im Nassverfahren hergestellter Kieselsäure (Fällungskieselsäure, Kieselgel)

(3) Technische Produkte maßgeblich mit 2-Nitropropan (krebserzeugend Kat. 1B) 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 der entsprechenden kanzerogenen N-Nitrosamine führen.

(7) AGW für die Summe der Luftkonzentrationen von Ethylendinitrat, Glycerintrinitrat und Propan-1,2-diyldinitrat

(8) 0,5 = (Konz. α-HCH dividiert durch 5) + Konz. β-HCH

(9) Die Bewertung bezieht sich nur auf den reinen Stoff; Verunreinigung mit Chlorfluormethan [593-70-4] ändert die Risikobeurteilung grundlegend.

(10) Der AGW bezieht sich auf den Elementgehalt des entsprechenden Metalls.

(11) Summe aus Dampf und Aerosolen

(12) Der AGW 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“ [12] oder IFA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ [11].

(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.

(18) Die messtechnische Bestimmung kann durch die gravimetrische Bestimmung der E-Staubfraktion erfolgen.

(19) Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG hat in der MAK- und BAT-Werte-Liste zum gleichlautenden MAK-Wert auch einen BAT-Wert festgelegt.

(20) Für Permanganate gilt Spitzenbegrenzung, Überschreitungsfaktor 1(II).

(21) Ausgenommen sind Vanadium als elementares Metall, anorganische Vanadiumverbindungen anderer Wertigkeit und C.I. Pigment Yellow 184.

(22a) Gilt nicht für den untertägigen Bergbau bis 21. August 2025.

(22b) Für den untertägigen Bergbau gilt bis 21. August 2025 ein Wert in Höhe von 30 mg/m³ bzw. 25 ppm.

(23) PCB
(PCB 28 + PCB 52 + PCB 101 + PCB 138 + PCB 153 + PCB 180) x 5 (berechnet als Summe der Indikatorkongenere x 5); nach [13]

(24) Für als Kategorie 1A oder 1B eingestufte Nickelverbindungen siehe TRGS 910 und TRGS 561. Eine Beurteilung anhand des AGW für Nickelmetall kann dann erfolgen, wenn ausschließlich Nickelmetall vorliegt. Sofern bei Tätigkeiten nickelhaltige Stäube entstehen, bei denen nur eine Oberflächenoxidation zu unterstellen ist, sind diese wie nickelmetallhaltige Gemische zu behandeln. Bei Anwendung von thermischen Verfahren in Gegenwart von Luftsauerstoff ist grundsätzlich eine Bildung von oxidischen Nickelverbindungen anzunehmen. Dies ist beispielsweise beim Schweißen (Elektroden oder Draht) und thermischen Schneiden mit bzw. von Legierungen, beim Metallspritzen von Legierungen, beim Schmelzen und Gießen von Legierungen sowie beim Schleifen und Trennen von Legierungen mit „Funkenbildung“ der Fall. Weitere Empfehlungen sowie Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen der AGW bzw. die ERB zur Beurteilung herangezogen werden können, enthält die IFA-Arbeitsmappe (Kennzahl 0537) [11].

(25) In den Bewertungsindex gemäß TRGS 402 werden die Dieselrußpartikel (bestimmt in der A-Fraktion) in Analogie zum Allgemeinen Staubgrenzwert (siehe dazu TRGS 900 Nummer 2.4.1 Absatz 6) sowie NO und NO_2 aus den Abgasen von Dieselmotoren nicht eingerechnet.

(26) Gilt nicht für den untertägigen Bergbau bis 21. August 2025.

(27) entfällt

(28) Formale Umsetzung der Richtlinie 2017/2398/EU [14]

(29) AGW nicht gesundheitsbasiert abgeleitet; die Ableitung einer Exposition-Risiko-Beziehung nach TRGS 910 ist initiiert

(30) Stoff darf gem. Anhang II Nummer 6 GefStoffV nur in geschlossenen Anlagen hergestellt oder verwendet werden.

(31) Die arbeitsmedizinisch-toxikologische Ableitung des Wertes basiert auf einer Plausibilitätsbetrachtung. Auf die Werte für den A-Staub für Nickelmetall in der TRGS 900 und für Nickelverbindungen in der TRGS 910 wird hingewiesen.

(32) Gemäß Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 [15] gilt ab 10. Mai 2020 eine Verwendungsbeschränkung für NMP, wenn der dort genannte Luftgrenzwert nicht eingehalten wird.

(33) Bezogen auf den Bitumenkondensat-Standard (Messverfahren 6305/2 der IFA-Arbeitsmappe [11])

(34) Gilt nicht für den Bereich Walzasphalt bis 31. Dezember 2026. Gilt nicht für den Bereich Gussasphalt sowie im Bereich der Bitumen- und Polymerbitumenbahnen bis 31. Dezember 2024.

(35) Mischexposition mit Eisenverbindungen vermeiden (Fe-NTA-Bildung)

(36) Formale Umsetzung der Richtlinie 2019/1831/EU [16]

(37) Formale Umsetzung der Richtlinie 2019/130/EU [17]

(38) Bei einer Mischung von Hartholzstäuben mit anderen Holzstäuben gilt der AGW für Hartholzstaub für sämtliche in der Mischung enthaltenen Holzstäube.

(39) Der AGW gilt nur für den E-Staub und deckt die nicht-krebserzeugende Wirkung (Nierentoxizität) ab. Die krebserzeugende Wirkung und der entsprechende Eintrag für den A-Staub in der TRGS 910 sind zu berücksichtigen.

(40) Die Kurzzeitwerte orientieren sich an den bisherigen Festlegungen (s. DFG/AGS).

(41) Umsetzung der Richtlinie (EU) 2017/164 [18]; der abgesenkte AGW ist schnellstmöglich, spätestens ab 1. Juli 2026 einzuhalten. Bis 30. Juni 2026 gilt ein Wert in Höhe von 0,2 mg/m³ bzw. 0,09 ppm.

(42) Umsetzung der Richtlinie (EU) 2017/164 [18]; der abgesenkte AGW ist schnellstmöglich, spätestens ab 1. Juli 2026 einzuhalten. Bis 30. Juni 2026 gilt ein Wert in Höhe von 2,7 mg/m³ bzw. 1 ppm.

Spalte 9 — Herkunft (Jahr)

Herkunft

Mit den folgenden Kürzeln wird in Spalte 9 auf die Herkunft der Luftgrenzwerte und den Fundort für evtl. vorliegende Begründungspapiere (in Klammern) hingewiesen:

- AGS – Ausschuss für Gefahrstoffe (www.baua.de)
  Der AGS leitet die AGW nach den Kriterien der Bekanntmachung zu Gefahrstoffen (BekGS) 901 ab.
- DFG – Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft
  Die von der DFG-Kommission vorgeschlagenen Werte sind in der jeweils aktuellen MAK- und BAT-Werte-Liste veröffentlicht (https://series.publisso.de/de/pgseries/overview/mak/lmbv).

- EU – Europäische Union
  Die EU verabschiedet Richtgrenzwerte und verbindliche Grenzwerte für eine berufsbedingte Exposition. Diese werden in EU-Richtlinien veröffentlicht.
- 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 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 im entsprechenden biologischen Material, 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 AGW 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 BGW festgelegt ist. BGW werden von der DFG-Senatskommission oder der EU-Kommission vorgeschlagen und nach Beratung durch den AGS in der TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“ veröffentlicht. Die aktuellen Werte sind in der Grenzwerteliste in Abschnitt 1.3 aufgeführt.

Eine der Voraussetzungen für die Aufstellung von BGW ist das Vorliegen ausreichender arbeitsmedizinischer und toxikologischer Erfahrungen beim Menschen. Da gegenwärtig für krebserzeugende Gefahrstoffe in der Regel kein als unbedenklich anzusehender biologischer Wert angegeben werden kann, werden sie nicht mit BGW belegt.

Für krebserzeugende 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 sogenannte Äquivalenzwerte abgeleitet. Ihnen kann entnommen werden, welche innere Belastung sich bei ausschließlich inhalativer Stoffaufnahme ergeben würde.

In Spalte 10 der Liste weist der Eintrag ÄBM darauf hin, dass für den jeweiligen Stoff stoffspezifische Äquivalenzwerte in biologischem Material zur Akzeptanz- und Toleranzkonzentration in der TRGS 910 festgelegt sind. Sie finden sich in Abschnitt 1.2. Der Eintrag EKA in Spalte 10 deutet darauf hin, dass von der DFG-Senatskommission für den jeweiligen Stoff ein Espositionsäquivalent festgelegt ist. EKA-Werte werden in Abschnitt XIII der jährlich erscheinenden MAK- und BAT-Werte-Liste veröffentlicht. Die EKA-Werte sind keine Grenzwerte gemäß der GefstoffV und werden daher in dieser Liste nicht explizit aufgeführt.

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
AAT s. 2-Aminoazotoluol											
Abamectin und Abamectin B1a [71751-41-2] [65195-55-3], 265-610-3			2								
Acetaldehyd [75-07-0], 200-836-8	1B	2				91	50	1 (I); =2=	AGW X, Y	AGS, DFG (2010)	
Acetamid [60-35-5], 200-473-5	2										
Acetamiprid (ISO) [135410-20-7; 160430-64-8]			2								
Acetanhydrid s. Essigsäureanhydrid											
* Aceton [67-64-1], 200-662-2						1200	500	2 (I)	AGW Y	AGS, DFG, EU (2015)	BGW
Acetochlor (ISO) s. 2-Chlor-N-(ethoxymethyl)-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)acetamid											
Acetonitril [75-05-8], 200-835-2						17	10	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2018)	
Acetophenon, Formaldehyd, Cyclohexylamin, Methanol und Essigsäure, Reaktionsprodukt von 406-230-1	2				Sh						
Acetylaceton s. Pentan-2,4-dion											
Acetylcholinesterase-Hemmer											BGW
Acetylentetrachlorid s. 1,1,2,2-Tetrachlorethan											
N-[2-(3-Acetyl-5-nitrothiophen-2-ylazo)-5-diethylaminophenyl]-acetamid [777891-21-1], 416-860-9				2	Sh						
Aclonifen (ISO) [74070-46-5], 277-704-1	2				Sh						
Acridinorange s. N,N,N‘,N‘-Tetramethylacridin-3,6-yldiaminhydrochlorid											
Acrolein s. Acrylaldehyd											
* Acrylaldehyd [107-02-8], 203-453-4						0,05	0,02	2,5 (I)	AGW H, 41	(AGS), EU (2024)	
Acrylamid [79-06-1], 201-173-7	1B	1B		2	Sh	0,07 0,15 0,1		8 (II)	AK TK H BOELV	AGS (2010) TRGS 910 EU (2017)	ÄBM EKA
Acrylnitril [107-13-1], 203-466-5	1B				Sh	0,26 2,6	0,12 1,2	8 (II)	AK TK H	AGS (2010) TRGS 910	ÄBM EKA
* Acrylsäure [79-10-7], 201-177-9						30	10	1 (I); =2=	AGW H, Y	DFG, EU (2023)	
Acrylsäure-n-butylester s. n-Butylacrylat											
Acrylsäureethylester s. Ethylacrylat											
Acrylsäure-2-ethylhexylester s. 2-Ethylhexylacrylat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Acrylsäuremethylester s. Methylacrylat											
Adipinsäure [124-04-9], 204-673-3						2 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2017)	
Adipinsäuredimethylester s. Dimethyladipat											
AES-Wolle (Alcaline Earth Silicate wool; Hochtemperaturglaswollen) s. Faserstäube, anorganische	–										
Aktinolith s. Asbest											
Alachlor [15972-60-8], 240-110-8	2				Sh						
* Aldrin [309-00-2], 206-215-8	2					aufgehoben (2023)			H		
6-[(C10-C13)-Alkyl-(verzweigt, ungesättigt)-2,5-dioxopyrrolidin-1-yl]hexansäure [2156592-54-8]			1B	1B							
6-[(C12-18)-Alkyl-(verzweigt, ungesättigt)-2,5-dioxopyrrolidin-1-yl]hexansäure			1B	1B							
6-[C12-18-Alkyl-(verzweigt, ungesättigt)-2,5-dioxopyrrolidin-1-yl]hexansäure, Natrium- und Tris-(2-hydroxyethyl)ammoniumsalze			1B	1B							
Allgemeiner Staubgrenzwert (siehe auch Nummer 2.4 der TRGS 900 bzw. Erläuterungen zur Spalte 6) – Alveolengängige Fraktion: – Einatembare Fraktion:						1,25 A 10 E		2 (II)	AGW Y	AGS, DFG (2014)	
Allylalkohol [107-18-6], 203-470-7	–	–	–	–		4,8	2	2,5 (I)	AGW H	EU (2000)	
5-Allyl-1,3-benzodioxol [94-59-7], 202-345-4	1B	2									
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-epoxypropyl)-phenoxy]-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)phenol; 4-Allyl-6-[3-(4-allyl-2,6-bis(2,3-epoxypropyl)-phenoxy)-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)-phenol; 4-Allyl-6-[3-[6-[3-(4-allyl-2,6-bis-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy)-2-hydroxypropyl]-4-allyl-2-(2,3-epoxypropyl)-phenoxy]-2-hydroxypropyl]-2-(2,3-epoxypropyl)phenol, Gemisch aus 417-470-1		2			Sh						
Allylchlorid s. 3-Chlorpropen											
Allylglycidether s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
Allylglycidylether s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
1-[2-(Allyloxy)-2-(2,4-dichlorphenyl)ethyl]-1H-imidazol [35554-44-0], 252-615-0	2					2 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2014)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1-Allyloxy-2,3-epoxypropan [106-92-3], 203-442-4	**1B** 2	2	–	2	Sh				(H)		
Allylpropyldisulfid [2179-59-1], 218-550-7						12	2	1 (I)	AGW	DFG (2002)	
Aluminium (als Metall) [7429-90-5], 231-072-3						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					BGW
Aluminiumhydroxid [21645-51-2], 244-492-7						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Aluminiumoxid [1344-28-1;1302-74-5], 215-691-6						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Aluminiumoxid-Fasern (polykristalline Wolle) [1344-28-1], 215-691-6 s. Faserstäube, anorganische	**2**										
Aluminiumoxid-Rauch [1344-28-1], 215-691-6						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Aluminiumsilikatfasern (feuerfeste Keramikfasern gemäß Richtlinie 2004/37/EG) Fasern für besondere Verwendungszwecke, soweit in dieser Liste nicht gesondert aufgeführt [(künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat-)Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden (Na2O+K2O+CaO+MgO+BaO) von weniger oder gleich 18 Gewichtsprozent]	1B i					10 000 F/m³ 100 000 F/m³		8 (II)	AK TK	AGS (2010) TRGS 910	
Ameisensäure [64-18-6], 200-579-1						9,5	5	2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2000)	
Ameisensäureethylester s. Ethylformiat											
Ameisensäuremethylester s. Methylformiat											
4-Aminoazobenzol [60-09-3], 200-453-6	1B										
2-Aminoazotoluol (o-) (4-o-Tolylazo-o-toluidin) [97-56-3], 202-591-2	1B				Sh				H		
2-Aminobiphenyl s. Biphenyl-2-ylamin											
4-Aminobiphenyl s. 4-Aminodiphenyl											
1-Aminobutan s. Butylamin											
2-Aminobutan-1-ol [96-20-8], 202-488-2						3,7	1	2 (II)	AGW H, Z, 11	AGS, DFG (2017)	
1-[2-(2-Aminobutoxy)ethoxy]but-2-ylamin und 1-({[2-(2-Aminobutoxy)ethoxy]methyl}propoxy)but-2-ylamin, Reaktionsmasse aus 447-920-2				2							
1-Amino-4-chlorbenzol s. 4-Chloranilin											
1-Amino-3-chlor-6-methylbenzol s. 5-Chlor-o-toluidin											
2-Amino-3-chlor-1,4-naphthochinon s. Quinoclamin (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1-(2-Amino-5-chlorphenyl)-2,2,2-trifluor-1,1-ethandiol, Hydrochlorid; [Gehalt an 4-Chloranilin (EG-Nr. 203-401-0) ≥ 0,1 %] [214353-17-0], 433-580-2	1B										
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											
(R,S)-2-Amino-3,3-dimethylbutanamid [144177-62-8], 447-860-7				2	Sh						
4-Aminodiphenyl [92-67-1], 202-177-1 und seine Salze	1A								H		
4-Aminodiphenylamin s. N-(4-Aminophenyl)anilin											
2-Aminoethanol [141-43-5], 205-483-3					Sh	0,5	0,2	1 (I)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2016)	
2-(2-Aminoethoxy)ethanol [929-06-6], 213-195-4					Sh	0,87	0,2	1 (I)	AGW H, 11	DFG (2015)	
6-Amino-2-ethoxynaphthalin [293733-21-8]	**1B**										
2-(2-Aminoethylamino)ethanol [111-41-1], 203-867-5			1B	2	Sh						
3-Amino-9-ethylcarbazol [132-32-1], 205-057-7	1B										
4-Amino-3-fluorphenol [399-95-1], 402-230-0	1B				Sh						
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				2	Sh						
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						3,7	1	2 (II)	AGW H, Y, 11	DFG (2015)	
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)	AGW	AGS (1993)	
6-Aminonaphtholether s. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
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	2	–	–	–					H		
2-Aminophenol [95-55-6], 202-431-1		2									
4-Aminophenol [123-30-8], 204-616-2		2			Sh						
N-(4-Aminophenyl)anilin [101-54-2], 202-951-9					Sh	7 E	0,91	2 (II)	AGW H, Y	AGS (2014)	
p-Aminophenylether s. 4,4'-Oxydianilin											
2-Aminopropan [75-31-0], 200-860-9						12	5	=2= (I)	AGW Y	DFG (2009)	
1-Aminopropan-2-ol (MIPA) [78-96-6], 201-162-7						5,8	2	2 (I)	AGW 11	AGS (2013)	
N-(3-Aminopropyl)-N-dodecylpropan-1,3-diamin [2372-82-9], 219-145-8						0,05 E		8 (II)	AGW Y	DFG (2018)	
5-Amino-o-toluidin s. 2,4-Toluylendiamin											
3-Amino-p-toluidin s. 2,4-Toluylendiamin											
4-Aminotoluol s. p-Toluidin											
3-Amino-1,2,4-triazol s. Amitrol											
Amisulbrom (ISO) 348635-87-0	2										
Amitrol (ISO) [61-82-5], 200-521-5			2			0,2 E		8 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2013)	
Ammoniak [7664-41-7], 231-635-3						14	20	2 (I)	AGW Y	DFG , EU (2007)	
(6R-trans)-1-((7-Ammonio-2-carboxylato-8-oxo-5-thia-1-azabicyclo-[4.2.0]oct-2-en-3-yl)-methyl)pyridiniumiodid [100988-63-4], 423-260-0		2			Sh						
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				2							
Ammonium-2-amino-4-(hydroxymethylphosphinyl)butyrat s. Glufosinat-Ammonium (ISO)											
Ammoniumbromid [12124-97-9], 235-183-8			1B Lact	1B							
Ammoniumdichromat [7789-09-5], 232-143-1	1B	1B	1B	1B	S	s. Chrom(VI)-Verbindungen			H		
Ammoniumheptadecafluoroctansulfonat, Ammoniumperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
Ammoniumpentadecafluoroctanoat [3825-26-1], 223-320-4	2		1B								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Amorphe Kieselsäuren s. Kieselsäuren, amorphe											
Amosit s. Asbest											
Amylacetat, tert s. 1,1-Dimethylpropylacetat											
Anabolika	**2**	**–**	**1B**	**1A**							
Androgene	**2**	**–**	**1B**	**1A**							
Androgene, schwache	**–**	**–**	**2**	**2**							
Androsta-1,4,9(11)-trien-3,17-dion [15375-21-0], 433-560-3				2							
Anilin [62-53-3], 200-539-3	2	2	–	–	Sh	7,7	2	2 (II)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2013)	BGW
Salze von Anilin	2	2			Sh				H		
o-Anisidin s. 2-Methoxyanilin											
Anon s. Cyclohexanon											
Anthophyllit s. Asbest											
Antimonsulfid [1345-04-6], 215-713-4						0,006 A		8 (I)	AGW Y, 10	AGS (2018)	
Antimontrioxid (Diantimontrioxid) [1309-64-4], 215-175-0	2					0,006 A		8 (I)	AGW Y, 10	AGS (2018)	
Anthrachinon [84-65-1], 201-549-0	1B										
ANTU [86-88-4], 201-706-3	2								(H)		
Aromatenextrakte aus Erdöldestillat s. Extrakte											
Arprocarb s. Propoxur											
Arsenik s. Arsentrioxid											
Arsenige Säure [36465-76-6]	**1A**					0,83 µg/m³ E 8,3 µg/m³ E		8 (II)	AK TK 10	AGS (2014) TRGS 910	ÄBM EKA
Arsenpentoxid [1303-28-2], 215-116-9	1A					0,83 µg/m³ E 8,3 µg/m³ E		8 (II)	AK TK 10	AGS (2014) TRGS 910	ÄBM EKA
Arsensäure und ihre Salze (Arsenate) [7778-39-4], 231-901-9	1A					0,83 µg/m³ E 8,3 µg/m³ E		8 (II)	AK TK 10	AGS (2014) TRGS 910	ÄBM EKA
Arsentrioxid [1327-53-3], 215-481-4	1A					0,83 µg/m³ E 8,3 µg/m³ E		8 (II)	AK TK 10	AGS (2014) TRGS 910	ÄBM EKA
Arzneistoffe, krebserzeugende s. Abschnitt 1.4											
Arsenwasserstoff, Arsin [7784-42-1], 232-066-3						0,016	0,005	8 (II)	AGW	AGS (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Asbest [1332-21-4] - Chrysotil [12001-29-5; 132207-32-0]	1A					10 000 F/m³ 100 000 F/m³		8 (II)	AK TK	AGS (2008) TRGS 910	
- Amphibol-Asbeste (Aktinolith, Amosit, Anthophyllit, Krokydolith, Tremolit) [77536-66-4; 12172-73-5; 77536-67-5; 12001-28-4; 77536-68-6]	1A										
Atrazin (ISO) [1912-24-9], 217-617-8					Sh	1 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2013)	
Attapulgit (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	**1B**										
Auramin [492-80-8], 207-762-5 und seine Salze [a] Für Auramin und -hydrochlorid [2465-27-2]	**1B**[a] 2	**2**[a]	–	–	–						
Auramin, Herstellung von s. Abschnitt 1.4	1A										
Azafenidin 68049-83-2			1B	2							
Azamethiphos (ISO) [35575-96-3], 252-626-0	2				Sh						
Azinphos-methyl (ISO) [86-50-0], 201-676-1					Sh	1 E		8 (II)	AGW H, Z	DFG (2019)	
Aziridin s. Ethylenimin											
Azobenzol [103-33-3], 203-102-5	1B	2	–	–	–						
Azofarbstoffe s. Abschnitt 1.4	**1A** od. **1B**										
Azofarbstoffe auf Benzidinbasis	1B										
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethoxybenzidinbasis	1B										
Azofarbstoffe auf 3,3'-Dimethylbenzidinbasis	1B										
Azoimid s. Stickstoffwasserstoffsäure											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bariumdibortetraoxid [13701-59-2], 237-222-4			1B	1B							
Bariumverbindungen, löslich (außer Bariumoxid und Bariumhydroxid)						0,5 E		1 (I)	AGW 10, 13, 15	EU (2007)	
Baumwollstaub						1,5 E		1 (I)	AGW Y, 4	DFG (2002)	
BBP s. Benzylbutylphthalat											
* Benfluralin (ISO) [1861-40-1], 217-465-2	2		2		Sh						
Benfuracarb (ISO) [82560-54-1]				2							
Benomyl (ISO) [17804-35-2], 241-775-7		1B	1B	1B	Sh						
Bentazon (ISO) [25057-89-0], 246-585-8			2		Sh						
Benz[e]acephenanthrylen s. Benz[b]fluoranthen											
Benzalchlorid s. α,ααα-Dichlortoluol											
Benz[a]anthracen [56-55-3], 200-280-6	1B								(H)		
Benz[b]fluoranthen [205-99-2], 205-911-9	1B								(H)		
Benzidin [92-87-5], 202-199-1 und seine Salze	1A								H		
Benzo[d,e,f]chrysen s. Benzo[a]pyren											
Benzoesäure [65-85-0], 200-618-2						0,5	0,1	4 (II)	AGW H, Y, 11	DFG (2018)	
Benzo[j]fluoranthen [205-82-3], 205-910-3	1B								(H)		
Benzo[k]fluoranthen [207-08-9], 205-916-6	1B								(H)		
Benzol [71-43-2], 200-753-7	1A	1B				0,2 1,9 1,65	0,06 0,6 0,5	8 (II)	AK TK H BOELV	AGS (2012) TRGS 910 EU (2024)	ÄBM EKA
* 1,4-Benzoldiamin, N,N'-gemischte Ph und Tolylderivate [68953-84-4], 273-227-8			1B	1B	Sh						
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{6-8}-verzweigte Alkylester, C_7-reich [71888-89-6], 276-158-1	–	–	1B	**2**							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{7-9}-verzweigte und lineare Alkylester [68515-41-3], 271-083-0	–	–	**2**	–							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{7-11}-verzweigte und lineare Alkylester [68515-42-4], 271-084-6	–	–	1B	2							
1,2-Benzoldicarbonsäure, Di-C_{9-11}-verzweigte und lineare Alkylester [68515-43-5], 271-085-1	–	–	**2**	–							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,2-Benzoldicarbonsäure, Dihexylester, verzweigt und linear [68515-50-4], 271-093-5			1B	1B							
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			1B	1B							
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)	AGW	DFG (2007)	
Benzo[rst]pentaphen [189-55-9], 205-877-5	1B	2							(H)		
Benzophenon [119-61-9], 204-337-6	1B										
Benzo[a]pyren [50-32-8], 200-028-5	1B	1B	1B	1B	Sh	70 ng/m³ E 700 ng/m³ E in bestimmten PAK-Gemischen		8 (II)	AK TK H	AGS (2011) TRGS 910	EKA
Benzo[e]pyren [192-97-2], 205-892-7	1B										
Benzothiazol-2-thiol [149-30-4], 205-736-8					Sh	4 E			AGW Y	DFG (1999)	
Benzotrichlorid s. α,α,α-Trichlortoluol											
Benzoylperoxid s. Dibenzoylperoxid											
Benzylalkohol [100-51-6], 202-859-9						22	5	2 (I)	AGW H, Y, 11	DFG (2017)	
Benzyl-n-butylphthalat [85-68-7], 201-622-7	–	–	1B	2		20 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2018)	
Benzylchlorid s. α-Chlortoluol											
2-Benzyl-4-chlorphenol s. Clorofen											
Benzyl-2,4-dibrombutanoat [23085-60-1], 420-710-8				2	Sh						
* Benzyl(diethylamino)diphenylphosphonium-4-[1,1,1,3,3,3-hexafluor-2-(4-hydroxyphenyl)-propan-2-yl]phenolat [577705-90-9], 479-100-5				1B							
2-Benzyl-2-dimethylamino-4'-morpholinobutyrophenon [119313-12-1], 404-360-3			1B								
Benzylidenchlorid s. α,α-Dichlortoluol											
* Benzyltriphenylphosphonium, Salz mit 4,4'-[2,2,2-Trifluor-1-(trifluormethyl)ethyliden]bis-[phenol] (1:1) [75768-65-9], 278-305-5				1B							
Benzyl violet 4 B [1694-09-3], 216-901-9	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bernsteinsäure [110-15-6], 203-740-4						2 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2017)	
Bernsteinsäuredimethylester s. Dimethylsuccinat											
Beryllium [7440-41-7], 231-150-7 und seine Verbindungen *) Von der Einstufung ausgenommen sind Beryllium-Tonerdesilikate	1B i *)				Sh	0,00006 mg/m³ A 0,00014 mg/m³ E		1 (I)	AGW X, 10	AGS (2017)	
Berylliumoxid [1304-56-9], 215-133-1	1B i				Sh	siehe Beryllium					
BHC (ISO) s. HCH (ISO)											
N-{2-[[1,1'-Bi(cyclopropyl)]-2-yl]-phenyl}-3-(difluor-methyl)-1-methyl-1H-pyrazol-4-carboxamid [874967-67-6]	2										
Bifenthrin (ISO) [82657-04-3]	2				Sh						
Binapacryl (ISO) [485-31-4], 207-612-9			1B						H		
2,2'-Bioxiran s. 1,2,3,4-Diepoxybutan											
1,1'-Biphenyl, Chlorderivate s. Chlorierte Biphenyle											
Biphenylether s. Diphenylether											
Biphenyl-2-ol [90-43-7], 201-993-5 Natriumsalz s. Natrium-2-biphenylat						5 E		1 (I)	AGW Y, 11	DFG (2016)	
3,3',4,4'-Biphenyltetramin s. 3,3'-Diaminobenzidin											
Biphenyl-2-ylamin [90-41-5], 201-990-9	2										
3-(3-Biphenyl-4-yl-1,2,3,4-tetra-hydro-1-naphthyl)-4-hydroxy-cumarin s. Difenacoum (ISO)											
2,2-Bis(acryloyloxymethyl)butyl-acrylat s. Trimethylolpropantriacrylat											
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	1B										
2,2-Bis(brommethyl)propan-1,3-diol [3296-90-0], 221-967-7	1B	1B									
4,4'-Bis(N-carbamoyl-4-methyl-benzolsulfonamid)diphenyl-methan [151882-81-4], 418-770-5	2										

	Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
		K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
	1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
	Bis-2-chlorethylether s. 2,2'-Dichlordiethylether											
	Bis(2-chlorethyl)methylamin s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
*	Bis(2-chlorethyl)ether [111-44-4], 203-870-1	2					3	0,5	2 (II)	AGW H	DFG (2023)	
	Bis(2-chlorethyl)sulfid s. 2,2'-Dichlordiethylsulfid											
	Bis-(1-((5-chlor-2-hydroxyphenyl)-azo)-2-naphthalinolat(2-))-chromat-1-tetradecanamin s. Tetradecylammoniumbis(1-(5-chlor-2-oxidophenylazo)-2-naphtholato)chromat(1-)											
	Bis(chlormethyl)ether [542-88-1], 208-832-8	1A								H		
	Bis(cyclopenta-1,3-dienid-bis(2,6-difluor-3-(1H-pyrrol-1-yl)-phenolid)titan(IV) [125051-32-3], 412-000-1				2							
	6,6'-Bis(diazo-5,5',6,6'-tetrahydro-5,5'-dioxo)[methylenbis(5-(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxo-1-naphthylsulphonyloxy)-6-methyl-2-phenylen]di(naphthalen-1-sulfonat) 441-550-5	2										
	[4[4,4'-Bis(dimethylamino)-benzhydryliden]cyclohexa-2,5-dien-1-ylidene]dimethyl-ammonium-chlorid s. C.I.Basic violet 3											
	4,4'-Bis(dimethylamino)-benzophenon s. Michlers Keton											
	Bis[4-(dimethylamino)-phenyl]methanon s. Michlers Keton											
	Bis(α,α-dimethylbenzyl)peroxid [80-43-3], 201-279-3			1B								
	Bis(dimethylthiocarbamoyl)-disulfid s. Thiram											
	Bis[dimethylzinn(isooctylmercaptoacetat)]sulfid; Bis[dimethylzinn(2-mercaptoethyloleat)]sulfid						0,05	0,01	2 (II)	AGW Y, 10, 11	DFG (2015)	
	1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)-benzol [101-90-6], 202-987-5	1B	2			Sh				H		
	S-[1,2-Bis(ethoxycarbonyl)ethyl]-O,O-dimethyldithiophosphat s. Malathion											
	Bis(2-ethylhexyl)phthalat [117-81-7], 204-211-0	–	–	1B	1B		2 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2015)	
	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	2		1B								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bis(4-fluorphenyl)(methyl)-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)silan s. Flusilazol											
Bis(hydroxylammonium)sulfat Hydroxylaminsulfat (2:1) [10039-54-0], 233-118-8	2				Sh				H		
(T-4)- bis[1-(hydroxy-.kappa.O)-pyridin-2(1H)-thionato-.kappa.S]-zink s. Zink-Pyrithion											
2,5-(und 2,6-)Bis(isocyanatomethyl)bicyclo[2.2.1]heptan [74091-64-8], 411-280-2					S	0,045	0,005		AGW	AGS (2007)	
4,7-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol, 4,8-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol und 5,7-Bis(mercaptomethyl)-3,6,9-trithia-1,11-undecandithiol, Gemisch aus 427-050-1				2	Sh						
1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan) [112-49-2], 203-977-3	–	–	1B	**1B** 2							
Bis(2-(2-methoxyethoxy)ethyl)-ether [143-24-8], 205-594-7			1B	1B							
* Bis(2-methoxyethyl)ether [111-96-6], 203-924-4			1B	1B		5,56	1	8 (II)	AGW H, Z	DFG (2021)	BGW
Bis(2-methoxyethyl)ether s. Diethylenglykoldimethylether											
Bis(2-methoxyethyl)phthalat [117-82-8], 204-212-6			1B	2							
Bis-2-methoxypropylether s. Dipropylenglykolmonomethylether											
Bis[methylzinndi(isooctylmercaptoacetat)]sulfid, Bis[methylzinndi(2-mercaptoethyloleat)]sulfid [59118-99-9]						1	0,2	2 (II)	AGW Z, 10, 11	DFG (2015)	
Bismutvanadiumtetraoxid Bismutvanadat [14059-33-7], 237-898-0						0,001 A		8 (II)	AGW	AGS (2018)	
Bis(pentabromphenyl)ether [1163-19-5], 214-604-9	**2**	–	–	–							
Bisphenol A s. 4,4'-Isopropylidendiphenol											
Bisphenol AF s. 4,4'-[2,2,2-Trifluor-1-(trifluormethylethyliden]diphenol											
Bisphenol S s. 4,4'-Sulfonyldiphenol											
Bis[4-(phenylazo)benzol-1,3-diamin]sulfat s. Chrysoidinmonohydrochlorid											
Bis(tributylzinn)oxid [56-35-9], 200-268-0			1B	1B		s. Tri-n-butylzinnverbindungen					
1,3-Bis(vinylsulfonylacetamido)-propan [93629-90-4], 428-350-3		2			Sh						
4,4'-Bi-o-toluidin s. 3,3'-Dimethylbenzidin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Bitumen: Dampf und Aerosol bei der Heißverarbeitung von Destillations- und Air-Rectified-Bitumen *) s. Oxidationsbitumen	*)	*)				1,5		2 (II)	AGW H, 11, 33, 34	DFG (2019)	
Blausäure s. Hydrogencyanid											
Blei [7439-92-1], 231-100-4			1A Lact	1A		aufgehoben (2021)					BGW
Anorganisches Blei und seine Verbindungen						0,15			BOELV	EU (2022)	
Bleiacetat, basisch [1335-32-6], 215-630-3	2		1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleialkyle, Cn = 1-5			1A	2		s. Bleitetraethyl s. Bleitetramethyl			H		
Bleiazid [13424-46-9], 236-542-1			1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleichromat [7758-97-6], 231-846-0	1B		1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW EKA
Bleichromatmolybdatsulfatrot [12656-85-8], 235-759-9	1B		1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleidi(acetat) [301-04-2], 206-104-4			1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleihexafluorsilikat [25808-74-6], 247-278-1			1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleihydrogenarsenat [7784-40-9], 232-064-2	1A		1A	2		s. Arsensäuresalze					BGW
Blei(II)methansulfonat [17570-76-2]			1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleisulfochromatgelb [1344-37-2], 215-693-7	1B		1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleitetraethyl [78-00-2], 201-075-4			1A	2		0,05		2 (II)	AGW H, Z, 10	DFG (2010)	BGW
Bleitetramethyl [75-74-1], 200-897-0			1A	2		0,05		2 (II)	AGW H, Z, 10	DFG (2010)	BGW
Blei-2,4,6-trinitroresorcinat [15245-44-0], 239-290-0			1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Bleiverbindungen mit Ausnahme der namentlich genannten			1A	2		aufgehoben (2021)					BGW
*) für anorganische Verbindungen						0,15 E *)			BOELV	EU (2022)	
Borsäure und Natriumborate [10043-35-3], 233-139-2; [11113-50-1], 234-343-4			1B	1B		0,5 E		2 (I)	AGW Y, 10	AGS (2015)	
Bortrifluorid [7637-07-2], 231-569-5						1	0,35	2 (II)	AGW Y	AGS (2007)	
Bortrifluorid-Dihydrat [13319-75-0], 231-569-5						1,5	0,35	2 (II)	AGW Y	AGS (2008)	
Brenzcatechin s. 1,2-Dihydroxybenzol											
Brodifacoum (ISO) [56073-10-0], 259-980-5			1A						H		
Brom [7726-95-6], 231-778-1						0,7	0,1	1 (I)	AGW	AGS, EU (2007)	
Bromadiolon (ISO) [28772-56-7], 249-205-9			1B						H		
3-[3-(4'-Brombiphenyl-4-yl)-3-hydroxy-1-phenylpropyl]-4-hydroxy-2H-chromen-2-on s. Bromadiolon (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
3-[3-(4'-Brombiphenyl-4-yl)-1,2,3,4-tetrahydronaphthalen-1-yl]-4-hydroxy-2H-1-benzothiopyran-2-on s. Difethialon (ISO)											
3-Brom-2,2-bis(brommethyl)-propan-1-ol s. 2,2-Dimethylpropan-1-ol, Tribromderivat											
Bromchlortrifluorethan s. Halothan											
2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan s. Halothan											
Bromethan [74-96-4], 200-825-8	**1B** 2								(H)		
Bromethylen (Bromethen) [593-60-2], 209-800-6	1B					3,7 3,7	0,83 0,83	8 (II)	AK TK	AGS (2021) TRGS 910	
3-(3-Brom-6-fluor-2-methylindol-1-ylsulfonyl)-N,N-dimethyl-1H-1,2,4-triazol-1-sulfonamid s. Amisulbrom (ISO)											
Brommethan [74-83-9], 200-813-2	–	2	–	–		3,9	1	2 (I)	AGW Y	DFG (2016)	
1-Brom-2-methylpropylpropionat [158894-67-8], 422-900-6	2				Sh						
(R)-5-Brom-3-(1-methyl-2-pyrrolidinylmethyl)-1H-indol [143322-57-0], 422-390-5				2	Sh						
Bromoform s. Tribrommethan											
Bromoxynil [1689-84-5], 216-882-7			2		Sh						
Bromoxynil-Heptanoat [56634-95-8], 260-300-4			2		Sh						
Bromoxyniloctanoat s. 2,6-Dibrom-4-cyanphenyl-octanoat											
1-Brompropan [106-94-5], 203-445-0	–	–	1B	1B					(H)		EKA
2-Brompropan [75-26-3], 200-855-1				1A							
1-Brom-3,4,5-trifluorbenzol [138526-69-9], 418-480-9	2										
Bromtrifluormethan (R13B1) [75-63-8], 200-887-6						6 200	1 000	8 (II)	AGW Y	DFG (2002)	
Bromwasserstoff s. Hydrogenbromid											
Bupirimat (ISO) [41483-43-6], 255-391-2	2				Sh						
1,3-Butadien [106-99-0], 203-450-8	1A	1B				0,5 5 2,2	0,2 2 1	8 (II)	AK TK BOELV	AGS (2010) TRGS 910 EU (2017)	ÄBM EKA
n-Butan [106-97-8], 203-448-7						2 400	1 000	4 (II)	AGW	DFG (2002)	
iso-Butan [75-28-5], 200-857-2						2 400	1 000	4 (II)	AGW	DFG (2002)	
Butanal s. Butyraldehyd											
1,4-Butandiol [110-63-4], 203-786-5						200	50	4 (II)	AGW 11	AGS (2013)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Butandion (Diacetyl) [431-03-8], 207-069-8					Sh	0,071	0,02	1 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2015)	
1-Butanol (n-) [71-36-3], 200-751-6						310	100	1 (I)	AGW Y	DFG (2000)	BGW
iso-Butanol [78-83-1], 201-148-0						310	100	1 (I)	AGW Y	DFG (2000)	
tert-Butanol s. 2-Methyl-2-propanol											
2-Butanon [78-93-3], 201-159-0			–			600	200	1 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2000)	BGW
2-Butanonoxim [96-29-7], 202-496-6	1B				Sh	1	0,3	8 (I)	AGW H, Y	AGS (2013)	
Butansulfon s. 1,4-Butansulton											
1,4-Butansulton [1633-83-6], 216-647-9	**2**										
2,4-Butansulton [1121-03-5], 214-325-2	**1B**										
δ-Butansulton s. 1,4-Butansulton											
Butan-1-thiol [109-79-5], 203-705-3					Sh	3,7	1	2 (II)	AGW H, Y	DFG (2020)	
2-Butenal [123-73-9], 204-647-1 [4170-30-3], 224-030-0	–	2	–	–					H		
1,2-Butenoxid s. 1,2-Epoxybutan											
But-2-in-1,4-diol [110-65-6], 203-788-6					Sh	0,36	0,1	1 (I)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2013)	
Butoxydiethylenglykol, -acetat s. Butyldiglykol, -acetat											
1-n-Butoxy-2,3-epoxypropan [2426-08-6], 219-376-4	2	**1B** 2	–	–	Sh				H		
1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan [7665-72-7], 231-640-0	–	**2**	–	–					H		
2-Butoxyethanol [111-76-2], 203-905-0						49	10	2 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2019)	BGW
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol s. Butyldiglykol											
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat s. Butyldiglykolacetat											
2-Butoxyethylacetat [112-07-2], 203-933-3						65	10	2 (I)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2019)	BGW
n-Butylacetat [123-86-4], 204-658-1						300	62	2 (I)	AGW Y	AGS, EU (2012)	
iso-Butylacetat s. Isobutylacetat											
sec-Butylacetat [105-46-4], 203-300-1						300	62	2 (I)	AGW Y	AGS, EU (2012)	
tert-Butylacetat [540-88-5], 208-760-7						96	20	2 (II)	AGW Y	AGS, DFG (2018)	
n-Butylacrylat [141-32-2], 205-480-7					Sh	11	2	2 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2017)	
Butylalkohol (n-, sec-, tert- , iso-) s. Butanol											
Butylamin [109-73-9], 203-699-2						6,1	2	2 (I); =2,5=	AGW H, Y	DFG (2016)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
iso-Butylamin s. Isobutylamin											
sec-Butylamin [13952-84-6], 237-732-7						6,1	2	2 (I); =2,5=	AGW	DFG (2016)	
tert-Butylamin [75-64-9], 200-888-1						6,1	2	2 (I); =2,5=	AGW	DFG (2016)	
4-tert-Butylbenzoesäure [98-73-7], 202-696-3				1B		2 E		2 (II)	AGW H	DFG (2001)	
Butylbenzol [104-51-8], 203-209-7						56	10	2 (II)	AGW H	DFG (2018)	
2-(4-tert-Butylbenzyl)propionaldehyd [80-54-6], 201-289-8			2	1B							
N-Butyl-1-butanamin s. Di-n-butylamin											
n-Butylchlorformiat [592-34-7], 209-750-5						1,1	0,2	2 (I)	AGW Y	DFG (2003)	
n-Butylchlorid s. 1-Chlorbutan											
α-tert-Butyl-β-(4-chlorphenoxy)-1H-1,2,4-triazol-1-ethanol s. Triadimenol (ISO)											
Butyldiglykol [2-(2-Butoxyethoxy)ethanol] [112-34-5], 203-961-6						67	10	1,5 (I)	AGW Y, 11	DFG, EU (2013)	
Butyldiglykolacetat [124-17-4], 204-685-9						67	10	1,5 (I)	AGW Y, 11	DFG (2013)	
5-tert-Butyl-3-[2,4-dichlor-5-(prop-2-ynyloxy)phenyl]-1,3,4-oxadiazol-2(3H)-on s. Oxadiargyl											
4'-tert-Butyl-2',6'-dimethyl-3',5'-dinitroacetophenon [81-14-1], 201-328-9	2	–	–	–							
2-tert-Butyl-4,6-dinitrophenol s. Dinoterb											
2-sec-Butyl-4,6-dinitrophenyl-3-methylcrotonat s. Binapacryl											
8-tert-Butyl-1,4-dioxa-spiro[4.5]-dec-2-ylmethyl-ethylpropylamin s. Spiroxamin (ISO)											
1,2-Butylenoxid s. 1,2-Epoxybutan											
5-Butyl-2-ethylamino-6-methyl-pyrimidin-4-yldimethylsulfamat s. Bupirimat (ISO)											
N-Butyl-N-ethyl-α,α-trifluor-2,6-dinitro-p-toluidin s. Benfluralin (ISO)											
Butylglycidether n-Butylglycidylether s. 1-n-Butoxy-2,3-epoxypropan											
tert-Butylglycidylether s. 1-tert-Butoxy-2,3-epoxypropan											
Butylglykol s. 2-Butoxyethanol											
Butylglykolacetat s. 2-Butoxyethylacetat											
tert-Butylhydroperoxid [75-91-2], 200-915-7		2									

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
tert-Butyl-4-methoxyphenol [25013-16-5], 246-563-8						20 E		1 (II)	AGW Y, 11	DFG (2013)	
(tert-Butyl)methylether [1634-04-4], 216-653-1						180	50	1,5 (I)	AGW Y	DFG, EU (2000)	
4-tert-Butylphenol (p-) [98-54-4], 202-679-0				2		0,5	0,08	2 (II)	AGW H, 11	DFG (2013)	BGW
2-(4-tert-Butylphenoxy)-cyclohexylprop-2-ynylsulfit s. Propargit											
2-(4-tert-Butylphenyl)ethanol [5406-86-0], 410-020-5				2							
cis-4-[3-(p-tert-Butylphenyl)-2-methylpropyl]-2,6-dimethyl-morpholin [67564-91-4], 266-719-9			2								
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	2	–	–	–							
n-Butylzinnverbindungen Mono-n-butylzinnverbindungen Di- und Tri-n-butylzinnverb.						0,009	0,0018	1 (I)	AGW H, 10, 11 Y Z	AGS (2014)	
Butyraldehyd [123-72-8], 204-646-6						64	20	1 (I)	AGW	AGS (1992)	
2-Butyryl-3-hydroxy-5-thiocyclohexan-3-yl-cyclohex-2-en-1-on [94723-86-1], 425-150-8				1B	Sh						
5-(3-Butyryl-2,4,6-trimethylphenyl)-2-[1-(ethoxyimino)-propyl]-3-hydroxycyclohex-2-en-1-on) [138164-12-2], 414-790-3			2	2							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Cadmium [7440-43-9], 231-152-8 *) auch für Cd-Verbindungen, die als K1A oder K1B eingestuft sind	1B	2	2	2		0,9 µg/m³ A *) 2 µg/m³ A *)		8 (II)	AK TK (H), 10	AGS (2021) TRGS 910	
Cadmium und anorganische Cd-Verbindungen						2 µg/m³ E		8 (II)	AGW (H), X, 10, 39	AGS (2021)	
Cadmiumverbindungen in Form atembarer Stäube/Aerosole, ausgenommen die namentlich aufgeführten	**1B**					s. Cadmium			H		
Cadmiumcarbonat 513-78-0], 208-168-9	1B	1B				s. Cadmium			H		
Cadmiumchlorid [10108-64-2], 233-296-7	1B	1B	1B	1B		s. Cadmium					
Cadmiumcyanid [542-83-6], 208-829-1	**1B** 2					s. Cadmium			H		
Cadmiumdiformiat [4464-23-7], 224-729-0	**1B** 2					s. Cadmium					
Cadmiumfluorid [7790-79-6], 232-222-0	1B	1B	1B	1B		s. Cadmium					
Cadmiumhexafluorsilikat [17010-21-8], 241-084-0	**1B** 2					s. Cadmium					
Cadmiumhydroxid; Cadmiumdihydroxid [21041-95-2], 244-168-5	1B	1B				s. Cadmium			H		
Cadmiumiodid [7790-80-9], 232-223-6	**1B** 2					s. Cadmium					
Cadmiumnitrat; Cadmiumdinitrat [10325-94-7], 233-710-6	1B	1B				s. Cadmium			H		
Cadmiumoxid [1306-19-0], 215-146-2	1B	2	2	2		s. Cadmium					
Cadmiumsulfat [10124-36-4], 233-331-6	1B	1B	1B	1B		s. Cadmium					
Cadmiumsulfid [1306-23-6], 215-147-8	1B	2	2	2		s. Cadmium					
Calciumarsenat s. Arsensäuresalze											
Calciumcarbimid s. Calciumcyanamid											
Calciumchromat [13765-19-0], 237-366-8	1B					s. Chrom(VI)-Verbindungen			(H)		EKA
Calciumcyanamid [156-62-7], 205-861-8						1 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2012)	
Calciumdihydroxid [1305-62-0], 215-137-3						1 E		2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2014)	
Calciumoxid [1305-78-8], 215-138-9						1 E		2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2014)	
Calciumsalicylate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert); Calciumphenate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert); geschwefelte Calciumphenate (verzweigt C_{10-14} und C_{18-30} alkyliert), Gemisch aus 415-930-6				2	Sh						
* Calciumsulfat [7778-18-9], 231-900-3						aufgehoben (2023)					

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Camphechlor [8001-35-2], 232-283-3	2								H		
* ε-Caprolactam (Dampf und Staub) [105-60-2], 203-313-2						5 E		2 (I)	AGW H, Y, 11	AGS, EU (2024)	
Captafol (ISO) [2425-06-1], 219-363-3	1B				Sh						
Captan (ISO) [133-06-2], 205-087-0	2				Sh						
Carbadox (INN) [6804-07-5], 229-879-0	1B										
Carbamidsäureethylester s. Ethylcarbamat											
Carbanil s. Phenylisocyanat											
* Carbaryl (ISO) [63-25-2], 200-555-0	2					aufgehoben (2023)					
9H-Carbazol-3-amino-9-ethyl s. 3-Amino-9-ethylcarbazol											
Carbendazim (ISO) [10605-21-7], 234-232-0		1B	1B	1B	Sh	10 E		4 (II)	AGW Z	DFG (2013)	
Carbetamid (ISO) [16118-49-3], 240-286-6	2		1B								
Carbonfasern (Kohlenstoff-Fasern) mit WHO-Abmessungen s. Faserstäube, anorganische	**2**										
4,4'-Carbonimidoylbis(N,N-dimethylanilin) und seine Salze s. Auramin											
Carbonylchlorid s. Phosgen											
N-Carboxymethyliminobis-(ethylennitrilo)tetraessigsäure [67-43-6], 200-652-8			1B								
Chinolin s. Quinolin											
Chinolin-8-ol [148-24-3], 205-711-1			1B		Sh						
Chinomethionat [2439-01-2], 219-455-3				2	Sh				H		
Chlor [7782-50-5], 231-959-5						1,5	0,5	1 (I)	AGW Y	DFG, EU (2000)	
2-Chloracetaldehyd [107-20-0], 203-472-8	2	–	–	–					H		
2-Chloracetamid [79-07-2], 201-174-2	–	–	–	2	Sh				(H)		
Chloracetamid-N-methylol s. N-Methylol-chloracetamid											
Chloralkane C10-13 [85535-84-8], 287-476-5	2										
Chloralkane, C_{14-17} (Chlorierte Paraffine C_{14-17}) [85535-85-9], 287-477-0			Lact			6 E	0,3 E	8 (II)	AGW H, Y, 11	AGS (2011)	
γ-Chlorallylchlorid s. 1,3-Dichlorpropen											
2-Chlorallyldiethyl-dithio-carbamat s. Sulfallat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
cis-1-(3-Chlorallyl)-3,5,7-triaza-1-azoniaadamantanchlorid [51229-78-8], 426-020-3			2		Sh						
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	1B				Sh	0,3	0,06	2 (II)	AGW H, X, 11	AGS (2019)	
Chlorbenzol [108-90-7], 203-628-5						23	5	2 (II)	AGW Y	DFG, EU (2018)	BGW
4-Chlorbenzotrichlorid (p-) [5216-25-1], 226-009-1	1B	–	–	**1B** 2					H		
(1RS,5RS;1RS,5SR)-5-(4-Chlorbenzyl)-2,2-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)cyclopentanol s. Metconazol (ISO)											
(RS)-(E)-5-(4-Chlorbenzylidene)-2,2-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-methyl)cyclopentanol s. Triticonazol (ISO)											
(1RS,2SR,5RS;1RS,2SR,5SR)-2-(4-chlorbenzyl)-5-isopropyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl) cyclopentanol s. Ipconazol (ISO)											
2-Chlor-1,3-butadien [126-99-8], 204-818-0	1B	–	–	–		0,51 5,15	0,14 1,4	1 (II)	AK TK H	AGS (2018) TRGS 910	
1-Chlorbutan [109-69-3], 203-696-6						12	3	2 (II)	AGW	AGS (2016)	
3-Chlor-N-[3-chlor-2,6-dinitro-4-(trifluormethyl)phenyl]-5-(trifluormethyl)pyridin-2-amin s. Fluazinam (ISO)											
3-Chlor-4-(chlormethyl)-1-[3-(trifluormethyl)phenyl]pyrrolidin-2-on s. Flurochloridon (ISO)											
1-({2-[2-Chlor-4-(4-chlorphenoxy)-phenyl]-4-methyl-1,3-dioxolan-2-yl}methyl)-1H-1,2,4-triazol s. Difenoconazol (ISO)											
* Chlordan (ISO) [57-74-9], 200-349-0	2					aufgehoben (2023)			H		
Chlordecone [143-50-0], 205-601-3	2								H		
(2-Chlor-3-diethylamino-1-methyl-3-oxoprop-1-enyl)dimethyl-phosphat s. Phosphamidon											
2-Chlor-2‘,6‘-diethyl-N-(methoxymethyl)acetanilid s. Alachlor											
1-Chlor-1,1-difluorethan (R 142 b) [75-68-3], 200-891-8						4 200	1 000	8 (II)	AGW	DFG (2002)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Chlordifluormethan (R 22) [75-45-6], 200-871-9						3 600			AGW 9	EU (1993)	
2-Chlor-1-(difluormethoxy)-1,1,2-trifluorethan s. 2-Chlor-1,1,2-trifluorethyl-difluormethylether											
5-Chlor-1,3-dihydro-2H-indol-2-on [17630-75-0], 412-200-9				2	Sh						
Chlordimeform (ISO) [6164-98-3], 228-200-5	2								H		
Chlordimeformhydrochlorid [19750-95-9], 243-269-1	2										
Chlordimethylether s. Monochlordimethylether											
Chlor-N,N-dimethylformiminium-chlorid [3724-43-4], 425-970-6			1B								
Chlordioxid [10049-04-4], 233-162-8						0,28	0,1	1 (I)	AGW	DFG (2000)	
1-Chlor-2,3-epoxypropan (Epichlorhydrin) [106-89-8], 203-439-8 [51594-55-9], 424-280-2	1B				Sh	1,9 8 1,9	0,5 2	2 (II)	AK TK H BOELV	AGS (2020) TRGS 910 EU (2019)	ÄBM EKA
Chloressigsäure [79-11-8], 201-178-4						2	0,5	2 (I)	AGW H, Y, 11	DFG (2019)	
Chloressigsäureethylester s. Ethylchloracetat											
Chloressigsäuremethylester s. Methylchloracetat											
Chlorethan [75-00-3], 200-830-5	2					110	40	2 (II)	AGW (H)	AGS, EU (2007)	
2-Chlorethanol [107-07-3], 203-459-7						6,7	2	1 (II)	AGW H, Y	DFG (2019)	
Chlorethen s. Vinylchlorid											
2-Chlor-N-(ethoxymethyl)-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)acetamid [34256-82-1], 251-899-3	2			2	Sh						
Chlor-1-ethylcyclohexylcarbonat [99464-83-2], 444-950-8		2			Sh						
Chlorethylen s. Vinylchlorid											
(2-Chlorethyl)(3-hydroxypropyl)-ammoniumchlorid [40722-80-3], 429-740-6	1B	1B			Sh						
6-(2-Chlorethyl)-6-(methoxy-ethoxy)-2,5,7,10-tetraoxa-6-silaundecan [37894-46-5], 253-704-7			1B								
3-Chlor-4-(3-fluorbenzyloxy)-anilin [202197-26-0], 445-590-4		2									
Chlorfluormethan (R 31) [593-70-4], 209-803-2	**1B**										
2-Chlor-6-fluorphenol [2040-90-6], 433-890-8		1B		2	Sh						
N-Chlorformylmorpholin s. Morpholin-4-carbonylchlorid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Chlor-N-hydroxymethyl-acetamid s. N-Methylol-chloracetamid											
(3-Chlor-2-hydroxypropyl)-trimethylammoniumchlorid [3327-22-8], 222-048-3	2	–	–	–							
Chlorierte Biphenyle [1336-36-3], 215-648-1 *) Gesamt-PCB	**2**		**1B** Lact	**1B**		0,003 E *)		8 (II)	AGW H, Z, 11, 23	AGS, DFG (2016)	BGW
Chloriertes Camphen s. Camphechlor											
N-(5-Chlor-2-isopropylbenzyl)-N- cyclopropyl-3-(difluormethyl)-5-fluor-1-methyl-1H-pyrazol-4-carboxamid s. Isoflucypram											
Chlormethan [74-87-3], 200-817-4	2					21	10	1 (II)	AGW	DFG, EU (2021)	
(5-Chlor-2-methoxy-4-methyl-3-pyridyl)-(4,5,6-trimethoxy-o-tolyl)methanon [688046-61-9]	2										
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	**2**				Sh						
2-[2-Chlor-4-(methylsulfonyl)-benzoyl]cyclohexan-1,3-dion s. Sulcotrione (ISO)											
2-{2-Chlor-4-(methylsulfonyl)-3-[(2,2,2-trifluorethoxy)methyl]-benzoyl}cyclohexan-1,3-dion s. Tembotrion (ISO)											
3-Chlor-4-[(2RS,4RS;2RS,4SR)-4-methyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)-1,3-dioxolan-2-yl]-phenyl-4-chlorophenylether s. Difenoconazol (ISO)											
1-Chlor-2-nitrobenzol [88-73-3], 201-854-9	**2**	–	–	**2**					(H)		
1-Chlor-4-nitrobenzol [100-00-5], 202-809-6	2	2	–	–					H		
2-Chlor-6-nitro-3-phenoxyanilin s. Aclonifen (ISO)											
6-Chloro-N,N'-diethyl-1,3,5-triazin-2,4-diamin s. Simazin											
Chloroform s. Trichlormethan											
Chlorophen s. Clorofen											
2-Chloropren s. 2-Chlor-1,3-butadien											
Chlorothalonil s. Chlorthalonil											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
S-[(6-Chlor-2-oxooxazolo[4,5-b]-pyridin-3(2H)-yl)-methyl]-O,O-dimethylthiophosphat s. Azamethiphos (ISO)											
Chlorphacinon (ISO) [3691-35-8], 223-003-0			1B						H		
(1RS,2RS;1RS,2SR)-1-(4-Chlorphenoxy)-3,3-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol s. Triadimenol (ISO)											
(2RS, 3RS; 2RS, 3SR)-2-(4-Chlorphenyl)-3-cyclopropyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol) s. Cyproconazol											
(E,Z)-4-(3-(4-Chlorphenyl)-3-(3,4-dimethoxyphenyl)acryloyl)-morpholin s. Dimethomorph (ISO)											
3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethyl-harnstoff s. Monuron (ISO)											
1-(4-Chlorphenyl)-4,4-dimethyl-3-(1,2,4-triazol-1-ylmethyl)-pentan-3-ol s. Tebuconazol (ISO)											
(2RS,3RS)-1-(4-Chlorphenyl)-4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)-pentan-3-ol s. Paclobutrazol (ISO)											
3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethyl-uronium-trichloracetat [140-41-0]	2										
(2RS, 3RS)-3-(2-Chlorphenyl)-2-(4-fluorphenyl)-[(1H-1,2,4-triazol-1-yl)methyl]oxiran [133855-98-8], 406-850-2	2		1B	2							
4-[(3-Chlorphenyl)(1H-imidazol-1-yl)methyl]-1,2-benzoldiamin-dihydrochlorid [159939-85-2], 425-030-5				2	Sh						
(3-Chlorphenyl)-(4-methoxy-3-nitrophenyl)methanon [66938-41-8], 423-290-4		2									
2-[(4-Chlorphenyl)(phenyl)-acetyl]-1H-inden-1,3(2H)-dion s. Chlorphacinon (ISO)											
Chlorpikrin s. Trichlornitromethan											
3-Chlor-1,2-propandiol [96-24-2], 202-492-4						0,023	0,005	8 (II)	AGW H, 11	DFG (2014)	
3-Chlorpropen [107-05-1], 203-457-6	2	2							H		
3-Chlor-1-propen s. 3-Chlorpropen											
Chlorpropham (ISO) [101-21-3], 202-925-7	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
(1E)-N-[(6-Chlorpyridin-3-yl)-methyl]-N'-cyan-N-methylethan-imidamid; (E)-N1-[(6-Chlor-3-pyridyl)methyl]-N2-cyano-N1- methylacetamidin s. Acetamiprid (ISO)											
{(2Z)-3-[(6-Chlorpyridin-3-yl)-methyl]-1,3-thiazolidin-2-yliden}-cyanamid; (Z)-3-(6-Chlor-3-pyridylmethyl)-1,3-thiazolidin-2-ylidencyanamid s. Thiacloprid (ISO)											
Chlorpyrifos (ISO) [2921-88-2], 220-864-4						0,2			AGW H	AUS-NL (2006)	
Chlorthalonil [1897-45-6], 217-588-1	2				Sh						
(E)-1-(2-Chlor-1,3-thiazol- 5-yl-methyl)-3-methyl-2-nitroguanidin s. Clothianidin (ISO)											
3-(2-Chlor-thiazol-5-ylmethyl)-5-methyl-[1,3,5]oxadiazinan-4-yliden-N-nitroamin s. Thiamethoxam (ISO)											
4-Chlor-o-toluidin [95-69-2], 202-441-6 und -hydrochlorid [3165-93-3], 221-627-8	**1A** 1B	2	–	–					H		
5-Chlor-o-toluidin [95-79-4], 202-452-6	**2**										
α-Chlortoluol [100-44-7], 202-853-6, s. auch α-Chlortoluole	1B	**2**	**2**	–					(H)		
Chlortoluole: Gemisch aus α-Chlortoluol [100-44-7], α,α-Dichlortoluol [98-87-3], α,α,α-Trichlortoluol [98-07-7]	**1A**								(H)		
Chlortoluron [15545-48-9], 239-592-2	2		2								
3-(3-Chlor-p-tolyl)-1,1-dimethyl-harnstoffe s. Chlortoluron											
N-(4-Chlor-o-tolyl)-N',N'-dimethylformamidin s. Chlordimeform											
4-Chlor-1-trichlormethylbenzol s. 4-Chlorbenzotrichlorid											
2-Chlor-1,1,2-trifluor-ethyldifluormethylether s. Enfluran											
Chlortrifluormethan (R 13) [75-72-9], 200-894-4						4 300	1 000	8 (II)	AGW	DFG (2002)	
(1E)-N-[4-Chlor-2-(trifluormethyl)-phenyl]-1-(1H-imidazol-1-yl)-2-propoxyethanimin s. Triflumizol (ISO)											
Chlorwasserstoff [7647-01-0], 231-595-7						3	2	2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2004)	
Chlozolinate [84332-86-5], 282-714-4	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Chrom [7440-47-3], 231-157-5 und anorganische Chrom(II)- und -(III)-Verbindungen (ausgenommen namentlich genannte)						2 E		1 (I)	AGW 10	EU (2018)	
Chrom-III-chromate („Chromic-chromate“) [24613-89-6], 246-356-2	1B				Sh	s. Chrom(VI)-Verbindungen			(H)		
Chromdioxiddichlorid s. Chromoxychlorid											
Chromdioxychlorid s. Chromoxychlorid											
Chromgelb s. Bleichromat											
Chromoxychlorid [14977-61-8], 239-056-8	1B i	1B			Sh	s. Chrom(VI)-Verbindungen					
Chromsäure (Anhydrid) s. Chromtrioxid											
Chromsäureanhydrid s. Chromtrioxid											
Chrom(III)sulfat, basisch [12336-95-7], 235-595-8 [39380-78-4], 619-674-8					Sh	0,012 A		1 (I)	AGW 10	AGS, EU (2018)	
Chromtrioxid [1333-82-0], 215-607-8	1A	1B		2	S	s. Chrom(VI)-Verbindungen			H		
Chrom(VI)-Verbindungen ausgenommen sind Bariumchromat sowie namentlich genannte Verbindungen	1B i				Sh	0,001 E als Cr(VI)		8 (II)	TK 10	AGS (2014) TRGS 910	EKA
Chromylchlorid s. Chromoxychlorid											
Chrysen [218-01-9], 205-923-4	1B	2							(H)		
Chrysoidin [495-54-5], 207-803-7	–	2									
Chrysoidin-C_{10-14}-Alkylderivate Benzolsulfonsäure, Mono-C_{10-14}-alkylderivate, Verbindungen mit 4-(Phenylazo)-1,3-benzoldiamin [85407-90-5], 286-946-7 Chrysoidin, Verbindung mit Dibutylnaphthalinsulfonsäure, Dibutylnaphthalinsulfonsäure, Verbindung mit 4-(Phenylazo)-benzol-1,3-diamin (1:1) [94247-67-3], 304-236-8		2									

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Chrysoidinmonohydrochlorid, 4-Phenylazophenylen-1,3-diaminmonohydrochlorid [532-82-1], 208-545-8 Chrysoidinmonoacetat, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diaminmonoacetat [75660-25-2], 278-290-5 Chrysoidinacetat, 4-(Phenylazo)-benzol-1,3-diaminacetat [79234-33-6], 279-116-0 Chrysoidin-p-dodecylbenzolsulfonat, Dodecylbenzolsulfonsäure, Verbindung mit 4-(Phenylazo)-benzol-1,3-diamin (1:1) [63681-54-9], 264-409-8 Chrysoidindihydrochlorid, 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamindihydrochlorid [83968-67-6], 281-549-5 Chrysoidinsulfat, Bis[4-(phenylazo)benzol-1,3-diamin]sulfat [84196-22-5], 282-432-1		2									
C.I. Basic Red 9 [569-61-9], 209-321-2	1B	–	–	–							
C.I. Basic Violet 3 [548-62-9], 208-953-6	2	–	–	–							
C.I. Direct Black 38 [1937-37-7], 217-710-3	1B		2								
C.I. Direct Blue 6 [2602-46-2], 220-012-1	1B		2								
C.I. Direct Blue 218 [28407-37-6], 277-272-4	**2**	–	–	–							
C.I. Direct Red 28 [573-58-0], 209-358-4	1B		2								
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											
Cinidonethyl (ISO) [142891-20-1]	2				Sh						
C.I. Pigment gelb 157 s. Nickel-Barium-Titan-Primel-Priderit											
C.I. Pigment schwarz 25 s. Cobalt-Nickel-Gray-Periklas unter Nickelverbindungen											
C.I. Solvent Yellow 14 [842-07-9], 212-668-2	2	2	–	–	Sh						
Clofenotan s. DDT											
Clorofen [120-32-1], 204-385-8	2			2	Sh						
* Clothianidin (ISO) [210880-92-5], 433-460-1				2							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Cobalt [7440-48-4], 231-158-0 *) auch für Co-Verbindungen, die als K1A oder K1B eingestuft sind	1B	2		1B	S	0,5 µg/m³ A*) 5 µg/m³ A *)		8 (II)	AK TK (H), 10	AGS (2017) TRGS 910	EKA
Cobaltverbindungen, (in Form atembarer Stäube/Aerosole) ausgenommen namentlich genannte sowie cobalthaltige Spinelle und organische Sikkative	**2**	–	–	–	S				(H)		EKA
Cobaltacetat [71-48-7], 200-755-8 Cobaltacetat-Tetrahydrat [6147-53-1]	1B i	2	–	1B	S	s. Cobalt			(H)		EKA
Cobaltcarbonat [513-79-1], 208-169-4	1B i	2	–	1B	S	s. Cobalt			(H)		EKA
Cobaltdichlorid [7646-79-9], 231-589-4	1B i	2	–	1B	S	s. Cobalt			(H)		EKA
Cobaltnitrat [10141-05-6], 233-402-1 Cobaltnitrat-Hexahydrat [10026-22-9]	1B i	2	–	1B	S	s. Cobalt			(H)		EKA
Cobaltoxid [1307-96-6], 215-154-6 (in Form atembarer Stäube/ Aerosole)	**2**	–	–	–	Sh				(H)		EKA
Cobaltsulfat [10124-43-3], 233-334-2 – Heptahydrat [10026-24-1]	1B i	2	–	1B	S	s. Cobalt			(H)		EKA
Cobaltsulfid [1317-42-6], 215-273-3 (in Form atembarer Stäube/ Aerosole)	**2**	–	–	–	Sh				(H)		EKA
Colchicin [64-86-8], 200-598-5		1B									
Coumatetralyl (ISO) [5836-29-3], 227-424-0			1B						H		
p-Cresidin s. p-Kresidin											
Cresylglycidylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
Cristobalit [14464-46-1], 238-455-4 s. Quarz											
Crotonaldehyd s. 2-Butenal											
* Cryofluoran (R 114) [76-14-2], 200-937-7						aufgehoben (2024)					
Cumol [98-82-8], 202-704-5	1B					50	10	4 (II)	AGW H, X, Y	AGS, DFG, EU (2023)	BGW
Cyanacrylsäuremethylester [137-05-3], 205-275-2						9,2	2	1 (I)	AGW	DFG (2002)	
Cyanamid [420-04-2], 206-992-3	2		2	2	Sh	0,35 E	0,2	1 (II)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2013)	
4-Cyan-2,6-diiodophenyl-octanoat [3861-47-0], 223-375-4			2		Sh						
2-Cyano-N-[(ethylamino)carbonyl]-2-(methoxyimino)acetamid; (2E)-2-Cyano-N-[(ethylamino)carbonyl]-2-(methoxyimino)acetamid s. Cymoxanil (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
α-Cyan-4-fluor-3-phenoxybenzyl-3-(2,2-dichlorvinyl)-2,2-dimethylcyclopropancarboxylat s. Cyfluthrin (ISO)											
Reaktionsmasse aus rel-(R)-Cyan(4-fluor-3-phenoxyphenyl)methyl-(1S,3S)-3-(2,2-dichlorethenyl)-2,2-dimethylcyclopropan-1-carboxylat und rel-(R)-Cyan(4-fluor-3-phenoxyphenyl)methyl-(1S,3R)-3-(2,2-dichlorethenyl)-2,2-dimethylcyclopropan-1-carboxylat s. beta-Cyfluthrin (ISO)											
Cyanide s. Kalium- und Natriumcyanid											
4-Cyclododecyl-2,6-dimethylmorpholin s. Dodemorph (ISO)											
4-Cyclododecyl-2,6-dimethylmorpholin-4-iumacetat s. Dodemorphacetat (ISO)											
Cyclohexan [110-82-7], 203-806-2	–	–	–	–		700	200	4 (II)	AGW	DFG, EU (2001)	BGW
Cyclohexanon [108-94-1], 203-631-1	–					80	20	1 (I)	AGW H, Y	AGS, EU (1995)	EKA
Cycloheximid [66-81-9], 200-636-0		2	1B								
Cyclohexylamin [108-91-8], 203-629-0				2		8,2	2	2 (I); =2,5=	AGW H, Y	DFG (2017)	
3-Cyclohexyl-6,7-dihydro-1H-cyclopenta[d]pyrimidin-2,4(3H,5H)dion s. Lenacil (ISO)											
N-Cyclohexylhydroxydiazen-1-oxid, Kaliumsalz [66603-10-9]						10 E		2 (II)	AGW H	DFG (2014)	
N-Cyclohexyl-N-methoxy-2,5-dimethyl-3-furamid [60568-05-0], 262-302-0	2										
trans-4-Cyclohexyl-L-prolinmonohydrochlorid [90657-55-9], 419-160-1				2	Sh						
1-Cyclopropyl-6,7-difluor-1,4-dihydro-4-oxochinolin-3-carbonsäure [93107-30-3], 413-760-7				2							
5-Cyclopropyl-1,2-oxazol-4-yl-α,α,α-trifluor-2-mesyl-p-tolylketon s. Isoxaflutole											
Cycloxydim (ISO) [101205-02-1], 405-230-9			2								
Cyflumetofen (ISO) [400882-07-7]	2				Sh						
Cyfluthrin (ISO) [68359-37-5], 269-855-7			Lact			0,01 E		1 (I)	AGW Y	DFG (2003)	
beta-Cyfluthrin (ISO) [1820573-27-0]			Lact								
Cymoxanil (ISO) [57966-95-7; 166900-80-7], 261-043-0			2	2	Sh						
Cyproconazol [94361-06-5]			1B								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4-D [94-75-7], 202-361-1					Sh	aufgehoben (2014)			(H)		
Salze und Ester der 2,4-D					Sh	aufgehoben (2014)					
Daminozid (ISO) [1596-84-5], 216-485-9	2										
Dawsonit (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	**1B**										
DBMK s. 6,6'-Di-tert-butyl-2,2'-methylendi-p-kresol											
DDT (1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan) [50-29-3], 200-024-3	2										
DDVP s. Dichlorvos											
Decaboran [17702-41-9], 241-711-8						0,25	0,05	2 (II)	AGW H	DFG (2001)	
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											
Decahydronaphthalin (Decalin) [91-17-8], 202-046-9						29	5	2 (II)	AGW 11	DFG (2015)	
Decan-1-ol [112-30-1], 203-956-9						66	10	1 (I)	AGW Y, 11	AGS, DFG (2019)	
Decyloleat [3687-46-5], 222-981-6						5 A		4 (II)	AGW	DFG (2019)	
iso-Decyloleat s. Isodecyloleat											
DEHP s. Bis(2-ethylhexyl)phthalat											
Demeton [8065-48-3]						0,1	0,01		AGW H	AUS-NL (2003)	
* Demetonmethyl [8022-00-2]						aufgehoben (2023)					
Desmedipham (ISO) [13684-56-5], 237-198-5			2								
Destillate (Erdöl), mit Wasserstoff behandelt leichte (C9 – C14 Aliphaten) [64742-47-8], 265-149-8						s. Kohlenwasserstoffgemische			AGW Y	AGS (2020)	
Diacetonalkohol s. 4-Hydroxy-4-methylpentan-2-on											
Diacetyl s. Butandion											
N,N'-Diacetylbenzidin [613-35-4], 210-338-2	1B	2							H		
Diallat (ISO) [2303-16-4], 218-961-1	2										
2,4-Diaminoanisol [615-05-4], 210-406-1 und 2,4-Diaminoanisolsulfat [39156-41-7], 254-323-9	1B	2							H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
3,3'-Diaminobenzidin [91-95-2], 202-110-6, Salze von 3,3'-Diaminobenzidin	1B **2**	2							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											
4,4'-Diaminodiphenylmethan [101-77-9], 202-974-4	1B	2			Sh	0,07 0,7 0,08		8 (II)	AK TK H BOELV	AGS (2010) TRGS 910 EU (2019)	
4,4'-Diaminodiphenylsulfid s. 4,4'-Thiodianilin											
3,8-Diamino-1-ethyl-6-phenylphenantridiniumbromid s. Ethidiumbromid											
1,3-Diamino-4-methylbenzol s. 2,4-Toluylendiamin											
1,5-Diaminonaphthalin s. 1,5-Naphthylendiamin											
Diaminotoluol s. Methylphenylendiamin											
2,4-Diaminotoluol s. 2,4-Toluylendiamin											
Diammonium-1-hydroxy-2-(4-(4-carboxyphenylazo)-2,5-dimethoxyphenylazo)-7-amino-3-naphthalinsulfonat 422-670-7				2							
o-Dianisidin s. 3,3'-Dimethoxybenzidin											
Diantimontrioxid s. Antimontrioxid											
Diarsenpentaoxid s. Arsenpentoxid											
Diarsentrioxid s. Arsentrioxid											
Diazinon (ISO) [333-41-5], 206-373-8						0,1 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2002)	
Diazomethan [334-88-3], 206-382-7	1B										
Dibasische Ester (DBE) (Gemische aus Dimethyladipat, Dimethylglutarat und Dimethylsuccinat)						8	1,2	2 (I)	AGW Y	AGS (2011)	
Dibenz(a,h)anthracen [53-70-3], 200-181-8	1B								(H)		
Dibenz[b,e](1,4)dioxin s. 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Dibenzo[b,def]chrysen [189-64-0], 205-878-0	1B	2							(H)		
Dibenzo[def,p]chrysen [191-30-0], 205-886-4	1B	2									
Dibenzodioxin, chloriert s. 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin											
Dibenzo[a,h]pyren s. Dibenzo[b,def]chrysen											
Dibenzo[a,l]pyren s. Dibenzo[def,p]chrysen											
* Dibenzoylperoxid [94-36-0], 202-327-6					Sh	1 A 4 E		4 (II) 2 (I)	AGW Y	DFG (2024)	
Dibortrioxid [1303-86-2], 215-125-8			1B	1B							
Dibrom s. Naled											
1,2-Dibrom-3-chlorpropan [96-12-8], 202-479-3	1B	1B	–	1A					(H)		
2,6-Dibrom-4-cyanphenyl-octanoat [1689-99-2], 216-885-3			2		Sh						
2,6-Dibrom-4-cyanphenyl-Heptanoat s. Bromoxynil-Heptanoat											
1,2-Dibrom-2,2-dichlorethyl-dimethylphosphat s. Naled											
* 1,2-Dibromethan [106-93-4], 203-444-5	1B					0,04 0,4	0,005 0,05	8 (II)	AK TK H	AGS (2023) TRGS 910	
3,5-Dibrom-4-hydroxy-benzonitril s. Bromoxynil (ISO)											
2,2-Dibrom-2-nitroethanol [69094-18-4], 412-380-9	2				Sh						
2,3-Dibrompropan-1-ol [96-13-9], 202-480-9	1B	–	–	2					H		
Di-n-butylamin [111-92-2], 203-921-8						29	5	1 (I)	AGW H, 6	AGS (1992)	
Dibutyl[bis(dodecanoyloxy)]-stannan s. Dibutylzinndilaurat											
Dibutylbis(pentan-2,4-dionato-O,O')zinn [22673-19-4], 245-152-0			1B	1B							
3,5-Di-tert-butyl-4-hydroxyphenylpropionsäureoctadecylester s. Octadecyl-3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionat											
2,6-Di-tert-butyl-p-kresol [128-37-0], 204-881-4						10 E		4 (II)	AGW Y, 11	DFG (2013)	
6,6'-Di-tert-butyl-2,2'-methylendi-p-kresol [119-47-1], 204-327-1				1B							
N,N-Di-n-butylnitrosamin s. N-Nitrosodi-n-butylamin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Di-tert-butylperoxid [110-05-4], 203-733-6		2									
Dibutylphthalat [84-74-2], 201-557-4	–	–	1B	**1B** 2		0,58	0,05	2 (I)	AGW Y, 11	DFG (2013)	
Dibutylzinnbis(2-ethylhexanoat) [2781-10-4], 220-481-2		2	1B	1B		s. Di-n-butylzinnverbindungen					
Dibutylzinndi(acetat) [1067-33-0], 213-928-8		2	1B	1B		s. Di-n-butylzinnverbindungen					
Dibutylzinndichlorid [683-18-1], 211-670-0		2	1B	1B		s. Di-n-butylzinnverbindungen			H		
Dibutylzinndilaurat; [77-58-7], 201-039-8		2	1B	1B		s. Di-n-butylzinnverbindungen					
Dibutylzinnhydrogenborat [75113-37-0], 401-040-5		2	1B	1B	Sh	s. Di-n-butylzinnverbindungen			H		
* Dibutylzinnmaleat [78-04-6], 201-077-5		2	1B	1B		s. Di-n-butylzinnverbindungen					
* Dibutylzinnoxid [818-08-6], 212-449-1		2	1B	1B		s. Di-n-butylzinnverbindungen					
Di-n-butylzinnverbindungen						0,009	0,0018	1 (I)	AGW H, Z, 10, 11	AGS (2014)	
Dichloracetylen [7572-29-4]	**1B** 2										
S-2,3-Dichlorallyldiisopropylthiocarbamat s. Diallat											
3,3'-Dichlorbenzidin [91-94-1], 202-109-0 und seine Salze	1B				Sh				H		
1,2-Dichlorbenzol (o-) [95-50-1], 202-425-9						61	10	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2001)	BGW
1,3-Dichlorbenzol (m-) [541-73-1], 208-792-1						12	2	2 (II)	AGW Y	AGS (2010)	
1,4-Dichlorbenzol (p-) [106-46-7], 203-400-5	2	–				12	2	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2018)	BGW EKA
2,2'-[(3,3'-Dichlor[1,1'-biphenyl]-4,4'-diyl)bis(azo)]bis[N-(2,4-dimethylphenyl)]-3-oxobutanamid; 2-[[3,3'-Dichlor-4'-[[1[[(2,4-dimethylphenyl)amino]carbonyl]-2-oxopropyl]azo][1,1'-biphenyl]-4-yl]azo]-N-(2-methylphenyl)-3-oxobutanamid; 2-[[3,3'-Dichlor-4'-[[1[[(2,4-dimethylphenyl)amino]carbonyl]-2-oxopropyl]azo][1,1'-biphenyl]-4-yl]azo]-N-(2-carboxylphenyl)-3-oxobutanamid, Gemisch aus 434-330-5	2				Sh						
1,4-Dichlor-2-buten [764-41-0], 212-121-8	1B								H		
2,6-Dichlor-N-[3-chlor-5-(trifluormethyl)-2-pyridylmethyl]benzamid s. Fluopicolid (ISO)											
2,2'-Dichlordiethylether s. Bis(2-chlorethyl)ether											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,2'-Dichlordiethylsulfid [505-60-2]	**1A**								(H)		
Dichlordifluormethan (R 12) [75-71-8], 200-893-9						5 000	1 000	2 (II)	AGW Y	DFG (2002)	
Dichlordimethylether s. Bis(chlormethyl)ether											
1,1'-Dichlordimethylether s. Bis(chlormethyl)ether											
3,5-Dichlor-N-(1,1-dimethylprop-2-inyl)benzamid [23950-58-5], 245-951-4	2										
Dichlordioctylstannan [3542-36-7], 222-583-2			1B			s. Di-n-octylzinnverbindungen					
Dichloressigsäure [79-43-6], 201-207-0						1,1	0,2	1 (I)	AGW 11	DFG (2019)	
Salze der Dichloressigsäure [79-43-6], 201-207-0 *) als Dichloressigsäure						1,1 E *)		1 (I)	AGW H	DFG (2019)	
1,1-Dichlorethan [75-34-3], 200-863-5						210	50	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2022)	
1,2-Dichlorethan [107-06-2], 203-458-1	1B					0,8 4	0,2 1	8 (II)	AK TK H	AGS (2016) TRGS 910	
1,1-Dichlorethen [75-35-4], 200-864-0	2					8	2	2 (II)	AGW Y	DFG, EU (2001)	
1,2-Dichlorethen sym. [540-59-0], 208-750-2 (cis- [156-59-2] und trans- [156-60-5])						800	200	2 (II)	AGW	DFG (2001)	
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						aufgehoben (2024)					
α-Dichlorhydrin s. 1,3-Dichlor-2-propanol											
Dichlormethan [75-09-2], 200-838-9	2					180	50	2 (II)	AGW H, Z	DFG, EU (2015)	BGW EKA
1,2-Dichlormethoxyethan [41683-62-9]	–	**2**	–	–					(H)		
Dichlormethylbenzol s. Dichlortoluol (Isomerengemisch)											
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'-methylendianilin s. 4,4'-Methylen-bis(2-chloranilin)											
N-(2,6-Dichlor-3-methylphenyl)-5,7-dimethoxy[1,2,4]triazolo-[1,5-a] pyrimidin-2-sulfonamid s. Metosulam (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
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	2										
1-[4-[4-[[(2SR,4RS)-2-(2,4-Dichlorphenyl)-2-(imidazol-1-ylmethyl)-1,3-dioxolan-4-yl]-methoxy]-phenyl]piperazin-1-yl]ethanon s. Ketoconazol											
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											
2,4-Dichlorphenyl-4-nitrophenylether s. Nitrofen											
1-[2-(2,4-Dichlorphenyl)-pentyl]-1H-1,2,4-triazol s. Penconazol (ISO)											
(2RS,4RS;2RS,4SR)-1-{[2-(2,4-Dichlorphenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-yl]methyl}-1H- 1,2,4-triazol s. Propiconazol (ISO)											
1,2-Dichlorpropan [78-87-5], 201-152-2	1B								(H)		
1,3-Dichlor-2-propanol [96-23-1], 202-491-9	1B								H		
E,Z-1,3-Dichlorpropen [542-75-6], 208-826-5 (gilt nur für das technische Gemisch)	**1B**	**2**	–	–	Sh				H		
2,3-Dichlorpropen [78-88-6], 201-153-8		2							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	2								(H)		
Dichlortoluol (Isomerengemisch, ringsubstituiert) [29797-40-8], 249-854-8						8	1,3	2 (II)	AGW Y	AGS (2016)	
2,4-Dichlortoluol [95-73-8], 202-445-8						8	1,3	2 (II)	AGW Y	AGS (2018)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,2-Dichlor-1,1,1-trifluorethan (R 123) [306-83-2], 206-190-3	**2**	–	–	–							
(2,2-Dichlorvinyl)dimethylphosphat s. Dichlorvos											
Dichlorvos (ISO) [62-73-7], 200-547-7					Sh	1	0,11	2 (II)	AGW H, Y	DFG (2002)	
Dicyclohexylamin [101-83-7], 202-980-7						5	0,7	2 (II)	AGW H, Y, 11	AGS (2013)	
Dicyclohexylnitrosamin [947-92-2]	–	**2**	–	–							
Dicyclohexylphthalat [84-61-7], 201-545-9			1B		Sh						
Dicyclopentadien (3a,4,7,7a-Tetrahydro-4,7-methanoinden) [77-73-6], 201-052-9						2,7	0,5	1 (I)	AGW	DFG (2000)	
Di(tert-dodecyl)pentasulfid [31565-23-8], 250-702-8						5 A		4 (II)	AGW Y	DFG (2018)	
Dieisentrioxid s. Eisen(III)oxid											
* Dieldrin (ISO) [60-57-1], 200-484-5	2					aufgehoben (2023)			H		
1,2,3,4-Diepoxybutan [1464-53-5], 215-979-1	1B	1B	–	**2**					H		
1,3-Di(2,3-epoxypropoxy)benzol s. Diglycidylresorcinether											
Dieselmotoremissionen *) Dieselrußpartikel, als EC (elementarer Kohlenstoff) s. auch Abschnitt 1.4	**1B**					0,05 A *)			AGW X, 25, 26	AGS (2017)	
Diethanolamin [111-42-2], 203-868-0					Sh	0,5	0,11	1 (I)	AGW H, Y, 6, 11	AGS (2016)	
Diethanolaminperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
N,N-Diethanolnitrosamin s. N-Nitrosodiethanolamin											
1,2-Diethoxyethan [629-14-1], 211-076-1			1B	2							
Diethylamin [109-89-7], 203-716-3						6,1	2	2 (I); =2,5=	AGW H, 6	DFG, EU (2016)	
* 2-Diethylaminoethanol [100-37-8], 202-845-2						9,7	2	1 (I); =2,5=	AGW H, Y	DFG (2022)	
1,2-Diethylbenzol (o-) [135-01-3], 205-170-1						5,6	1	8 (II)	AGW H, Y	DFG (2019)	
1,3-Diethylbenzol (m-) [141-93-5], 205-511-4						11	2	2 (II)	AGW H, Y	AGS (2019)	
1,4-Diethylbenzol (p-) [105-05-5], 203-265-2						11	2	2 (II)	AGW H, Y	AGS (2019)	
Diethylbenzol-Isomerengemisch (siehe auch Nummer 2.9 der TRGS 900 bzw. Erläuterungen zur Spalte 6) [25340-17-4], 246-874-9						11	2	2 (II)	AGW H, Y	AGS (2019)	
Diethylcarbamidsäurechlorid [88-10-8], 201-798-5	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diethylendioxid s. 1,4-Dioxan											
Diethylenglykol [111-46-6], 203-872-2						44	10	4 (II)	AGW Y, 11	DFG (2013)	
Diethylenglykoldimethylether s. Bis(2-methoxyethyl)ether											
Diethylenglykol-monobutylether s. Butyldiglykol											
Diethylether [60-29-7], 200-467-2						1200	400	1 (I)	AGW	DFG, EU (2001)	
Di-(2-ethylhexyl)phthalat s. Bis(2-ethylhexyl)phthalat											
8-(2,6-Diethyl-4-methylphenyl)-7-oxo-1,2,4,5-tetrahydro-7H-pyrazolo[1,2-d][1,4,5]oxadiazepin-9-yl 2,2-dimethylpropanoat s. Pinoxaden (ISO)											
O,O-Diethyl-O-(4-nitrophenyl)-thiophosphat s. Parathion											
N,N-Diethylnitrosamin s. N-Nitrosodiethylamin											
Diethylsulfat [64-67-5], 200-589-6	1B	1B							H		
Difenacoum (ISO) [56073-07-5], 259-978-4			1B						H		
* Difenoconazol (ISO) [119446-68-3]	2										
Difethialon (ISO) [104653-34-1]			1B						H		
1,1-Difluorethen (R 1132a) [75-38-7], 200-867-7	**2**										
1,1-Difluorethylen s. 1,1-Difluorethen											
Reaktionsmasse aus 3-(Difluormethyl)-1-methyl-N-[(1RS,4SR,9RS)-1,2,3,4-tetrahydro-9-isopropyl-1,4-methanonaphthalen-5-yl]pyrazol-4-carboxamid und 3-(Difluormethyl)-1-methyl-N-[(1RS,4SR,9SR)-1,2,3,4-tetrahydro-9-isopropyl-1,4-methanonaphthalen-5-yl]-pyrazol-4-carboxamid [≥ 78 % Z-Isomere, ≤ 15 % E-Isomere relativer Anteil] s. Isopyrazam											
3-(Difluormethyl)-1-methyl-N-(3‘,4’,5’-trifluorbiphenyl-2-yl)-pyrazol-4-carboxamid [907204- 31-3]			Lact								
Difluormonochlorethan s. 1-Chlor-1,1-difluorethan											
Difluormonochlormethan s. Monochlordifluormethan											
Diglycidylether [2238-07-5], 218-802-6	**2**								(H)		
1,3-Diglycidyloxybenzol s. Diglycidylresorcinether											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diglycidylresorcinether s. m-1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)-benzol											
Diglycolamin s. 2-(2-Aminoethoxy)ethanol											
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				2							
Dihexylphthalat [84-75-3], 201-559-5			1B	1B							
Dihydrogenselenid (Selenwasserstoff) [7783-07-5], 231-978-9						0,05	0,015	2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2007)	BGW
N-[6,9-Dihydro-9-[[2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethoxy]methyl]-6-oxo-1H-purin-2-yl]acetamid [84245-12-5], 424-550-1	1B	1B	1B	1B							
(S)-2,3-Dihydro-1H-indol-2-carbonsäure [79815-20-6], 410-860-2				2	Sh						
(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											
1,2-Dihydroxybenzol [120-80-9], 204-427-5	1B	2							H		
1,3-Dihydroxybenzol [108-46-3], 203-585-2					Sh	20 E	4	1 (I)	AGW H, Y, 11	AGS, EU (2013)	
1,4-Dihydroxybenzol [123-31-9], 204-617-8	2	2	–	–	Sh				(H)		
4-[4-(1,3-Dihydroxyprop-2-yl)-phenylamino]-1,8-dihydroxy-5-nitroanthrachinon [114565-66-1], 406-057-1	2				Sh						
Diindiumtrioxid s. Indiumoxid											
Diisobutylphthalat [84-69-5], 201-553-2			1B	2							
m-Diisocyanattoluol [26471-62-5], 247-722-4	2				S	0,035	0,005	1 (I); =4=	AGW 11, 12	AGS (2005)	
2,4-Diisocyanattoluol [584-84-9], 209-544-5	2				S	0,035	0,005	1 (I); =4=	AGW 11, 12	AGS (2013)	
2,6-Diisocyanattoluol [91-08-7], 202-039-0	2				S	0,035	0,005	1 (I); =4=	AGW 11, 12	AGS (2013)	
Diisohexylphthalat [71850-09-4], 276-090-2			1B	1B							
Diisooctyl-2,2'-((dimethyl-stannylen)bis(thio))diacetat [26636-01-1], 247-862-6						0,05	0,01	2 (II)	AGW Y, 10, 11	DFG (2015)	
Diisooctylphthalat [27554-26-3], 248-523-5			1B	1B							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diisopentylphthalat (DIPP) s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Diisopropanolamin mit Formaldehyd (1:4), Reaktionsprodukte von [220444-73-5], 432-440-8	2				Sh						
Diisopropylether [108-20-3], 203-560-6						850	200	2 (I)	AGW Y	DFG (2009)	
N,N-Diisopropylnitrosamin s. N-Nitrosodi-i-propylamin											
Dimethomorph (ISO) [110488-70-5], 404-200-2				1B							
3,3'-Dimethoxybenzidin [119-90-4], 204-355-4 und seine Salze	1B								H		
1,2-Dimethoxyethan [110-71-4], 203-794-9	–	–	1B	1B							
Dimethoxymethan [109-87-5], 203-714-2						1600	500	2 (II)	AGW Y	DFG (2019)	
2-{[(4,6-Dimethoxypyrimidin-2-yl)carbamoyl]sulfamoyl-4-formamido-N,N- dimethylbenzamid, 1-(4,6-Dimethoxypyrimidin- 2-yl)-3-(2-dimethylcarbamoyl- 5-formamidophenylsulfonyl)harnstoff s. Foramsulfuron (ISO)											
N,N-Dimethylacetamid [127-19-5], 204-826-4			1B	**2**		18	5	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2018)	BGW
Dimethyladipat [627-93-0], 211-020-6						8	1,2	2 (I)	AGW Y, 11	AGS (2013)	
Dimethylamin [124-40-3], 204-697-4						3,7	2	2 (I)	AGW 6	DFG, EU (2002)	
4,4'-Dimethylaminobenzophenonimid-Hydrochlorid s. Auramin											
2-(Dimethylamino)-5,6-dimethylpyrimidin-4-yldimethylcarbamat s. Pirimicarb (ISO)											
(E)-3-[1-[4-[2-(Dimethylamino)-ethoxy]phenyl]-2-phenylbut-1-enyl]phenol [82413-20-5], 428-010-4	2			1B	Sh						
α-[4-(4-Dimethylamino-{4-[ethyl-(3-natriosulfonatobenzyl)-amino]-phenyl}benzyliden)-cyclohexa-2,5-dienyliden-(ethyl)-ammonio]-toluol-3-sulfonat s. Benzyl violet 4B											
N- Dimethylaminosuccinamidsäure s. Daminozid (ISO)											
Dimethylaminosulfochlorid, Dimethylaminosulfonylchlorid s. Dimethylsulfamoylchlorid											
N,N-(Dimethylamino)thioacetamid-hydrochlorid [27366-72-9], 435-470-1			1B								
N,N-Dimethylanilin [121-69-7], 204-493-5	2	–	–	–		25	5	2 (II)	AGW H	DFG (2001)	
2,4-Dimethylanilin s. 2,4-Xylidin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
N,N-Dimethylaniliniumtetrakis-(pentafluorphenyl)borat [118612-00-3], 422-050-6	2										
3,3'-Dimethylbenzidin [119-93-7], 204-358-0 und seine Salze	1B								H		
* 3,3'-Dimethylbiphenyl-4,4'-diyldiisocyanat [91-97-4], 202-112-7	2				Sa Sh						
1,1'-Dimethyl-4,4'-bipyridinium s. Paraquatdichlorid											
2,2-Dimethylbutan [75-83-2], 200-906-8						1800	500	2 (II)	AGW	DFG (2010)	
2,3-Dimethylbutan [79-29-8], 201-193-6						1800	500	2 (II)	AGW	DFG (2010)	
2'-[(RS)-1,3-Dimethylbutyl]-5-fluor-1,3-dimethylpyrazol-4-carboxanilid s. 5-Fluor-1,3-dimethyl-N-[2-(4-methylpentan-2-yl)phenyl]-1H-pyrazol-4-carboxamid											
N-1,3-Dimethylbutyl-N'-phenyl-p-phenylendiamin [793-24-8], 212-344-0					Sh	2 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2013)	
Dimethylcarbamidsäurechlorid [79-44-7], 201-208-6	1B								(H)		
Dimethylcarbamoylchlorid s. Dimethylcarbamidsäurechlorid											
3,3'-Dimethyl-4,4'-diaminodiphenylmethan (Methylendi-o-toluidin) [838-88-0], 212-658-8	1B				Sh				H		
1,3-Dimethyl-3,7-dihydro-1H-purin-2,6-dion s. Theophyllin											
Dimethylether [115-10-6], 204-065-8						1 900	1 000	8 (II)	AGW	DFG, EU (2002)	
1,1-Dimethylethylamin s. tert-Butylamin											
N,N-Dimethylethylamin s. Ethyldimethylamin											
* N,N-Dimethylformamid [68-12-2], 200-679-2			1B			15 6	5	2 (II)	AGW H, Z DNEL (REACH)	AGS, DFG, EU (2011) EU (2022)	BGW
Dimethylglutarat [1119-40-0], 214-277-2						8	1,2	2 (I)	AGW Y, 11	AGS (2013)	
Dimethylglykol s. 1,2-Dimethoxyethan											
1,1-Dimethylhydrazin [57-14-7], 200-316-0	1B								(H)		
1,2-Dimethylhydrazin [540-73-8]	1B								H		
4-(2,2-Dimethylhydrazino)-4-oxobutansäure s. Daminozid (ISO)											
Dimethylhydrogenphosphit [868-85-9], 212-783-8	**2**										
Dimethylhydrogenphosphonat s. Dimethylhydrogenphosphit											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Dimethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat; Diethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat; Methylethyl(2-(hydroxymethylcarbamoyl)ethyl)phosphonat, Gemisch aus 435-960-3	1B	1B			Sh						
N,N-Dimethylisopropylamin [996-35-0], 213-635-5						3,6	1	2 (I)	AGW	DFG (2002)	
Dimethyl-1-methyl-2-(methylcarbamoyl)-vinylphosphat s. Monocrotophos											
N,N-Dimethylnitrosamin s. N-Nitrosodimethylamin											
3,7-Dimethylocta-2,6-diennitril [5146-66-7], 225-918-0		1B									
Dimethyl-4,4'-(o-phenylen)-bis(3-thioallophanat) s. Thiophanat-methyl (ISO)											
Dimethyl-(1,2-phenylendicarbamothioyl)biscarbamat s. Thiophanat-methyl (ISO)											
(5s,8s)-3-(2,5-Dimethylphenyl)-8-methoxy-2-oxo-1-azaspiro[4,5]-dec-3-en-4-ylethylcarbonat s. Spirotetramat (ISO)											
Dimethylphosphit, Dimethylphosphonat s. Dimethylhydrogenphosphit											
O,O-Dimethyl-S-phthalimidomethyldithiophosphat s. Phosmet (ISO)											
Dimethylpropan [463-82-1], 207-343-7						3 000	1 000	2 (II)	AGW	DFG, EU (2004)	
2,2-Dimethylpropanol s. Pentanole											
2,2-Dimethylpropan-1-ol, Tribromderivat [36483-57-5; 1522-92-5], 253-057-0	1B	2									
1,1-Dimethylpropylacetat [625-16-1]						270	50	1 (I)	AGW	DFG, EU (2000)	
Dimethylpropylenharnstoff s. Tetrahydro-1,3-dimethyl-1H-pyrimidin-2-on											
* Dimethylpropylphosphonat [18755-43-6], 242-555-3		1B	1B	2							
Dimethylsuccinat [106-65-0], 203-419-9						8	1,2	2 (I)	AGW Y, 11	AGS (2013)	
Dimethylsulfamoylchlorid [13360-57-1], 236-412-4	1B								H		
Dimethylsulfat [77-78-1], 201-058-1	1B	2	–	–	Sh				(H)		EKA
Dimethylsulfoxid (DMSO) [67-68-5], 200-664-3						160	50	2 (I)	AGW H, Z	DFG (2016)	
* N,N-Dimethyl-p-toluidin [99-97-8], 202-805-4	1B								(H)		
2,6-Dimethyl-4-tridecylmorpholin s. Tridemorph											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Dimethylzinnverbindungen s. Methylzinnverbindungen											
Dimethylzinndichlorid [753-73-1], 212-039-2			2			s. Methylzinnverbindungen			H		
Dimoxystrobin (ISO) [149961-52-4]	2		2								
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	1B										
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)-benzol-sulfonat und Trinatrium-4-(3-ethoxycarbonyl-4-(5-(3-ethoxy-carbonyl-5-oxido-1-(4-sulfonato-phenyl)pyrazol-4-yl)-penta-2,4-dienyliden)-4,5-dihydro-5-oxo-pyrazol-1-yl)benzolsulfonat, Gemisch aus 402-660-9			1B								
Dinatriumoctaborat wasserfrei [12008-41-2], 234-541-0 Dinatriumoctaborat Tetrahydrat [12280-03-4], 234-541-0			1B	1B		0,5 E		2 (I)	AGW Y, 10	AGS (2007)	
Dinatriumtetraborat, wasserfrei [1330-43-4], 215-540-4 -Decahydrat [1303-96-4], 215-540-4 -Pentahydrat [12179-04-3], 215-540-4			1B	1B		0,5 E		2 (I)	AGW Y, 10	AGS (2007)	
4,6-Dinitro-o-kresol (DNOC) [534-52-1], 208-601-1		2			Sh				H		
Dinitronaphthaline (alle Isomeren) [27478-34-8], 248-484-4	**2**										
Dinitrotoluole (techn. Gemisch) [25321-14-6], 246-836-1	1B	2	–	2					H		
2,3-Dinitrotoluol [602-01-7], 210-013-5	1B	2		2					H		
2,4-Dinitrotoluol [121-14-2], 204-450-0	1B	2		2					H		
2,5-Dinitrotoluol [619-15-8], 210-581-4	1B	2		2					H		
2,6-Dinitrotoluol [606-20-2], 210-106-0	1B	2		2					H		
3,4-Dinitrotoluol [610-39-9], 210-222-1	1B	2		2					H		
3,5-Dinitrotoluol [618-85-9], 210-566-2	1B	2		2					H		
Dinocarb [39300-45-3], 254-408-0			1B		Sh						
Dinoseb; 6-(1-Methyl-propyl)-2,4-dinitrophenol [88-85-7], 201-861-7			1B	2					H		
Dinoseb, Salze und Ester			1B	2					H		
Dinoterb [1420-07-1], 215-813-8			1B						H		
Dinoterb, Salze und Ester			1B						H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Di-sec-octylphthalat s. Bis(2-ethylhexyl)phthalat											
Di-n-octylzinnverbindungen						0,01	0,002	2 (II)	AGW H, Y, 10, 11	AGS, DFG (2014)	
Dioctyl-, Bis(coco-acyloxy)-stannanderivate [91648-39-4], 293-901-5			1B			s. Di-n-octylzinnverbindungen					
Dioctylzinndilaurat [3648-18-8], 222-883-3			1B			s. Di-n-octylzinnverbindungen					
Dioxacyclopentan s. 1,3-Dioxolan											
Dioxan s. 1,4-Dioxan											
1,4-Dioxan [123-91-1], 204-661-8	1B					73	20	2 (I)	AGW H, X, Y, 29	DFG, EU (2023)	BGW
Dioxathion (ISO) [78-34-2], 201-107-7						0,2			AGW H	AUS-NL (2003)	
S-[(1,3-Dioxo-1,3-dihydro-2H-isoindol-2-yl)methyl]-*O,O*-Dimethyldithiophosphat s. Phosmet (ISO)											
(1,3-Dioxo-1,3,4,5,6,7-hexahydro-2H-isoindol-2-yl)methyl 2,2-dimethyl-3-(2-methylprop- 1-en-1-yl) cyclopropancarboxylat s. Tetramethrin (ISO)											
1,3-Dioxolan [646-06-0], 211-463-5						150	50	2 (II)	AGW H, Z	DFG (2018)	
Reaktionsmasse von: [2,4-Di-oxo(prop-2-in-1-yl)-imidazolidin-3-yl]methyl-(1R)-cis-chrysanthemat und [2,4-Dioxo(prop-2-in-1-yl)-imidazolidin-3-yl]methyl-(1R)-trans-chrysanthemat s. Imiprothrin (ISO)											
Di-n-pentylphthalat s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Diphenylamin [122-39-4], 204-539-4						5 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2013)	
Diphenylether (Dampf) [101-84-8], 202-981-2						7,1	1	1 (I)	AGW Y, 11	DFG, EU (2013)	
Diphenylether, Octabromderivat s. Octabromdiphenylether											
1,3-Diphenylguanidin [102-06-7], 203-002-1				2							
Diphenylmethan-2,2'-diisocyanat s. 2,2'-Methylendiphenyldiisocyanat											
Diphenylmethan-2,4'-diisocyanat s. 2,4'-Methylendiphenyldiisocyanat											
Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat s. 4,4'-Methylendiphenyldiisocyanat											
* Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphinoxid [75980-60-8], 278-355-8			2	1B	Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diphosphorpentasulfid [1314-80-3], 215-242-4						1		4 (I)	AGW 13	EU (2007)	
Diphosphorpentoxid s. Phosphorpentoxid											
DIPP s. 1,2-Benzoldicarbonsäure, Dipentylester											
Dipropylenglykol s. Oxydipropanol											
Dipropylenglykolmonomethylether s. (2-Methoxymethylethoxy)-propanol (Isomerengemisch)											
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)	AGW Y	DFG (2009)	
Disulfiram [97-77-8], 202-607-8					Sh	2 E		8 (II)	AGW 6	DFG (2002)	
* Diuron (ISO) [330-54-1], 206-354-4	1B										
Divanadiumpentaoxid s. Vanadiumpentoxid											
DNOC s. 4,6-Dinitro-o-kresol											
Dodecachlorpentacyclo-[5.2.1.$0^{2,6}$.$0^{3,9}$.$0^{5,8}$]decan s. Mirex											
Dodecan-1-ol [112-53-8], 203-982-0						aufgehoben (2019)					
tert-Dodecanthiol, sulfuriert [68583-56-2], 271-518-4						5 A		4 (II)	AGW Y	DFG (2018)	
Dodemorph (ISO) [1593-77-7], 216-474-9			2		Sh						
Dodemorphacetat [31717-87-0], 250-778-2			2		Sh						
DOP s. Bis(2-ethylhexyl)phthalat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Echtgranat-GBC-base s. 2-Aminoazotoluol											
Endrin (ISO) [72-20-8], 200-775-7						0,05 E		8 (II)	AGW H, Y	DFG (2012)	
Eisenpentacarbonyl s. Pentacarbonyleisen											
Enfluran [13838-16-9], 237-553-4						150	20	8 (II)	AGW Y	DFG (2001)	
Epichlorhydrin s. 1-Chlor-2,3-epoxypropan											
EPN s. O-Ethyl-O-(4-nitrophenyl)-phenylthiophosphonat											
Epoxiconazol (ISO) s. (2RS,3SR)-3-(2-Chlorphenyl)-2-(4-fluorphenyl)-[(1H-1,2,4-triazol-1-yl)methyl]oxiran											
1,2-Epoxy-3-allyloxypropan s. 1-Allyloxy-2,3-epoxypropan											
1,2-Epoxybutan [106-88-7], 203-438-2	**1B** 2					3	1	2 (I)	AGW H, X, Y	AGS (2015)	
1,2-Epoxy-4-epoxyethyl-cyclohexan s. 1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclohexan											
(Epoxyethyl)benzol s. Styroloxid											
1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclohexan [106-87-6], 203-437-7	1B	2		1B					H		
2,3-Epoxy-1,4,5,6,7,8,8-heptachlor-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoindan s. Heptachlorepoxid											
1,2-Epoxy-3-isopropoxypropan s. iso-Propylglycidylether											
1,2-Epoxy-3-phenoxypropan [122-60-1], 204-557-2	1B	2			Sh				(H)		
* 1,2-Epoxypropan (Propylenoxid) [75-56-9], 200-879-2	1B	1B			Sh	2,4	1	4 (I)	AGW H, X, Y, 28	AGS, EU (2018)	BGW EKA
2,3-Epoxy-1-propanol [556-52-5], 209-128-3 [57044-25-4], 404-660-4	1B	2	–	1B					H		
* Reaktionsmasse aus 1-(2,3-Epoxypropoxy)-2,2-bis-((2,3-Epoxypropoxy)methyl)-butan und 1-(2,3-Epoxyprpoxy)-2-((2,3-Epoxypropoxy)methyl)-2-hydroxymethylbutan		2		1B							
2,3-Epoxypropylmethacrylat [106-91-2], 203-441-9	1B	2		1B	Sh				H		
2,3-Epoxypropyl-o-tolylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
2,3-Epoxypropyltrimethyl-ammoniumchlorid s. Glycidyltrimethylammonium-chlorid											
1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan (alle Isomeren) [26447-14-3], 247-711-4	**2**	2			Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Erionit (WHO-Fasern) [12510-42-8] s. Faserstäube, anorganische	1A										
Essigsäure [64-19-7], 200-580-7						25	10	2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2007)	
Essigsäureamylester s. Pentylacetat											
Essigsäureanhydrid [108-24-7], 203-564-8						0,42	0,1	2 (I)	AGW Y	DFG (2019)	
Essigsäureethylester s. Ethylacetat											
Essigsäuremethylester s. Methylacetat											
Essigsäurevinylester s. Vinylacetat											
Estrogene	**2**	–	**2**	**1A**							
Estrogene, schwache	–	–	**2**	**2**							
Etacelasil s. 6-(2-Chlorethyl)-6-(2-methoxyethoxy)-2,5,7,10-tetraoxa-6-silaundecan											
Ethanal s. Acetaldehyd											
Ethandial s. Glyoxal											
1,2-Ethandiol s. Ethylenglykol											
3-(1,2-Ethandiylacetale)-estra-5(10),9(11)-dien-3,17-dion, zyklisch [5571-36-8], 427-230-8				1B							
Ethanol [64-17-5], 200-578-6						380	200	4 (II)	AGW Y	DFG (2018)	
Ethanolamin s. 2-Aminoethanol											
Ethanol, 2,2'-Iminobis-, N-(verzweigte und lineare C13-15-Akyl)-Derivate [97925-95-6], 308-208-6			1B								
Ethanthiol [75-08-1], 200-837-3						1,3	0,5	1 (I)	AGW H	DFG (2019)	
Ethen [74-85-1], 200-815-3	–	**2**	–	–							
O,O'-(Ethenylmethylsilylen)di[(4-methylpentan-2-on)oxim] [156145-66-3], 421-870-1				2							
Ether s. Diethylether											
Ethidiumbromid [1239-45-8], 214-984-6		2									
2-Ethoxy-6-aminonaphthalin s. 6-Amino-2-ethoxynaphthalin											
4-Ethoxyanilin [156-43-4], 205-855-5		2			Sh				H		
4'-Ethoxy-2-benzimidazolanilid [120187-29-3], 407-600-5		2									
2-(Ethoxybutanimidoyl)-3-hydroxy-5-(tetrahydro-2H-thiopyran-3-yl)cyclohex-2-en-1-on s. Cycloxydim (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Ethoxyethanol [110-80-5], 203-804-1			1B	1B		7,6	2	8 (II)	AGW H, Z	DFG, EU (2011)	BGW
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol [111-90-0], 203-919-7						35	6	2 (I)	AGW Y, 11	AGS (2013)	
2-Ethoxyethylacetat [111-15-9], 203-839-2			1B	1B		10,8	2	8 (II)	AGW H, Z	DFG, EU (2011)	BGW
2-Ethoxy-1-methylethylacetat [54839-24-6], 259-370-9						120	20	2 (II)	AGW H, Y, 14	DFG (2018)	
(4-Ethoxyphenyl)(3-(4-fluor-3-phenoxyphenyl)propyl)-dimethylsilan [105024-66-6], 405-020-7				1B							
2-[(1E)-Ethoxypropanimidoyl]-3-hydroxy-5-mesitylcyclohex-2-en-1-on s. Tralkoxydim (ISO)											
1-Ethoxypropan-2-ol, 1-Ethoxy-2-propanol [1569-02-4], 216-374-5						86	20	2 (II)	AGW H, Y, 14	DFG (2018)	
1-Ethoxy-2-propylacetat s. 2-Ethoxy-1-methylethylacetat											
5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4-thiadiazol [2593-15-9], 219-991-8	2										
Ethylacetat [141-78-6], 205-500-4						730	200	2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2016)	
Ethylacrylat [140-88-5], 205-438-8					Sh	8,3	2	2 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2016)	
Ethylalkohol s. Ethanol											
Ethylamin [75-04-7], 200-834-7						9,4	5	=2= (I)	AGW	DFG, EU (1999)	
(2R)-1-(Ethylamino)-1-oxopropan-2-ylphenylcarbamat s. Carbetamid (ISO)											
Ethylbenzol [100-41-4], 202-849-4						88	20	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2012)	BGW EKA
Ethylbromid s. Bromethan											
Ethylcarbamat (Urethan) [51-79-6], 200-123-1	1B								(H)		
(R)-1-(Ethylcarbamoyl)-ethyl-carbanilat s. Carbetamid (ISO)											
Ethylchloracetat [105-39-5], 203-294-0						5	1	1 (I)	AGW H	AGS (1995)	
Ethylchlorid s. Chlorethan											
Ethyl-(RS)-3-(3,5-dichlorphenyl)-5-methyl-2,4-dioxooxazolidin-5-carboxylat s. Chlozolinate											
Ethyl-1-(2,4-dichlorphenyl)-5-(trichlormethyl)-1H-1,2,4-triazol-3-carboxylat [103112-35-2], 401-290-5	1B										
Ethyldimethylamin [598-56-1], 209-940-8						6,1	2	2 (I); =2,5=	AGW 6	DFG (2019)	
Ethylen s. Ethen											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Ethylenbromid s. 1,2-Dibromethan											
Ethylenchlorhydrin s. 2-Chlorethanol											
Ethylenchlorid s. 1,2-Dichlorethan											
Ethylendibromid s. 1,2-Dibromethan											
2,2'-(Ethylendioxy)diethanol [112-27-6], 203-953-2						1 000 E		2 (II)	AGW Y, 11	DFG (2013)	
* (Ethylendioxy)dimethanol [3586-55-8], 222-720-6						0,76	0,15	2 (I)	AGW Y	DFG (2024)	
Ethylenglykol (Ethandiol) [107-21-1], 203-473-3						26	10	2 (I)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2013)	
Ethylenglykoldinitrat (Glykoldinitrat) [628-96-6], 211-063-0						0,063	0,01	1 (II)	AGW H, Y, 7, 11	DFG (2017)	
Ethylenglykolmonobutylether s. 2-Butoxyethanol											
Ethylenglykolmonobutyl-etheracetat s. 2-Butoxyethylacetat											
Ethylenglykolmonoethylether s. 2-Ethoxyethanol											
Ethylenglykolmonoethylether-acetat s. 2-Ethoxyethylacetat											
Ethylenglykolmonomethylether s. 2-Methoxyethanol											
Ethylenglykolmonomethyl-etheracetat s. 2-Methoxyethylacetat											
Ethylenimin [151-56-4], 205-793-9	1B	1B							H		
Ethylenoxid [75-21-8], 200-849-9	1B	1B	2	1B		0,2 2 1,8	0,1 1 1	2 (II)	AK TK H BOELV	AGS (2011) TRGS 910 EU (2017)	ÄBM EKA
Ethylenthioharnstoff [96-45-7], 202-506-9	**2**	–	1B								
Ethylether s. Diethylether											
Ethyl-3-ethoxypropionat [763-69-9], 212-112-9						610	100	1 (I)	AGW H, Y	AGS, DFG (2007)	
Ethylformiat [109-94-4], 203-721-0						310	100	1 (I)	AGW H, Y	DFG (2000)	
Ethylglykol s. 2-Ethoxyethanol											
Ethylglykolacetat s. 2-Ethoxyethylacetat											
* 2-Ethylhexan-1-ol [104-76-7], 203-234-3						5,4	1	1 (I)	AGW Y, 11	EU (2023)	
2-Ethylhexansäure [149-57-5], 205-743-6 und ihre Salze, soweit nicht gesondert aufgeführt			1B								
2-Ethylhexylacetat [103-09-3], 203-079-1						71	10	1 (I)	AGW Y, 11	DFG (2015)	

	Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
		K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
	1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
	2-Ethylhexylacrylat [103-11-7], 203-080-7					Sh	38	5	1 (I)	AGW Y, 11	DFG (2013)	
	2-Ethylhexyl-[[[3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]-methyl]thio]acetat [80387-97-9], 279-452-8			1B		Sh						
	2-Ethylhexyl-10-ethyl-4,4-dimethyl-7-oxo-8-oxa-3,5-dithia-4-stannatetradecanoat [57583-35-4], 260-829-0			2		Sh	0,05	0,01	2 (II)	AGW Y, 10, 11	DFG (2015)	
	2-Ethylhexyl-10-ethyl-4,4-dioctyl-7-oxo-8-oxa-3,5-dithia-4-stannatetradecanoat [15571-58-1], 239-622-4			1B								
	2-Ethylhexyl-10-ethyl-4-[[2-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-oxoethyl]thio]-4-methyl-7-oxo-8-oxa-3,5-dithia-4-stannatetradecanoat [57583-34-3], 260-828-5			2								
	2-Ethylhexyl-2-ethylhexanoat [7425-14-1], 231-057-1			2								
*	2-Ethylhexyloleat [26399-02-0], 247-655-0						5 A		4 (II)	AGW	DFG (2022)	
	Ethylidenchlorid s. 1,1-Dichlorethan											
	Ethylmercaptan s. Ethanthiol											
	(RS)-1-{1-Ethyl-4-[4-mesyl-3-(2-methoxyethoxy)-o- toluoyl]-pyrazol-5-yloxy}ethylmethyl-carbonat [1101132-67-5]	2		2	2							
	Ethylmethylketon s. 2-Butanon											
	Ethylmethylketoxim s. 2-Butanonoxim											
	3-Ethyl-2-methyl-2-(3-methyl-butyl)-1,3-oxazolidin [143860-04-2], 421-150-7				1B							
	4-Ethyl-4-methylmorpholinium-bromid [65756-41-4], 418-210-1		2									
	1-Ethyl-1-methylpyrrolidinium-bromid [69227-51-6], 418-200-5		2									
*	O-Ethyl-O-(4-nitrophenyl)-phenylthiophosphonat [2104-64-5], 218-276-8						aufgehoben (2023)			H		
	N-Ethyl-N-nitrosoanilin s. N-Nitrosoethylphenylamin											
	N-Ethyl-N-nitrosoethanamin s. N-Nitrosodiethylamin											
	2-Ethyl-2-[[(1-oxoallyl)oxy]-methyl]-1,3-propandiyldiacrylat s. Trimethylolpropantriacrylat											
	S-Ethyl-1-perhydroazepinthioat s. Molinat											
	Ethyl [2-(4-phenoxyphenoxy)-ethyl]carbamat s. Fenoxycarb (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Ethyl-3-phenylcarbamoyloxy-phenylcarbamat s. Desmedipham (ISO)											
2-Ethylphenylhydrazinhydro-chlorid [19398-06-2], 421-460-2	2				Sh						
N-(1-Ethylpropyl)-2,6-dinitro-3,4-xyliden s. Pendimethalin (ISO)											
N-Ethyl-2-pyrrolidon 1-Ethylpyrrolidin-2-on [2687-91-4], 220-250-6			1B			23	5	2 (I)	AGW H, Y, 11	DFG (2018)	
Ethylurethan s. Ethylcarbamat											
Etridiazol s. 5-Ethoxy-3-trichlormethyl-1,2,4-thiadiazol											
Extrakte (Erdöl), leichte naphthenhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-03-6], 265-102-1	1B										
Extrakte (Erdöl), leichte paraffinhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-05-8], 265-104-2	1B										
Extrakte (Erdöl), leichtes Vakuum-Gasöl-Lösungsmittel [91995-78-7], 295-341-7	1B										
Extrakte (Erdöl), schwere naphthenhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-11-6], 265-111-0	1B										
Extrakte (Erdöl), schwere Paraffinhaltige Destillat-Lösungsmittel [64742-04-7], 265-103-7	1B										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Faserstäube, anorganische, krebserzeugend Kat. 1A, 1B u. 2 (außer Asbest) s. Abschnitt 1.4 s. auch Aluminiumoxid-Fasern s. auch Aluminiumsilikatfasern s. auch Carbonfasern s. auch Glas-Mikrofasern s. auch Mineralwolle s. auch Textilglasfasern s. auch Whisker											
Fenarimol [60168-88-9], 262-095-7			2 Lact	2							
Fenoxycarb (ISO) [72490-01-8], 276-696-7	2										
Fenpropimorph s. cis-4-[3-(p-tert-Butylphenyl)-2-methylpropyl]-2,6-dimethylmorpholin											
* Fenthion (ISO) [55-38-9], 200-231-9		2				aufgehoben (2023)			H		
Fentinacetat [900-95-8], 212-984-0	2		2			s. Phenylzinnverbindungen			H		
Fentinhydroxid [76-87-9], 200-990-6	2		2			s. Phenylzinnverbindungen			H		
Flocoumafen (ISO) [90035-08-8], 421-960-0			1B						H		
Fluazifop-butyl [69806-50-4], 274-125-6			1B								
Fluazifop-P-butyl [79241-46-6]			2								
Fluazinam (ISO) [79622-59-6]			2		Sh						
Flumioxazin (ISO) [103361-09-7]			1B								
Fluopicolid (ISO) [239110-15-7]			2								
Fluor [7782-41-4], 231-954-8						1,6	1	2 (I)	AGW 13	EU (2007)	
N-(7-Fluor-3,4-dihydro-3-oxo-4-prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6-yl)cyclohex-1-en-1,2-dicarboximid s. Flumioxazin (ISO)											
5-Fluor-1,3-dimethyl-N-[2-(4-methylpentan-2-yl)phenyl]-1H-pyrazol-4-carboxamid [494793-67-8]	2										
1-(4-Fluor-5-hydroxymethyl-tetrahydrofuran-2-yl)-1H-pyrimidin-2,4-dion [41107-56-6], 415-360-8		2									
Fluoride (als Fluor berechnet) [16984-48-8]						1 E		4 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2007)	BGW
Fluortrichlormethan s. Trichlorfluormethan											
Fluorwasserstoff [7664-39-3], 231-634-8						0,83	1	2 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2007)	BGW
Flurochloridon (ISO) [61213-25-0], 262-661-3			1B	1B	Sh						
Flusilazol [85509-19-9]	2		1B								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Fluxapyroxad s. 3-(Difluormethyl)-1-methyl-N-(3‘,4’,5’-trifluorbiphenyl-2-yl) pyrazol-4-carboxamid											
Folpet s. N-(Trichlormethylthio)-phthalimid											
* Foramsulfuron (ISO) [173159-57-4]	2										
Forchlorfenuron (ISO) [68157-60-8]	2										
Formaldehyd [50-00-0], 200-001-8	1B	2			Sh	0,37	0,3	2 (I)	AGW H, X, Y	AGS (2015)	
Formamid [75-12-7], 200-842-0			1B						H		
Fuberidazol (ISO) [3878-19-1], 223-404-0	2				Sh						
2-Furaldehyd s. 2-Furylmethanal											
Furan [110-00-9], 203-727-3	1B	2	–	–		0,056	0,02	2 (II)	AGW H, X	DFG (2018)	
Furfural, Furfurol s. 2-Furylmethanal											
Furfurylalkohol [98-00-0], 202-626-1	2					aufgehoben (2014)			H		
Furmecyclox s. N-Cyclohexyl-N-methoxy-2,5-dimethyl-3-furamid											
2-Furylmethanal [98-01-1], 202-627-7	2	–	–	–	Sh				H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Galliumarsenid [1303-00-0], 215-114-8	1B			1B		aufgehoben (2017)				TRGS 561	EKA
Germanium [7440-56-4], 231-164-3						0,850 E		2 (II)	AGW 10	AGS (2018)	
Germaniumdioxid [1310-53-8], 215-180-8						0,850 E		2 (II)	AGW 10	AGS (2018)	
Gestagene	**2**	–	**1B**	**1A**							
Gestagene, schwache	–	–	**2**	**2**							
Gips (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	–										
E-Glas-Mikrofasern in repräsentativer Zusammensetzung; [ungerichtete Calcium-Aluminium-Silicat-Fasern mit folgender repräsentativer Zusammensetzung (Angabe in % Massenanteil): SiO_2 50,0-56,0%, Al_2O_3 13,0-16,0%, B_2O_3 5,8-10,0%, Na_2O<0,6%, K_2O<0,4%, CaO 15,0-24,0%, MgO<5,5%, Fe_2O_3<0,5%, F_2<1,0%. Verfahren: Herstellung typischerweise Düsenblasverfahren oder im Schleuderverfahren. (Weitere Einzelelemente können in geringen Mengen vorhanden sein. Die Verfahrensliste schließt Innovationen nicht aus).]	1B i										
Glas-Mikrofasern in repräsentativer Zusammensetzung; [ungerichtete Calcium-Aluminium-Silicat-Fasern mit folgender Zusammensetzung (Angabe in % Massenanteil): SiO_2 55,0-60,0%, Al_2O_3 4,0-7,0%, B_2O_3 8,0-11,0%, ZrO_2 0,0-4,0%, Na_2O 9,5-13,5%, K_2O 0,0-4,0%, CaO 1,0-5,0%, MgO 0,0-2,0%, Fe_2O_3<0,2%, ZnO 2,0-5,0%, BaO 3,0-6,0%, F_2<1,0%. Verfahren: Herstellung typischerweise im Düsenblasverfahren oder im Schleuderverfahren. (Weitere Einzelelemente können in geringen Mengen vorhanden sein. Die Verfahrensliste schließt Innovationen nicht aus).] entspricht Glastyp B	**1B** 2					s. auch Abschnitt 1.4					
Glucocorticoide	–	–	**1A**	**2**							
Glufosinat-Ammonium (ISO) [77182-82-2], 278-636-5			2	1B					H		
Glutaral [111-30-8], 203-856-5					S	0,2	0,05	2 (I)	AGW Y	AGS (2010)	
Glutaraldehyd Glutardialdehyd s. Glutaral											
Glutarsäure [110-94-1], 203-817-2						2 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2019)	
Glutarsäuredimethylester s. Dimethylglutarat											
Glycerin [56-81-5], 200-289-5						200 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2016)	
Glycerin-α,γ-dichlorhydrin s. 1,3-Dichlor-2-propanol											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Glycerintrinitrat [55-63-0], 200-240-8						0,094	0,01	1 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2011)	
Glycidol s. 2,3-Epoxy-1-propanol											
Glycidylmethacrylat s. 2,3-Epoxypropylmethacrylat											
6-Glycidyloxynaphth-1-yl-oxymethyloxiran [27610-48-6], 429-960-2		2			Sh				H		
Glycidyltrimethylammonium-chlorid [3033-77-0], 221-221-0	1B	2	–	2	Sh				H		
Glykol s. Ethylenglykol											
Glykoldinitrat s. Ethylenglykoldinitrat											
Glyoxal [107-22-2], 203-474-9		2			Sh				(H)		
granuläre biobeständige Stäube (GBS)-Nanomaterialien *) bei einer mittleren Agglomeratdichte von 1,5 g/cm³ und einem Massenanteil von 20 % nanoskaliger GBS						0,5 A *)			BM	AGS (2020) TRGS 527	
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					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Halloysit (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	**2**										
Halosulfuron-methyl (ISO) [100784-20-1]			1B								
Halothan [151-67-7], 205-796-5			**1B**	–		41	5	8 (II)	AGW Z	DFG (2001)	BGW
HCH (ISO) [608-73-1], 210-168-9	2					aufgehoben (2014)			H		
HDI s. Hexamethylen-1,6-diisocyanat											
Hempa s. Hexamethylphosphorsäuretriamid											
HEOD s. Dieldrin											
Heptachlor (ISO) [76-44-8], 200-962-3	2					0,05 E		8 (II)	AGW H	AGS, DFG (2011)	
Heptachlorepoxid [1024-57-3], 213-831-0	2										
1,4,5,6,7,8,8-Heptachlor-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoinden s. Heptachlor (ISO)											
Heptadecafluoroctan-1-sulfonsäure s. Perfluoroctansulfonsäure											
n-Heptan [142-82-5], 205-563-8						2 100	500	1 (I)	AGW	DFG, EU (2023)	BGW
Heptan-2-on [110-43-0], 203-767-1						238		2 (I)	AGW H	EU (1994)	
Heptan-3-on [106-35-4], 203-388-1						47	10	2 (I)	AGW	DFG, EU (2001)	
Hexabromcyclododecan [25637-99-4], 247-148-4			2 Lact								
1,2,5,6,9,10-Hexabromcyclododecan [3194-55-6], 221-695-9			2 Lact								
Hexachlorbenzol [118-74-1], 204-273-9	1B								(H)		BGW
1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3-butadien [87-68-3], 201-765-5	**2**					0,22	0,02	2 (II)	AGW H, Y, 11	DFG (2016)	
1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan (technisches Gemisch aus α-HCH [319-84-6], 206-270-8, und β-HCH [319-85-7], 206-271-3)	2					aufgehoben (2014)			H		
γ-1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan s. Lindan											
Hexachlorcyclopentadien [77-47-4], 201-029-3						0,2	0,02		AGW H, 11	AGS (2004)	
Hexachlorethan [67-72-1], 200-666-4						9,8	1	2 (II)	AGW H, Y, 11	DFG (2021)	
Hexadecan-1-ol [36653-82-4], 253-149-0						aufgehoben (2019)					
Hexahydrocyclopenta[c]-pyrrol-1-(1H)-ammonium-N-ethoxy-carbonyl-N-(p-tolylsulfonyl)azanid 418-350-1		2			Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
(1,3,4,5,6,7-Hexahydro-1,3-dioxo-2H-isoindol-2-yl)methyl-(1R-trans)-2,2-dimethyl-3-(2-methyl-prop-1-enyl)cyclo-propancarbo-xylat [1166-46-7], 214-619-0	2										
Hexamethylenbis(3-[3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl]propionat) [35074-77-2], 252-346-9						10 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2012)	
Hexamethylen-1,6-diisocyanat [822-06-0], 212-485-8					S	0,035	0,005	1 (I); =2=	AGW 11, 12	DFG (2013)	BGW
Hexamethylphosphorsäure-triamid [680-31-9], 211-653-8	1B	1B							(H)		
Hexan Isomere (außer n-Hexan) siehe auch Methylcyclopentan, Dimethylbutane und Methyl-pentane						1800	500	2 (II)	AGW	DFG (2010)	
n-Hexan [110-54-3], 203-777-6				2		180	50	8 (II)	AGW Y	DFG, EU (2001)	BGW
Hexandisäuredimethylester s. Dimethyladipat											
1-Hexanol [111-27-3], 203-852-3						105	25	1 (I)	AGW Y, 11	AGS (2019)	
Hexan-2-on [591-78-6], 209-731-1				2		21	5	8 (II)	AGW H	DFG (2001)	BGW
Hexon s. 4-Methylpentan-2-on											
2-Hexyldecan-1-ol [2425-77-6], 219-370-1						aufgehoben (2019)					
O-Hexyl-N-ethoxycarbonylthio-carbamat 432-750-3	1B	1B			Sh						
Holzäther s. Dimethylether											
Holzstaub *) s. Abschnitt 1.4	**2** *)				S	2 E Hartholzstaub *)			AGW 28, 38	EU (2021)	
Hydrazin [302-01-2], 206-114-9	1B				Sh	0,0022 0,022 0,013	0,0017 0,017 0,01	2 (II)	AK TK H BOELV	AGS (2014) TRGS 910 EU (2017)	ÄBM
Salze von Hydrazin	1B				Sh				H		
Hydrazinbis(3-carboxy-4-hydro-xybenzolsulfonat) 405-030-1	1B				Sh						
(4-Hydrazinophenyl)-N-methyl-methansulfonamidhydrochlorid [81880-96-8], 406-090-1		2			Sh						
Hydrazin-trinitromethan 414-850-9	1B				Sh						
Hydrazobenzol [122-66-7], 204-563-5	1B										
Hydrochinon s. 1,4-Dihydroxybenzol											
Hydrogenazid s. Stickstoffwasserstoffsäure											
Hydrogenbromid [10035-10-6], 233-113-0						6,7		1 (I)	AGW 13	DFG, EU (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Hydrogenchlorid s. Chlorwasserstoff											
Hydrogencyanid (Cyanwasserstoff) [74-90-8], 200-821-6						1 (als CN)	0,9	5 (II)	AGW H, Y	EU (2017)	
Hydrogensulfid s. Schwefelwasserstoff											
4-Hydroxy-3-(3-(4'-brom-4-biphenylyl)-1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthyl)cumarin s. Brodifacoum (ISO)											
8-Hydroxychinolin s. Chinolin-8-ol											
2-[2-Hydroxy-3-(2-chlorphenyl)-carbamoyl-1-naphthylazo]-7-[2-hydroxy-3-(3-methylphenyl)-carbamoyl-1-naphthylazo] fluoren-9-on 420-580-2			1B								
4-Hydroxy-3,5-diiodbenzonitril s. Ioxynil (ISO)											
2-(2-Hydroxy-3,5-dinitroanilino)-ethanol [99610-72-7], 412-520-9				2							
2-(2-(2-Hydroxyethoxy)ethyl)-2-azabicyclo[2.2.1]heptan, 2-Hydroxyethoxyethyl-azanorbornan [116230-20-7], 407-360-1						5	0,5		AGW H, 11	AGS (2013)	
N-(2-Hydroxyethyl)-3-methyl-2-chinoxalincarboxamid-1,4-dioxid s. Olaquindox											
6-Hydroxy-1-(3-isopropoxy-propyl)-4-methyl-2-oxo-5-[4-(phenylazo)phenylazo]-1,2-dihydro-3-pyridincarbonitril [85136-74-9], 400-340-3	1B										
Hydroxylamin [7803-49-8], 232-259-2	2				Sh				H		
Hydroxylamindihydrogenphosphat [19098-16-9], 242-818-2	2				Sh				H		
Hydroxylaminhydrochlorid, Hydroxylammoniumchlorid [5470-11-1], 226-798-2	2				Sh				H		
Hydroxylamin-4-methylbenzolsulfonat [53933-48-5], 258-872-5	2				Sh				H		
Hydroxylaminphosphat [20845-01-6], 244-077-0	2				Sh				H		
Hydroxylaminsulfat, Hydroxylammoniumhydrogensulfat [10046-00-1], 233-154-4	2				Sh				H		
Hydroxylammoniumnitrat [13465-08-2], 236-691-2	2				Sh				H		
N-(Hydroxymethyl)acrylamid [924-42-5], 213-103-2	1B	1B									

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
N-[3-Hydroxy-2-(2-methyl-acryloylaminomethoxy)propoxymethyl]-2-methylacrylamid; N-[2,3-Bis-(2-methyl-acryloyl-aminomethoxy)propoxymethyl]-2-methylacrylamid; Methacrylamid; 2-Methyl-N-(2-methyl-acryloylaminomethoxymethyl)acrylamid; N-(2,3-Dihydroxy-propoxymethyl)-2-methylacrylamid, Gemisch aus 412-790-8	1B	2									
N-Hydroxymethyl-chloracetamid s. N-Methylol-chloracetamid											
3-Hydroxy-5-methylisoxazol s. Hymexazol (ISO)											
4-Hydroxy-4-methyl-pentan-2-on [123-42-2], 204-626-7						96	20	2 (I)	AGW H	DFG (2003)	
N-[4-[(2-Hydroxy-5-methylphenyl)azo]phenyl]acetamid, C.I. Disperse yellow 3 [2832-40-8], 220-600-8	2				Sh						
4-Hydroxy-3-nitroanilin s. 2-Nitro-4-aminophenol											
4-Hydroxy-3-(3-oxo-1-phenyl)-butylcumarin s. Warfarin											
4- Hydroxy-3-(1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthyl)cumarin s. Coumatetralyl (ISO)											
Reaktionsmasse aus: cis-4-Hydroxy-3-(1,2,3,4-tetrahydro-3-(4-(4-trifluormethylbenzyloxy)-phenyl)-1-naphthyl)cumarin und trans- 4-Hydroxy-3-(1,2,3,4-tetrahydro-3-(4-(4-trifluormethyl-benzyloxy)phenyl)-1-naphthyl)-cumarin s. Flocoumafen (ISO)											
4-(7-Hydroxy-2,4,4-trimethyl-2-chromanyl)resorcinol-4-yl-tris-(6-diazo-5,6-dihydro-5-oxo-naphthalin-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	2										
Hymexazol (ISO) [10004-44-1], 233-000-6			2		Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Imazalil s. 1-[2-(Allyloxy)-2-(2,4-dichlorphenyl)ethyl]-1H-imidazol											
Imazamox (ISO) [114311-32-9]			2								
Imidazol [288-32-4], 206-019-2			1B								
Imidazolidin-2-thion s. Ethylenthioharnstoff											
4,4'-(Iminocyclohexa-2,5-dienylidenmethylen)dianilinhydrochlorid s. C.I. Basic Red 9											
2,2'-Iminodiethanol s. Diethanolamin											
Imiprothrin (ISO) [72963-72-5], 428-790-6	2										
Indeno[1,2,3-c,d]pyren [193-39-5], 205-893-2 s. Abschnitt 1.4											
Indium [7440-74-6], 231-180-0						0,0001 mg/m³ A		8 (II)	AGW (H), 10	AGS (2017)	
Indiumhydroxid [20661-21-6, 55326-87-9], 259-592-6						0,0001 mg/m³ A		8 (II)	AGW (H), 10	AGS (2017)	
Indiumoxid [1312-43-2], 215-193-9						0,0001 mg/m³ A		8 (II)	AGW (H), 10	AGS (2017)	
Indiumphosphid [22398-80-7], 244-959-5	1B			2		0,0001 mg/m³ A		8 (II)	AGW (H), 10, X	AGS (2017)	
Iodmethan [74-88-4], 200-819-5	2								H		
6-Iodo-2-propoxy-3-propylquinazolin-4(3H)-on s. Proquinazid (ISO)											
3-Iod-2-propinylbutylcarbamat [55406-53-6], 259-627-5					Sh	0,058	0,005	2 (I)	AGW Y, 11	DFG (2016)	
Ioxynil (ISO) [1689-83-4], 216-881-1			2						H		
Ioxyniloctanoat s. 4-Cyan-2,6-diiodophenyloctanoat											
Ipconazol (ISO) [125225-28-7, 115850-69-6, 115937-89-8]			1B								
IPDI s. 3-Isocyanatmethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylisocyanat											
Iprovalicarb (ISO) [140923-17-7]	2										
Isobutan s. iso-Butan											
Isobutylacetat [110-19-0], 203-795-1						300	62	2 (I)	AGW Y	AGS, EU (2012)	
Isobutylamin [78-81-9], 201-145-4						6,1	2	2 (I); =2,5=	AGW	DFG (2016)	
Isobutylchlorformiat [543-27-1], 208-840-1						1,1	0,2	2 (I)	AGW Y	DFG (2003)	
O-Isobutyl-N-ethoxy-carbonylthiocarbamat [103122-66-3], 434-350-4	1B	1B			Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
4,4'-Isobutylethylidendiphenol [6807-17-6], 401-720-1				1B							
Isobutylmethylketon s. 4-Methylpentan-2-on											
Isobutylnitrit [542-56-3], 208-819-7	1B	2									
3-Isocyanatmethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylisocyanat [4098-71-9], 223-861-6					S	0,046	0,005	1 (I); =2=	AGW 11, 12	DFG (2013)	
Isocyanatobenzol s. Phenylisocyanat											
o-(p-Isocyanatobenzyl)phenylisocyanat s. 2,4'-Methylendiphenyldiisocyanat											
2-(Isocyanatosulfonylmethyl)-benzoesäuremethylester [83056-32-0], 410-900-9		2			Sa						
Isocyanursäuretris(2,3-epoxypropyl)ester s. Triglycidylisocyanurat											
Isodecyloleat [59231-34-4], 261-673-6						5 A		4 (II)	AGW	DFG (2019)	
Isoflucypram [1255734-28-1]				2	Sh						
* Isofluran [26675-46-7], 247-897-7						15	2	8 (II)	AGW	DFG (2024)	
Isopentan [78-78-4], 201-142-8						3 000	1 000	2 (II)	AGW	DFG, EU (2004)	
Isopentylacetat s. 3-Methylbutylacetat											
Isophoron s. 3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on											
Isophorondiisocyanat s. 3-Isocyanatmethyl-3,5,5-trimethylcyclohexylisocyanat											
Isophthalsäure s. m-Phthalsäure											
Isopren [78-79-5], 201-143-3	1B	2	–	–		8,4	3	8 (II)	AGW X	AGS (2013)	
Isopropenylacetat [108-22-5], 203-562-7						46	10	2 (I)	AGW	DFG (2004)	
Isopropenylbenzol [98-83-9], 202-705-0						250	50	2 (I)	AGW	DFG, EU (2000)	
2-Isopropoxyethanol [109-59-1], 203-685-6						44	10	2 (I)	AGW H, Y	DFG (2019)	
2-Isopropoxyphenyl-N-methylcarbamat s. Propoxur											
Isopropylalkohol s. 2-Propanol											
Isopropylamin s. 2-Aminopropan											
Isopropylbenzol s. Cumol											
3-Isopropyl-2,1,3-benzothiadiazin-4-on-2,2-dioxid s. Bentazon (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Isopropylbromid s. 2-Brompropan											
Isopropyl 3-chlorcarbanilat s. Chlorpropham (ISO)											
Isopropylether s. Diisopropylether											
Isopropylglycidether s. iso-Propylglycidylether											
Isopropylglykol s. Isopropoxyethanol											
* 4,4'-Isopropylidendiphenol [80-05-7], 201-245-8			–	1B	Sh	2 E		2,5 (I)	AGW Y, 40	DFG, EU (2024)	
Isopropyl[(2S)-3-methyl-1-{[1-(4-methylphenyl)ethyl]amino}-1-oxobutan-2-yl]carbamat s. Iprovalicarb (ISO)											
(RS)-2-(4-Isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl)-5-methoxymethylnicotinsäure s. Imazamox (ISO)											
Isopropylöl Rückstand bei der Isopropylalkohol-Herstellung siehe Abschnitt 1.4											
3-(4-Isopropylphenyl)-1,1-dimethylharnstoff s. Isoproturon											
N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylendiamin [101-72-4], 202-969-7					Sh	2 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2013)	
Isoproturon [34123-59-6], 251-835-4	2										
Isopyrazam [881685-58-1]	2		1B		Sh						
Isotridecan-1-ol [27458-92-0], 248-469-2						21	2,56	2 (II)	AGW Y, 11	AGS (2016)	
Isovaleraldehyd s. 3-Methylbutanal											
Isoxaflutole [141112-29-0]			2								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	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					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Kaliumbenzoat (als Benzoat) [582-25-2], 209-481-3						10 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2018)	
Kaliumbromat [7758-01-2], 231-829-8	1B										
Kaliumchromat [7789-00-6], 232-140-5	1B i	1B			Sh	s. Chrom(VI)-Verbindungen			(H)		EKA
Kaliumcyanid [151-50-8], 205-792-3						1 E als CN		5 (II)	AGW H, Y	EU (2017)	
Kaliumdichromat [7778-50-9], 231-906-6	1B	1B	1B	1B	S	s. Chrom(VI)-Verbindungen			H		
Kaliumheptadecafluoroctan-1-sulfonat, Kaliumperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
Kalium-1-methyl-3-morpholinocarbonyl-4-[3-(1-methyl-3-morpholinocarbonyl-5-oxo-2-pyrazolin-4-yliden)-1-propenyl]-pyrazol-5-olat; [Gehalt an N,N-Dimethylformamid (EG-Nr. 200-679-5) ≥ 0,5 %] [183196-57-8], 418-260-2			1B		Sh						
Kaliumpermanganat [7722-64-7], 231-760-3			2								
Kaliumtitanoxid ($K_2Ti_6O_{13}$) [12056-51-8], 432-240-0	2										
Kayaset Black T-2 s. Tetradecylammoniumbis(1-(5-chlor-2-oxidophenylazo)-2-naphtholato)chromat(1-)											
Kepone s. Chlordecon											
Kerosin (Erdöl) (C9 – C14 Aliphaten) [8008-20-6], 232-366-4						s. Kohlenwasserstoffgemische			AGW Y	AGS (2020)	
Ketoconazol [65277-42-1], 265-667-4				1B							
Kieselglas [60676-86-0], 262-373-8						0,3 A			AGW Y	DFG (1989)	
Kieselgur, gebrannt [68855-54-9], 272-489-0						0,3 A			AGW Y, 1	DFG (2010)	
Kieselgur, ungebrannt [61790-53-2]						4 E			AGW Y, 1	DFG (1989)	
Kieselgut [60676-86-0], 262-373-8						0,3 A			AGW Y	DFG (2023)	
Kieselrauch [69012-64-2], 273-761-1						0,3 A			AGW Y, 1	DFG (2010)	
* Kieselsäuren, amorphe [7631-86-9], 231-545-4						1 E		8 (II)	AGW Y, 2	AGS (2024)	
Kobalt s. Cobalt											
Kohlendioxid [124-38-9], 204-696-9						9 100	5 000	2 (II)	AGW	DFG, EU (2002)	
Kohlendisulfid s. Kohlenstoffdisulfid											
* Kohlenmonoxid [630-08-0], 211-128-3			1A			23	20	3 (II)	AGW Z, 40	DFG, EU (2024)	BGW
Kohlenoxid s. Kohlenmonoxid											
Kohlenstoffdisulfid [75-15-0], 200-843-6			2	2		30	10	2 (II)	AGW H	AGS, EU (2009)	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Kohlenstofftetrachlorid s. Tetrachlormethan											
Kohlenwasserstoffe, C_{26-55}, aromatenreich [97722-04-8], 307-753-7	1B										
Kohlenwasserstoffgemische, Verwendung als Lösemittel (Lösemittelkohlenwasserstoffe), additiv-frei, siehe auch Nummer 2.9 der TRGS 900 bzw. Erläuterungen zur Spalte 6 Fraktionen (RCP-Gruppen): C6-C8 Aliphaten C9-C14 Aliphaten C9-C14 Aromaten						 700 300 50		 2 (II) 2 (II) 2 (II)	AGW	AGS (2017)	
Kokosnussöl [8001-31-8], 232-282-8						5 A		4 (II)	AGW Y	DFG (2019)	
p-Kresidin [120-71-8], 204-419-1	1B								H		
Kresol (alle Isomere) [95-48-7], 202-423-8 [108-39-4], 203-577-9 [106-44-5], 203-398-6 [1319-77-3], 215-293-2						4,5	1	1 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2020)	
Kresoxim-methyl [143390-89-0]	2										
Kresylglycidylether s. 1,2-Epoxy-3-(tolyloxy)propan											
Kristallviolett s. C.I. Basic Violet 3											
Krokydolith s. Asbest											
Künstliche Mineralfasern s. Abschnitt 1.4 s. Aluminiumsilikatfasern s. Faserstäube, anorganische s. Mineralwolle											
Schleime und Schlämme, elektrolytische Kupferraffination, entkupfert, Nickelsulfat [92129-57-2], 295-859-3	1A i	2	1B		S						
Schleime und Schlämme, elektrolytische Kupferraffination, entkupfert, [94551-87-8], 305-433-1	1A i	2	1A		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Lachgas s. Distickstoffmonoxid											
Lardöl s. Triglyceride											
Laurinsäure [143-07-7], 205-582-1						2 E		2 (I)	AGW 11	DFG (2017)	
Lenacil (ISO) [2164-08-1], 218-499-0	2										
Leucomalachitgrün [129-73-7], 204-961-9	2	2									
d-Limonen s. (R)-p-Mentha-1,8-dien											
Lindan [58-89-9], 200-401-2	**2**	–							H		BGW
Linuron (ISO) [330-55-2], 206-356-5	2		1B	2							
Lithiumheptadecafluoroctansulfonat, Lithiumperfluoroctansulfonat s. Perfluoroctansulfonsäure											
Lithiumhydrid [7580-67-8], 231-484-3						0,025 E		1 (I)	AGW	EU (2021)	
Lithiumverbindungen, anorganische mit Ausnahme von Lithium und stärker reizenden Lithiumverbindungen (z. B. Lithiumamid, -hydrid, -hydroxid, -nitrid, -oxid, -tetrahydroaluminat, -tetrahydroborat)						0,2 E		1 (I)	AGW Y, 10	DFG (2015)	
Lösemittelkohlenwasserstoffe s. Kohlenwasserstoffgemische											
Lost s. 2,2‘-Dichlordiethylsulfid											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	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					
Magnesiumoxidsulfat (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	**2**										
Malachitgrün Hydrochlorid, C.I. Basic Green 4 [569-64-2], 209-322-8 Malachitgrün Oxalat [18015-76-4], 219-441-7			2								
* Malathion [121-75-5], 204-497-7					Sh	aufgehoben (2023)					
Maleinsäureanhydrid [108-31-6], 203-571-6					S	0,081	0,02	1 (I); =2,5=	AGW Y, 11	DFG (2018)	
Mancozeb (ISO) [8018-01-7]	2		1B		Sh						
Maneb [12427-38-2], 235-654-8			2		Sh						
Mangan [7439-96-5], 231-105-1 und seine anorganischen Verbindungen						0,02 A 0,2 E		8 (II) 8 (II) 1 (II) für Permanganate	AGW Y, 10, 20	DFG, EU (2015)	
Manganethylenbis-(dithiocarbamat)(polymer), Komplex mit Zinksalz s. Mancozeb (ISO)											
Margosa, Extrakt (aus den Kernen von Azadirachta indica, mit Wasser extrahiert und mit organischen Lösungsmitteln weiter verarbeitet) [84696-25-3], 283-644-7			2		Sh						
MDI s. 4,4'-Methylendiphenyldiisocyanat, Polymer											
Mecrilat s. Cyanacrylsäuremethylester											
Melamin [108-78-1], 203-615-4	2										
(R)-p-Mentha-1,8-dien [5989-27-5], 227-813-5					Sh	28	5	4 (II)	AGW H, Y	DFG (2013)	
Mepanipyrim [110235-47-7]	2										
Mesitylen [108-67-8], 203-604-4						100	20	2 (II)	AGW Y	DFG, EU (2001)	BGW
Mesotrione (ISO) [104206-82-8]			2								
4-Mesyl-2-nitrotoluol [1671-49-4], 430-550-0				2	Sh						
Metaflumizon (ISO); (EZ)-2'-[2-(4-Cyanophenyl)-1-(α,α,α-trifluor-m-tolyl)ethyliden]-[4-(trifluormethoxy)phenyl]carbanilohydrazid [E-Isomer ≥ 90 %, Z-Isomer ≤ 10 % relativer Anteil] [139968-49-3] (E)-2'-[2-(4-Cyanophenyl)-1-(α,α,α-trifluor-m-tolyl)-ethyliden]-[4-(trifluormethoxy)phenyl]-carbanilohydrazid [852403-68-0]			2 Lact	2							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Metaldehyd (ISO) [108-62-3], 203-600-2				2							
Metazachlor (iso) [67129-08-2], 266-583-0	2				Sh						
Metconazol (ISO) [125116-23-6]			2								
Methacrylsäure [79-41-4], 201-204-4						180	50	2 (I)	AGW H, Y	DFG (2016)	
Methacrylsäuremethylester s. Methylmetharcylat											
2-Methallylchlorid s. 3-Chlor-2-methylpropen											
Methanol [67-56-1], 200-659-6						130	100	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2019)	BGW
Methansulfonsäure [75-75-2], 200-898-6						0,7		1 (I)	AGW Y, 11	AGS (2015)	
Methanthiol [74-93-1], 200-822-1						1	0,5	1 (I)	AGW	DFG (2019)	
2-Methoxyanilin [90-04-0], 201-963-1	1B	2	–	–					H		
2-(Methoxycarbonylhydrazono-methyl)chinoxalin-1,4-dioxid s. Carbadox											
Methoxychlor (DMDT) [72-43-5], 200-779-9						aufgehoben (2014)			(H)		
Methoxyessigsäure [625-45-6], 210-894-6			1B	1B		3,7	1	2 (II)	AGW H, Z	DFG (2016)	
2-Methoxyethanol [109-86-4], 203-713-7			1B	1B		3,2	1	8 (II)	AGW H, Z	DFG, EU (2010)	BGW
* 2-(2-Methoxyethoxy)ethanol [111-77-3], 203-906-6			1B			50	10	8 (II)	AGW H, Z, 11	DFG, EU (2024)	
2-(2-[2-Methoxyethoxy]ethoxy)-ethanol [112-35-6], 203-962-1						50 E		2 (II)	AGW Y, 11	DFG (2012)	
6-(2-Methoxyethoxy)-6-vinyl-2,5,7,10-tetraoxa-6-silaundecan s. Tris(2-methoxyethoxy)vinyl-silan											
2-Methoxyethylacetat [110-49-6], 203-772-9			1B	1B		4,9	1	8 (II)	AGW H, Z	DFG, EU (2010)	BGW
2-Methoxyethylacrylat [3121-61-7], 221-499-3		2	1B	1B	Sh						
2-Methoxyethyl-(RS)-2-(4-tert-butylphenyl)-2-cyano-3-oxo-3-(α,α,α-trifluor-o-tolyl)propionat s. Cyflumetofen (ISO)											
(E)-2-(Methoxyimino)-N-methyl-2-[α-(2,5-xylyloxy)-o-tolyl]acetamid s. Dimoxystrobin (ISO)											
(Z)-2-Methoxyimino-2-[2-(trityl-amino)thiazol-4-yl]essigsäure [64485-90-1], 431-520-1	2										
2-Methoxy-5-methylanilin s. p-Kresidin											
(2-Methoxymethylethoxy)-propanol (Isomerengemisch) [34590-94-8], 252-104-2						310	50	1 (I)	AGW 11	DFG, EU (2013)	
2-Methoxy-1-methylethylacetat [108-65-6], 203-603-9						270	50	1 (I)	AGW Y	DFG, EU (2000)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
N-Methoxy-N-[1-methyl-2-(2,4,6-trichlorphenyl)- ethyl]-3-(difluormethyl)-1-methylpyrazol-4-carboxamid [1228284-64-7]	2			2							
7-Methoxy-6-(3-morpholin-4-yl-propoxy)-3H-quinazolin-4-on; [Gehalt an Formamid (EG-Nr. 200-842-0) ≥ 0,5 %] [199327-61-2], 429-400-7			1B								
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)	AGW Y	DFG, EU (2000)	BGW
2-Methoxy-1-propanol [1589-47-5], 216-455-5	–	–	1B	–		19	5	2 (I)	AGW H, Z	DFG (2019)	
1-Methoxypropylacetat-2 s. 2-Methoxy-1-methylethylacetat											
2-Methoxypropylacetat [70657-70-4], 274-724-2			1B			28	5	2 (I)	AGW H, Z	DFG (2019)	
6-Methoxy-m-toluidin s. p-Kresidin											
N-Methylacetamid [79-16-3], 201-182-6	–	–	1B	–							
Methylacetat [79-20-9], 201-185-2						620	200	2 (I)	AGW Y	AGS, DFG (2017)	
Methylacrylamidoglykolat (mit ≥ 0,1% Acrylamid) [77402-05-2], 403-230-3	1B	1B			Sh						
Methylacrylamido-methoxyacetat (mit ≥ 0,1 % Acrylamid) [77402-03-0], 401-890-7	1B	1B									
Methylacrylat [96-33-3], 202-500-6					Sh	7,1	2	2 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2017)	
Methyläther s. Dimethylether											
Methylal s. Dimethoxymethan											
Methylalkohol s. Methanol											
2-Methyl-allylchlorid s. 3-Chlor-2-methylpropen											
Methylamin [74-89-5], 200-820-0						6,4	5	2 (I); =2=	AGW Y	DFG (2020)	
1-Methyl-2-amino-5-chlorbenzol s. 4-Chlor-o-toluidin											
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)	AGW H, 6	DFG (2001)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Methyl-2-azabicyclo[2.2.1]-heptan [4524-95-2], 404-810-9						20	5		AGW H	AGS (2005)	
2-Methylaziridin s. Propylenimin											
(Methyl-ONN-azoxy)methylacetat [592-62-1], 209-765-7	1B		1B								
Methylbenzimidazol-2-yl-carbamat s. Carbendazim (ISO)											
Methylbenzol s. Toluol											
(2-Methylbiphenyl-3-yl)methyl-rel-(1R,3R)-3-[(1Z)-2-chlor-3,3,3-trifluorprop-1-en-1-yl]-2,2-di-methylcyclopropancarboxylat s. Bifenthrin (ISO)											
N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin [51-75-2], 200-120-5	**1A**	**1B**							(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)	AGW	AGS (1992)	
Methylbutanole s. Pentanole											
2-Methylbut-3-en-2-ol [115-18-4], 204-068-4						2	0,6	2 (I)	AGW	AGS (1999)	
2-Methylbut-3-in-2-ol [115-19-5], 204-070-5						3	0,9	2 (I)	AGW	AGS (1999)	
1-Methylbutylacetat [626-38-0], 210-946-8						270	50	1 (I)	AGW	DFG, EU (2000)	
2-Methylbutylacetat [624-41-9], 210-843-8						270	50	1 (I)	AGW Y	DFG (2000)	
3-Methylbutylacetat [123-92-2], 204-662-3						270	50	1 (I)	AGW	DFG, EU (2000)	
Methyl-1-(butyl-carbamoyl)-benzimidazol-2-ylcarbamat s. Benomyl (ISO)											
Methylbutylketon s. Hexan-2-on											
Methyl-tert-butylether s. (tert-Butyl)methylether											
2-Methyl-5-tert-butylthiophenol 444-970-7			2		Sh						
Methyl-3-(chinoxalin-2-yl-methylen)carbazat-1,4-dioxid s. Carbadox											
Methylchloracetat [96-34-4], 202-501-1						4,5	1	1 (I)	AGW H, Y	DFG (2009)	
2-Methyl-4-chloranilin s. 4-Chlor-o-toluidin											
Methyl-3-chlor-5-{[(4,6-dime-thoxypyrimidin-2-yl)carbamoyl]-sulfamoyl}-1-methyl-1-H-pyrazol-4- carboxylat s. Halosulfuron-methyl (ISO)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Methylchlorformiat [79-22-1], 201-187-3						0,78	0,2	2 (I)	AGW H, Y	DFG (2003)	
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)	AGW	DFG (2001)	
Methylcyclohexanol, techn. Gemisch [25639-42-3], 247-152-6						28	6	2 (II)	AGW	AGS (2008)	
Methylcyclopentan [96-37-7], 202-503-2						1800	500	2 (II)	AGW	DFG (2010)	
Methyldichlorbenzol s. Dichlortoluol (Isomerengemisch)											
1-Methyl-2,4-dichlorbenzol s. 2,4-Dichlortoluol											
Methyl 2-({[4-(dimethylamino)-6-(2,2,2-trifluorethoxy)-1,3,5-triazin-2-yl]carbamoyl}sulfamoyl)-3-methylbenzoat s. Triflusulfuron-methyl											
4-Methyl-1,3-dioxolan-2-on s. Propylencarbonat											
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'-methylendianilin)	1B *)					0,01 E 0,41 E 0,01		2 (II)	AK TK H, 11 BOELV	AGS (2020) TRGS 910 EU (2019)	
4,4'-Methylenbis(dibutyldithiocarbamat) [10254-57-6], 233-593-1						5 A 20 E		4 (II) 8 (II)	AGW	DFG (2020)	
4,4'-Methylenbis(N,N-dimethylanilin) s. N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'-methylendianilin											
4,4'-Methylenbis(N,N-dimethyl)-benzamin s. N,N,N',N'-Tetramethyl-4,4'-methylendianilin											
4,4'-Methylenbis(2-ethylanilin) [19900-65-3], 243-420-1	2	–	–	–							
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	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Diester von 4,4'-Methylenbis[2-(2-hydroxy-5-methylbenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonsäure (1:2), Triester von 4,4'-Methylenbis[2-(2-hydroxy-5-methylbenzyl)-3,6-dimethylphenol] und 6-Diazo-5,6-dihydro-5-oxonaphthalin-1-sulfonsäure (1:3), Gemisch aus 427-140-9	2										
(Methylenbis(4,1-phenylenazo(1-(3-(dimethylamino)propyl)-1,2-dihydro-6-hydroxy-4-methyl-2-oxopyridin-5,3-diyl)))-1,1'-dipyridiniumdichloriddihydrochlorid 401-500-5	1B										
Methylenchlorid s. Dichlormethan											
4,4'-Methylendianilin s. 4,4'-Diaminodiphenylmethan											
N,N'-Methylendimorpholin; N,N'-Methylenbismorpholin; [aus N,N'-Methylenbismorpholin freigesetztes Formaldehyd]; [MBM] [5625-90-1], 227-062-3	1B	2			Sh				H		
2,2'-Methylendiphenyldiisocyanat [2536-05-2], 219-799-4	2				S	0,05		1 (I); =2=	AGW 11, 12	AGS (2013)	
2,4'-Methylendiphenyldiisocyanat [5873-54-1], 227-534-9	2				S	0,05		1 (I); =2=	AGW 11, 12	AGS (2009)	
4,4'-Methylendiphenyldiisocyanat [101-68-8], 202-966-0	2				S	0,05 E		1 (I); =2=	AGW H, Y, 11, 12	DFG (2013)	
4,4'-Methylendiphenyldiisocyanat, Polymer (als MDI berechnet) [9016-87-9] [1] in Form atembarer Aerosole, A-Fraktion	**2**[1]				S	0,05 E		1 (I); =2=	AGW H, Y, 12	DFG (2010)	
Methylendiphenyldiisocyanat [26447-40-5], 247-714-0	2				S						
4,4'-Methylendi-o-toluidin s. 3,3'-Dimethyl-4,4'-diaminophenylmethan											
Methylethylketon s. Butanon											
N,N-Methylethyl-nitrosamin s. N-Nitrosomethyl-ethylamin											
N-Methylformamid [123-39-7], 204-624-6			1B						H		
Methylformiat [107-31-3], 203-481-7						120	50	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2019)	
Methylglykol s. 2-Methoxyethanol											
Methylglykolacetat s. 2-Methoxyethylacetat											
5-Methyl-3-heptanon [541-85-5], 208-793-7						53	10	2 (I)	AGW	DFG, EU (2001)	
5-Methyl-2-hexanon [110-12-3], 203-737-8						95	20		AGW	EU (1994)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Methylhydrazin [60-34-4], 200-471-4	1B								(H)		
2-Methylimidazol [693-98-1], 211-765-7			1B	2							
* 4-Methylimidazol [822-36-6], 212-497-3	1B		2	1B							
Methyliodid s. Iodmethan											
Methylisobutylcarbinol s. 4-Methylpentan-2-ol											
Methylisocyanat [624-83-9], 210-866-3			2		S	0,024	0,01	1 (I)	AGW H, 12	DFG, EU (2000)	
Methyl-N-(isopropoxycarbonyl)-L-valyl-(3RS)-3-(4-chlorphenyl)-β-alaninat s. Valifenalat											
Methyljodid s. Iodmethan											
Methylmercaptan s. Methanthiol											
Methylmethacrylat [80-62-6], 201-297-1					Sh	210	50	2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2000)	
Methyl (E)-2-methoxyimino-[2-(o-tolyl)oxymethyl)phenylacetat s. Kresoxim-methyl											
Methyl(E)-methoxyimino-{(E)-α-[1-(α,α,α-trifluor-m-tolyl)-ethylidenaminooxy]-o-tolyl}acetat s. Trifloxystrobin (ISO)											
2-Methyl-4-[(2-methylphenyl)-azo]benzamin s. 2-Aminoazotoluol											
2-Methyl-1-(4-methylthiophenyl)-2-morpholinopropan-1-on [71868-10-5], 400-600-6			1B	1B							
N-Methyl-1-naphthylcarbamat s. Carbaryl											
2-Methyl-5-nitrobenzamin s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
1-Methyl-3-nitro-1-nitroso-guanidin [70-25-7], 200-730-1	1B										
N-Methyl-N-nitrosoanilin s. N-Nitrosomethylphenylamin											
N-Methyl-N-nitrosoethamin s. N-Nitroso-methylethylamin											
N-Methyl-N-nitroso-methanamin s. N-Nitroso-dimethylamin											
Methylolacrylamid s. N-(hydroxymethyl)acrylamid											
N-Methylolchloracetamid [2832-19-1], 220-598-9	–	**2**	–	–	Sh						
Methyloxiran s. 1,2-Epoxypropan											
(Z)-N-Methyl-N-(1-oxo-9-octadecenyl)glycin [110-25-8], 203-749-3						0,05 E		2 (II)	AGW	DFG (2019)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Methyl-4-oxo-3-(penta-2,4-dienyl)cyclopent-2-enyl-[1R-[1α[S*(Z)],3β]]chrysanthemat s. Pyrethrin I											
2-Methyl-4-oxo-3-(penta-2,4-dienyl)cyclopent-2-enyl-[1R[1α-[S*(Z)]-(3β)]]-3-(3-methoxy-2-methyl-3-oxoprop-1-enyl-2,2-dimethylcyclopropan-carboxylat s. Pyrethrin II											
2-Methylpentan [107-83-5], 203-523-4						1800	500	2 (II)	AGW	DFG (2010)	
3-Methylpentan [96-14-0], 202-481-4						1800	500	2 (II)	AGW	DFG (2010)	
4-Methylpentan-2-ol [108-11-2], 203-551-7						85	20	1 (I)	AGW	DFG (2002)	
4-Methylpentan-2-on [108-10-1], 203-550-1	2					83	20	2 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2000)	BGW
4-Methylpent-3-en-2-on [141-79-7], 205-502-5						8,1	2	2 (I)	AGW H	DFG (2016)	
Methylphenylendiamin [25376-45-8], 246-910-3 Techn. Gemisch aus 4- und 2-Methyl...	1B	2		2	Sh				H		
4-Methyl-m-phenylendiamin s. 2,4-Toluylendiamin											
2-Methyl-m-phenylendiamin [823-40-5], 212-513-9		2			Sh				H		
2-Methyl-m-phenylendiisocyanat s. 2,6-Diisocyanattoluol											
4-Methyl-m-phenylendiisocyanat s. 2,4-Diisocyanattoluol											
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)	AGW Y	DFG (2023)	
2-Methylpropan-2-thiol [75-66-1], 200-890-2					Sh	3,7	1	2 (II)	AGW H, Y	DFG (2021)	
6-(1-Methylpropyl)-2,4-dinitro-phenol s. Dinoseb											
1-Methylpropylenglykol-2 s. 1-Methoxy-2-propanol											
3-Methylpyrazol [1453-58-3], 215-925-7			1B								
* N-Methyl-2-pyrrolidon (Dampf) [872-50-4], 212-828-1			1B			40 14,4	10	2 (I) 2 (II)	AGW H, Y, 11, 19, 32 DNEL (REACH)	AGS, DFG, EU (2024) EU (2020)	BGW
Methylquecksilberchlorid [115-09-3], 204-064-2	2		1A Lact	2					H		
Methylsalicylat [119-36-8], 204-317-7			2		Sh						
Methylstyrol s. Vinyltoluol (alle Isomeren)											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
α-Methylstyrol s. Isopropenylbenzol											
2-[4-(Methylsulfonyl)-2-nitrobenzoyl]-1,3-cyclohexandion s. Mesotrione (ISO)											
Methylvinylether [107-25-5], 203-475-4						120	50	2 (I)	AGW Y	AGS (2021)	
Methylzinnverbindungen											
Mono- und Dimethylzinnverbindungen mit Ausnahme der separat genannten						0,009	0,0018	1 (I)	AGW Y, 10, 11	AGS (2015)	
Trimethylzinnverbindungen						0,005	0,001	4 (II)	AGW H, 10, 11	DFG (2015)	
Metosulam (ISO) [139528-85-1]	2										
* Mevinphos [7786-34-7], 232-095-1						aufgehoben (2023)			H		
Michlers Keton [90-94-8], 202-027-5	1B	2	–	–							
Mineralfasern s. Abschnitt 1.4 s. Faserstäube, anorganische											
Mineralöle (Erdöl), stark raffiniert [92062-35-6], 295-550-3 [72623-83-7], 276-735-8 [92045-45-9], 295-426-9 [92045-44-8], 295-425-3						5		4 (II)	AGW Y, 11	DFG (2018)	
Mineralwolle [künstlich hergestellte ungerichtete glasige (Silikat)-Fasern mit einem Anteil an Alkali- und Erdalkalimetalloxiden ($Na_2O+K_2O+CaO+MgO+BaO$) von über 18 Gewichtsprozent] soweit in dieser Liste nicht gesondert aufgeführt [1] s. Abschnitt 1.4	**1B**[1] 2										
Mirex [2385-85-5], 219-196-6	2		2 Lact	2					H		
MOCA s. 4,4'-Methylenbis(2-chloranilin)											
Molinat [2212-67-1], 218-661-0	2			2	Sh						
Molybdäntrioxid [1313-27-5], 215-204-7	2										
Mono-n-butylzinnverbindungen s. n-Butylzinnverbindungen											
Monochlordifluormethan (R 22) s. Chlordifluormethan (R 22)											
Monochlordimethylether (Chlormethylmethylether) [107-30-2], 203-480-1	1A								H		
Monochloressigsäure s. Chloressigsäure											
Monochloressigsäure-ethylester s. Ethylchloracetat											
Monochloressigsäure-methylester s. Methylchloracetat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Monochlormonofluormethan s. Chlorfluormethan											
Monochlortrifluormethan s. Chlortrifluormethan											
Monocrotophos (ISO) [6923-22-4], 230-042-7		2							H		
Mono-n-octylzinnverbindungen s. n-Octylzinnverbindungen											
Monuron (ISO) [150-68-5], 205-766-1	2										
Monuron-TCA s. 3-(4-Chlorphenyl)-1,1-dimethyl-uroniumtrichloracetat											
* Morpholin [110-91-8], 203-815-1						18	5	1 (I); =2=	AGW H, Y, 6	DFG, EU (2023)	
Morpholinylcarbamoylchlorid s. Morpholin-4-carbonylchlorid											
Morpholin-4-carbonylchlorid [15159-40-7], 239-213-0	**1B** 2										
Musk Ketone s. 4‘-tert-Butyl-2‘,6‘-dimethyl-3‘,5‘-dinitroacetophenon											
Musk Xylene s. 5-tert-Butyl-2,4,6-trinitro-m-xylol											
Myclobutanil [88671-89-0]			2								

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Naled [300-76-5], 206-098-3					Sh	0,5 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2018)	
Nanomaterialien s. granuläre biobeständige Stäube (GBS)-Nanomaterialien											
Naphthalin [91-20-3], 202-049-5	2	–	–	–	–	2	0,4	4 (I)	AGW H, Y, 11	AGS, EU (2018)	EKA
1-Naphthylamin (α-) [134-32-7], 205-138-7						1 E	0,17	4 (II)	AGW H, 11	AGS (2013)	
2-Naphthylamin (β-) [91-59-8], 202-080-4 und seine Salze	1A								(H)		
2-Naphthylamino-1-sulfonsäure s. 2-Amino-1-naphthalinsulfonsäure											
N-1-Naphthylanilin [90-30-2], 201-983-0					Sh	2 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2021)	
N-2-Naphthylanilin s. N-Phenyl-2-naphthylamin											
1,5-Naphthylendiamin [2243-62-1], 218-817-8	2								(H)		
1,5-Naphthylendiisocyanat [3173-72-6], 221-641-4					Sa	0,05		1 (I); =2=	AGW 11, 12	AGS (2007)	
1-Naphthylmethylcarbamat s. Carbaryl											
1-(1-Naphthylmethyl)-quinoliniumchlorid [65322-65-8], 406-220-7	2	2									
1-Naphthylthioharnstoff s. ANTU											
Natriumazid [26628-22-8], 247-852-1						0,2		2 (I)	AGW	DFG, EU (2003)	
Natriumbenzoat (als Benzoat) [532-32-1], 208-534-8						10 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2018)	
Natrium-2-biphenylat [132-27-4], 205-055-6						2 E		1 (I)	AGW Y	DFG (2016)	
Natriumchromat [7775-11-3], 231-889-5	1B	1B	1B	1B	S	s. Chrom(VI)-Verbindungen			H		EKA
Natriumcyanid [143-33-9], 205-599-4						1 E als CN		5 (II)	AGW H, Y	EU (2017)	
Natriumdichromat [10588-01-9], 234-190-3 Natriumdichromatdihydrat [7789-12-0], 234-190-3	1B	1B	1B	1B	S	s. Chrom(VI)-Verbindungen			H		
Natriumfluoracetat [62-74-8], 200-548-2						0,05 E		4 (II)	AGW H, Z	DFG (2012)	
Natrium-N-(hydroxymethyl)-glycinat [aus Natrium-N-(hydroxymethyl)-glycinat freigesetztes Formaldehyd] [70161-44-3], 274-357-8	1B	2			Sh						
Natriummonochloracetat [3926-62-3], 223-498-3 [1] als Chloressigsäure						2 E[1]		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2019)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Natriumperborat [15120-21-5], 239-172-9 Perborsäure, Natriumsalz [11138-47-9], 234-390-0 Perborsäure, Natriumsalz, Monohydrat [12040-72-1] Natriumperoxometaborat [7632-04-4], 231-556-4 Perborsäure ($HBO(O_2)$), Natriumsalz, Monohydrat, Natriumperoxoborat [10332-33-9]			1B	2							
Natriumpyrithion s. Pyridin-2-thiol-1-oxid, Natriumsalz											
Natriumtrichloracetat (TCA-Natrium) [650-51-1], 211-479-2						2 E		1 (I)	AGW H, Y	DFG (2016)	
NDI s. 1,5-Naphthylendiisocyanat											
Nemalith (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	**2**										
Nickel (Metall) [7440-02-0], 231-111-4	2				Sh	0,006 A 0,03 E		8 (II) 8 (II)	AGW Y, 24, 31	AGS (2017) AGS (2018)	EKA
Nickelverbindungen: *) Für Nickelverbindungen, die als K1A oder K1B eingestuft sind					S	6 µg/m³ A *) 6 µg/m³ A *) 0,03 mg/m³ E		 8 (II) 8 (II)	AK TK 10 AGW Y, 10, 24, 31	AGS (2017) TRGS 910 AGS (2018)	
• Ameisensäure, Kupfer-Nickel-Salz [68134-59-8], 268-755-0	1A i	2	1B		S						
• Ameisensäure, Nickelsalz [15843-02-4], 239-946-6	1A i	2	1B		S						
• Bis(D-gluconato-O1,O2)nickel [71957-07-8], 276-205-6	1A i	2	1B		S						
• [Carbonato(2-)]tetrahydroxy-trinickel [12607-70-4], 235-715-9	1A i	2	1B		S						
• [µ-[Carbonato(2-)-O:O']]-dihydroxytrinickel [65405-96-1], 265-748-4	1A i	2	1B		S						
• Cobalt-Dimolybdän-Nickel-octaoxid [68016-03-5], 268-169-5	1A i				Sh	s. Cobalt					
• Cobalt-Lithium-Nickeloxid 442-750-5	1A i				Sh	s. Cobalt					EKA
• Cobalt-Nickel-Dioxid [58591-45-0], 261-346-8 Cobalt-Nickel-Oxid [12737-30-3]	1A i				Sh	s. Cobalt					
• Cobalt-Nickel-Gray-Periklas, C.I. 77332 [68186-89-0], 269-051-6	1A i				Sh	s. Cobalt					
• Dialuminium-Nickeltetraoxid [12004-35-2], 234-454-8	1A i				Sh						
• Diammoniumnickelhexacyano-ferrat [74195-78-1]	1A i				S						
• Dimethylhexansäure, Nickelsalz [93983-68-7], 301-323-2	1A i	2	1B		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
• Dinickelborid [12007-01-1], 234-494-6	1A i				Sh						
• Dinickeldiphosphat [14448-18-1], 238-426-6	1A i				S						
• Dinickelhexacyanoferrat [14874-78-3], 238-946-3	1A i				Sh						
• Dinickelorthosilikat [13775-54-7], 237-411-1	1A i				Sh						
• Dinickelphosphid [12035-64-2], 234-828-0	1A i				Sh						
• Dinickelsilicid [12059-14-2], 235-033-1	1A i				Sh						
• Dinickeltrioxid [1314-06-3], 215-217-8	1A i				Sh						
• Diphosphorsäure, Nickel(II)-Salz [19372-20-4]	1A i				S						
• (2-Ethylhexanoato-O)-(isodecanoato-O)nickel [84852-39-1], 284-351-7	1A i	2	1B		S						
• (2-Ethylhexanoato-O)-(isononanoato-O)nickel [85508-45-8], 287-470-2	1A i	2	1B		S						
• (2-Ethylhexanoato-O)-(neodecanoato-O)nickel [85135-77-9], 285-698-7	1A i	2	1B		S						
• 2-Ethylhexansäure, Nickelsalz [7580-31-6], 231-480-1	1A i	2	1B		S						
• Ethylhydrogensulfat, Nickel(II)-Salz [71720-48-4], 275-897-7	1A i	2	1B		S						
• Fettsäuren, C_{6-19}-verzweigt, Nickelsalze [91697-41-5], 294-302-1	1A i	2	1B		S						
• Fettsäuren, C_{8-18} und C_{18}-ungesättigt, Nickelsalze [84776-45-4], 283-972-0	1A i	2	1B		S						
• (Isodecanoato-O)-(isononanoato-O)nickel [84852-36-8], 284-348-0	1A i	2	1B		S						
• (Isodecanoato-O)-(isooctanoato-O)nickel [85166-19-4], 285-909-2	1A i	2	1B		S						
• (Isononanoato-O)-(isooctanoato-O)nickel [85508-46-9], 287-471-8	1A i	2	1B		S						
• (Isononanoato-O)-(neodecanoato-O)nickel [85551-28-6], 287-592-6	1A i	2	1B		S						
• (Isooctanoato-O)-(neodecanoato-O)nickel [84852-35-7], 284-347-5	1A i	2	1B		S						
• Kieselsäure, Blei-Nickel-Salz [68130-19-8]	1A i		1A	2	S						
• Kieselsäure, Nickelsalz [37321-15-6], 253-461-7	1A i				Sh						
• Lithium-Nickeldioxid [12031-65-1]	1A i				Sh						
• Molybdän-Nickelhydroxidoxid-phosphat [68130-36-9], 268-585-7	1A i				S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
• Molybdän-Nickeloxid [12673-58-4]	1A i				Sh						EKA
• Molybdän-Nickeltetraoxid [14177-55-0], 238-034-5	1A i				Sh						
• 2,7-Naphthalendisulfonsäure, Nickel(II)-Salz [72319-19-8]	1A i	2	1B		S						
• Neodecansäure, Nickelsalz [51818-56-5], 257-447-1	1A i	2	1B		S						
• Nickelacetat [14998-37-9], 239-086-1	1A i	2	1B		S						
• Nickel(II)-arsenat s. Trinickel-bis(arsenat)											
• Nickelarsenid [27016-75-7], 248-169-1	1A i				Sh						
• Nickel-Barium-Titan-Primel-Priderit, C.I. 77900 [68610-24-2], 271-853-6	1A i				Sh						
• Nickel-bis(benzolsulfonat) [39819-65-3], 254-642-3	1A i	2	1B		S						
• Nickel-3,5-bis(tert-butyl)-4-hydroxybenzoat(1:2) [52625-25-9], 258-051-1	1A i	2	1B		S						
• Nickel-bis(4-cyclohexylbutyrat) [3906-55-6], 223-463-2	1A i	2	1B		S						
• Nickel-bis(dihydrogen-phosphat) [18718-11-1], 242-522-3	1A i				S						
• Nickel-bis(2-ethylhexanoat) [4454-16-4], 224-699-9	1A i	2	1B		S						
• Nickel-bis(isononanoat) [84852-37-9], 284-349-6	1A i	2	1B		S						
• Nickel-bis(phosphinat) [14507-36-9], 238-511-8	1A i				S						
• Nickel-bis(sulfamidat) [13770-89-3], 237-396-1	1A i	2	1B		S						
• Nickel-bis(tetrafluorborat) [14708-14-6], 238-753-4	1A i	2	1B		S						
• Nickelborid (NiB) [12007-00-0], 234-493-0 Nickelborid [12619-90-8], 235-723-2	1A i				Sh						
• Nickel-Borphosphid [65229-23-4]	1A i				Sh						
• Nickelcarbonat [3333-67-3], 222-068-2 Kohlensäure, Nickelsalz [16337-84-1], 240-408-8	1A i	2	1B		S						EKA
• Nickelcarbonyl s. Nickeltetracarbonyl											
• Nickelchromat [14721-18-7], 238-766-5	1A i				S	s. Nickel- und Chrom(VI)-Verbindungen					
• Nickeldi(acetat) [373-02-4], 206-761-7	1A i	2	1B		S						
• Nickeldiammonium-bis(sulfat), Diammoniumnickel-bis(sulfat) [15699-18-0], 239-793-5	1A i	2	1B		S						
• Nickeldiarsenid [12068-61-0], 235-103-1	1A i				Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
• Nickeldibenzoat [553-71-9], 209-046-8	1A i	2	1B		S						
• Nickeldibromat [14550-87-9], 238-596-1	1A i	2	1B		S						
• Nickeldibromid [13462-88-9], 236-665-0	1A i	2	1B		S						
• Nickeldichlorat [67952-43-6], 267-897-0	1A i	2	1B		S						
• Nickeldichlorid [7718-54-9], 231-743-0	1A i	2	1B		S						
• Nickeldichromat [15586-38-6], 239-646-5	1A i	2	1B		S	s. Nickel- und Chrom(VI)-Verbindungen					
• Nickeldicyanid [557-19-7], 209-160-8	1A i				S						
• Nickeldifluorid [10028-18-9], 233-071-3	1A i	2	1B		S						
• Nickeldiformat [3349-06-2], 222-101-0	1A i	2	1B		S						
• Nickeldihydroxid [12054-48-7], 235-008-5 [11113-74-9], 234-348-1	1A i	2	1B		S						
•Nickeldijodid [13462-90-3], 236-666-6	1A i	2	1B		S						
• Nickeldikalium-bis(sulfat) [13842-46-1[, 237-563-9	1A i	2	1B		S						
• Nickeldilactat [16039-61-5]	1A i	2	1B		S						
• Nickeldinitrat [13138-45-9], 236-068-5 Salpetersäure, Nickelsalz [14216-75-2], 238-076-4	1A i	2	1B		S						
• Nickeldioxid [12035-36-8], 234-823-3	1A i				Sh						EKA
• Nickeldiperchlorat, Perchlorsäure, Nickel(II)-Salz [13637-71-3], 237-124-1	1A i	2	1B		S						
• Nickeldisilicid [12201-89-7], 235-379-3	1A i				Sh						
• Nickeldithiocyanat [13689-92-4], 237-205-1	1A i	2	1B		S						
• Nickel-Divanadiumhexaoxid [52502-12-2], 257-970-5	1A i				Sh						
• Nickelhexafluorsilikat [26043-11-8], 247-430-7	1A i	2	1B		S						
• Nickel(II)-hydrogencitrat [18721-51-2], 242-533-3	1A i	2	1B		S						
• Nickelhydrogenphosphat [14332-34-4], 238-278-2	1A i				S						
• Nickel(II)-isodecanoat [85508-43-6], 287-468-1	1A i	2	1B		S						
• Nickel(II)-isooctanoat [29317-63-3], 249-555-2	1A i	2	1B		S						
• Nickelisooctanoat [27637-46-3], 248-585-3	1A i	2	1B		S						
• Nickel-Kalium-Fluorid [11132-10-8]	1A i	2	1B		S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
• Nickelmatte sowie Rösten oder elektrolytische Raffination von s. Abschnitt 1.4 [69012-50-6], 273-749-6	1A				Sh						
• Nickelmonoxid [1313-99-1], 215-215-7 Nickeloxid [11099-02-8], 234-323-5 Bunsenit [34492-97-2]	1A i				Sh						EKA
• Nickel(II)-neodecanoat [85508-44-7], 287-469-7	1A i	2	1B		S						
• Nickel(II)-neononanoat [93920-10-6], 300-094-6	1A i	2	1B		S						
• Nickel(II)-neoundecanoat [93920-09-3], 300-093-0	1A i	2	1B		S						
• Nickel(II)-octadecanoat s. Nickel(II)-stearat											
• Nickel(II)-octanoat [4995-91-9], 225-656-7	1A i	2	1B		S						
• Nickeloxalat [547-67-1], 208-933-7 Oxalsäure, Nickelsalz [20543-06-0], 243-867-2	1A i				Sh						
• Nickel(II)-palmitat [13654-40-5], 237-138-8	1A i	2	1B		S						
• Nickelphosphinat [36026-88-7], 252-840-4	1A i				S						
• Nickel(II)-propionat [3349-08-4], 222-102-6	1A i	2	1B		S						
• Nickelselenat [15060-62-5], 239-125-2	1A i	2	1B		S						BGW
• Nickelselenid [1314-05-2], 215-216-2	1A i				Sh						BGW
* • Nickel(II)-Selenit [10101-96-9], 233-263-7	1A i				S						BGW
• Nickelsilikat (3:4) [31748-25-1], 250-788-7	1A i				Sh						
• Nickel(II)-Silikat [21784-78-1], 244-578-4	1A i				Sh						
• Nickelstannat s. Nickel-Zinn-Trioxid											
• Nickel(II)-stearat [2223-95-2], 218-744-1	1A i	2	1B		S						
• Nickelsulfamat s. Nickel-bis(sulfamidat)											
• Nickelsulfat [7786-81-4], 232-104-9	1A i	2	1B		S						
• Nickelsulfid [16812-54-7], 240-841-2 Nickelsulfid [11113-75-0], 234-349-7 Millerit [1314-04-1]	1A i	2			Sh						EKA
• Nickel(II)-sulfit [7757-95-1], 231-827-7	1A i				S						
• Nickeltellurid [12142-88-0], 235-260-6	1A i				Sh						
• Nickel-tellurtetraoxid [15852-21-8], 239-974-9	1A i				S						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
• Nickel-Tellurtrioxid [15851-52-2], 239-967-0	1A i				S						
• Nickeltetracarbonyl [13463-39-3], 236-669-2	2		1B		S						
• Nickel-Titanoxid [12653-76-8], 235-752-0	1A i				Sh						
• Nickel-Titantrioxid [12035-39-1], 234-825-4	1A i				Sh						
• Nickel(II)-trifluoracetat [16083-14-0], 240-235-8	1A i	2	1B		S						
• Nickeltriurandecaoxid [15780-33-3], 239-876-6	1A i				Sh						
• Nickel-Wolframtetraoxid [14177-51-6], 238-032-4	1A i				Sh						
• Nickel-Zinn-Trioxid [12035-38-0], 234-824-9	1A i				Sh						
• Nickel-Zirkontrioxid [70692-93-2], 274-755-1	1A i				Sh						
• Olivin, Nickel grün [68515-84-4], 271-112-7	1A i				Sh						
• Phosphorsäure, Calcium-Nickel-Salz [17169-61-8]	1A i				S						
• Trihydrogenhydroxy-bis[ortho-silikato(4-)]trinickelat(3-) [12519-85-6], 235-688-3	1A i				Sh						
• Trinickel-bis(arsenat) [13477-70-8], 236-771-7	1A				Sh	As: 0,83 µg/m³ E As: 8,3 µg/m³ E		8 (II)	AK TK 10	AGS (2014) TRGS 910	
• Trinickel-bis(arsenit) [74646-29-0]	1A i				Sh	As: 0,83 µg/m³ E As: 8,3 µg/m³ E		8 (II)	AK TK 10	AGS (2014) TRGS 910	
• Trinickel-bis(orthophosphat) [10381-36-9], 233-844-5	1A i				S						
• Trinickelborid [12007-02-2], 234-495-1	1A i				Sh						
• Trinickeldisulfid; Nickelsubsulfid; Heazlewoodit [12035-72-2], 234-829-6; [12035-71-1]	1A i	2			Sh						EKA
• Trinickeltetrasulfid [12137-12-1]	1A i				Sh						
• Zitronensäure, Ammonium-Nickel-Salz [18283-82-4], 242-161-1	1A i	2	1B		S						
• Zitronensäure, Nickelsalz [22605-92-1], 245-119-0	1A i	2	1B		S						
Nikotin [54-11-5], 200-193-3						0,5		2 (II)	AGW H, 11, 13	EU (2013)	
Nitrilotriessigsäure und ihre Natriumsalze [139-13-9], 205-355-7 [18994-66-6] [15467-20-6], 239-484-5 [23255-03-0] [18662-53-8], 606-091-9 [5064-31-3], 225-768-6; s. auch Trinatriumnitriltriacetat						2 E		4 (II)	AGW Y, 35	DFG (2023)	
2,2‘,2“-Nitrilotriethanol [102-71-6], 203-049-8						1 E		1 (I)	AGW Y	DFG (2018)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
5-Nitroacenaphthen [602-87-9], 210-025-0	1B										
2-Nitro-4-aminophenol [119-34-6], 204-316-1	**2**								(H)		
4-Nitro-2-aminotoluol s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
2-Nitroanisol [91-23-6], 202-052-1	1B										
4-Nitrobenzoesäure [62-23-7], 200-526-2						1 E		2 (I)	AGW	DFG (2017)	
Nitrobenzol [98-95-3], 202-716-0	2			1B		0,51	0,1	4 (II)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2017)	
4-Nitrobiphenyl [92-93-3], 202-204-7	1B								(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						31	10	4 (II)	AGW H	DFG, EU (2017)	
Nitrofen (ISO) [1836-75-5], 217-406-0	1B		1B								
Nitroglykol s. Ethylenglykoldinitrat											
2-Nitronaphthalin [581-89-5], 209-474-5	1B										
2-Nitro-p-phenylendiamin [5307-14-2], 226-164-5	**2**				Sh				(H)		
N-(2-Nitrophenyl)-phosphortriamid [874819-71-3], 477-690-9			2	1B							
1-Nitropropan [108-03-2], 203-544-9						7,4	2	8 (I)	AGW H, 3	DFG (2017)	
2-Nitropropan [79-46-9], 201-209-1	1B					0,18 1,8	0,05 0,5	8 (II)	AK TK H	AGS (2015) TRGS 910	
Nitropyrene (Mono-, Di- Tri-, Tetra-) (Isomere) [5522-43-0], 226-868-2	**2**										
N-Nitrosamine Krebserzeugend Kat 1A oder 1B						0,075 µg/m³ 0,75 µg/m³		8 (II)	BM	AGS (2018) TRGS 552	
N-Nitroso-bis(2-hydroxyethyl)-amin s. N-Nitroso-diethanolamin											
Nitrosodi-n-butylamin [924-16-3], 213-101-1	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
N-Nitrosodiethanolamin [1116-54-7], 214-237-4	1B					s. N-Nitrosamine			H		
N-Nitrosodiethylamin [55-18-5], 200-226-1	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
N-Nitrosodimethylamin [62-75-9], 200-549-8	1B					0,075 µg/m³ 0,75 µg/m³		8 (II)	AK TK H	AGS (2014) TRGS 910	
N-Nitrosodi-i-propylamin [601-77-4]	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
N-Nitrosodi-n-propylamin [621-64-7], 210-698-0	1B					s. N-Nitrosamine			H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Nitrosoethylanilin s. Nitrosoethylphenylamin											
N-Nitrosoethylphenylamin [612-64-6]	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
2,2'-(Nitrosoimino)bisethanol s. N-Nitroso-diethanolamin											
Nitrosomethylanilin s. N-Nitroso-methylphenylamin											
N-Nitrosomethyl-ethylamin [10595-95-6]	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
N-Nitrosomethylphenylamin [614-00-6], 210-366-5	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
* N-Nitrosomorpholin [59-89-2]	1B	2				s. N-Nitrosamine			H		
p-Nitrosophenol [104-91-6], 203-251-6		2									
N-Nitrosopiperidin [100-75-4], 202-886-6	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
N-Nitrosopyrrolidin [930-55-2], 213-218-8	**1B**					s. N-Nitrosamine			H		
5-Nitro-3-toluidin s. 2-Amino-4-nitrotoluol											
2-Nitrotoluol [88-72-2], 201-853-3	1B	1B	–	2					H		
3-Nitrotoluol [99-08-1], 202-728-6									H		
4-Nitrotoluol [99-99-0], 202-808-0									H		
NMA s. N-(hydroxymethyl)acrylamid											
Nonadecafluordecansäure [335-76-2], 206-400-3 Ammoniumnonadecafluor-decanoat [3108-42-7], 221-470-5 Natriumnonadecafluordecanoat [3830-45-3]	2		1B Lact	2							
Nonylphenol [25154-52-3], 246-672-0	–	–	2	2							
4-Nonylphenol, verzweigt [84852-15-3], 284-325-5	–	–	2	2							
Norfluran s. 1,1,1,2-Tetrafluorethan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Octabromdiphenylether [32536-52-0], 251-087-9	–	–	1B	2							
1,2,4,5,6,7,8,8-Octachlor-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoindan s. Chlordan (ISO)											
Octadecan-1-ol [112-92-5], 204-017-6						aufgehoben (2019)					
Octadecyl-3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionat [2082-79-3], 218-216-0						20 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2016)	
Octamethylcyclotetrasiloxan [556-67-2], 209-136-7	–	–	–	2							
Octan (alle Isomeren außer Trimethylpentanisomere) [111-65-9, 540-84-1, 560-21-4, 563-16-6,564-02-3, 565-75-3, 583-48-2, 584-94-1, 589-43-5, 589-53-7, 589-81-1, 590-73-8, 592-13-2, 592-27-8, 594-82-1, 609-26-7, 619-99-8, 1067-08-9, 26635-64-3]						2 400	500	2 (II)	AGW	DFG (2004)	
Octan-1-ol [111-87-5], 203-917-6						54	10	1 (I)	AGW Y, 11	AGS, DFG (2019)	
2-Octyl-2H-isothiazol-3-on [26530-20-1], 247-761-7					Sh	0,05 E		2 (I)	AGW H, Y	DFG (2000)	
4-tert-Octylphenol s. 4-(1,1,3,3-Tetramethylbutyl) phenol											
n-Octylzinnverbindungen						0,01	0,002	2 (II)	AGW H, Y, 10, 11	AGS, DFG (2014)	
Olaquindox [23696-28-8], 245-832-7	**2**	**1B**	–	**2**	Sh						
Oleylsarkosin s. (Z)-N-Methyl-N-(1-oxo-9-octadecenyl)glycin											
Orthoborsäure, Natriumsalz [13840-56-7], 237-560-2			1B	1B		0,5 E		2 (I)	AGW Y, 10	AGS (2007)	
Orthophosphorsäure [7664-38-2], 231-633-2						2 E		2 (I)	AGW Y	AGS, DFG, EU (2007)	
Oxadiargyl [39807-15-3], 254-637-6			2								
Oxalsäure [144-62-7], 205-634-3						1 E		1 (I)	AGW H, 13	EU (2007)	
7-Oxa-3-oxiranylbicyclo[4.1.0] heptan s. 1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclohexan											
Oxidationsbitumen: Dampf und Aerosol bei der Heißverarbeitung von Oxidationsbitumen	**1B**	**2**	–	–		s. Bitumen			H		
Oxiran s. Ethylenoxid											
Oxiranmethanol, 4-methylbenzolsulfonat, (S)- [70987-78-9], 417-210-7	1B	2			Sh						
3-Oxoandrost-4-en-17-beta-carbonsäure [302-97-6], 414-990-0				2							
4,4'-Oxy-bis-benzolamin s. 4,4'-Oxydianilin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,2'-(Oxybis(methylen))bisoxiran s. Diglycidylether											
4,4'-Oxydianilin [101-80-4], 202-977-0	1B	1B	–	2					H		
2,2'-Oxydiethanol s. Diethylenglykol											
Oxydipropanol [25265-71-8], 246-770-3						100 E		2 (II)	AGW Y, 11	DFG (2016)	
Ozon [10028-15-6], 233-069-2	**2**	–	–	–							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Paclobutrazol (ISO) [76738-62-0]			2								
Palmöl s. Triglyceride											
Paraffine, chlorierte s. Chloralkane											
Paraformaldehyd und 2-Hydroxypropylamin (Verhältnis 3:2); Reaktionsprodukte von; [aus 3,3'-Methylenbis[5-methyloxazolidin freigesetztes Formaldehyd] [aus Oxazolidin freigesetztes Formaldehyd]; [MBO]	1B	2			Sh				H		
Paraformaldehyd und 2-Hydroxypropylamin (Verhältnis 1:1); Reaktionsprodukte von; [aus α,α,α-Trimethyl-1,3,5-triazin-1,3,5(2H,4H,6H)-triethanol freigesetztes Formaldehyd]; [HPT]	1B	2			Sh						
* Paraquatdichlorid [1910-42-5], 217-615-7						aufgehoben (2023)			H		
* Parathion (ISO) [56-38-2], 200-271-7						aufgehoben (2023)			H		BGW
Passivrauchen am Arbeitsplatz s. Abschnitt 1.4	**1A**	**2**	**1A**	–							
PCP s. Pentachlorphenol											
Penconazol (ISO) [66246-88-6], 266-275-6			2								
Pendimethalin (ISO) [40487-42-1], 254-938-2			2								
Penflufen s. 5-Fluor-1,3-dimethyl-N-[2-(4-methylpentan-2-yl)phenyl]-1H-pyrazol-4-carboxamid											
* Pentaboran [19624-22-7], 243-194-4						aufgehoben (2024)					
Pentacarbonyleisen [13463-40-6], 236-670-8						0,81	0,1	2 (I)	AGW H	DFG (2012)	
Pentachlorethan [76-01-7], 200-925-1	2								(H)		
Pentachlorphenol [87-86-5], 201-778-6	**1B** 2	**2**	**1B**	–					H		
– Salze von (außer Alkalisalze)	**1B**								H		
– Alkalisalze von	**1B** 2								H		
Pentadecafluoroctansäure s. Perfluoroctansäure											
Pentakalium-2,2',2'',2''',2''''-(ethan-1,2-diylnitrilo)pentaacetat [7216-95-7], 404-290-3			1B								
n-Pentan [109-66-0], 203-692-4						3 000	1 000	2 (II)	AGW Y	DFG, EU (2009)	
iso-Pentan s. Isopentan											
tert-Pentan s. Dimethylpropan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Pentanatrium(carboxylatomethyl)iminobis(ethylennitrilo)-tetraacetat [140-01-2], 205-391-3			1B								
Pentan-2,3-dion [600-14-6], 209-984-8					Sh	0,083	0,02	1 (II)	AGW H	DFG (2017)	
Pentan-2,4-dion (Acetylaceton) [123-54-6], 204-634-0						126	30	2 (II)	AGW H, Y	AGS (2007)	
Pentanole (alle Isomere) Pentan-1-ol [71-41-0], 200-752-1 Pentan-2-ol [6032-29-7], 227-907-6 Pentan-3-ol [584-02-1], 209-526-7 2-Methylbutan-1-ol [137-32-6], 205-289-9 3-Methylbutan-1-ol [123-51-3], 204-633-5 3-Methylbutan-2-ol [598-75-4], 209-950-2 2-Methylbutan-2-ol [75-85-4], 200-908-9 2,2-Dimethylpropanol [75-84-3], 200-907-3 Isomerengemische [30899-19-5]; [94624-12-1], 250-378-8						73	20	2 (I)	AGW Y	DFG (2023) EU	
1-Pentylacetat [628-63-7], 211-047-3						270	50	1 (I)	AGW Y	DFG, EU (2000)	
3-Pentylacetat [620-11-1]						270	50	1 (I)	AGW	DFG, EU (2000)	
Perborsäure ($H_3BO_2(O_2)$), Mononatriumsalz-Trihydrat [13517-20-9] Perborsäure, Natriumsalz-Tetrahydrat [37244-98-7] Perborsäure ($HBO(O_2)$), Natriumsalz-Tetrahydrat Natriumperoxoborat-Hexahydrat [10486-00-7]			1B	2							
Perchlorbutadien s. 1,1,2,3,4,4-Hexachlor-1,3-butadien											
Perchlorethylen s. Tetrachlorethen											
Perfluorheptansäure [375-85-9], 206-798-9			1B								
Perfluornonan-1-säure [375-95-1], 206-801-3 und ihre Natrium- [21049-39-8] und Ammoniumsalze [4149-60-4]	2		1B Lact	2							
Perfluoroctansäure [335-67-1], 206-397-9	2		1B Lact						(H)		BGW
Perfluoroctansäure, anorganische Salze											BGW
Perfluoroctansulfonsäure [1763-23-1], 217-179-8	2		1B Lact			0,01 E		8 (II)	AGW H, Z	DFG (2011)	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Perfluoroctansulfonsäureverbindungen: Kaliumperfluoroctansulfonat, Kaliumheptadecafluoroctan-1-sulfonat [2795-39-3], 220-527-1 Diethanolaminperfluoroctansulfonat [70225-14-8], 274-460-8 Ammoniumperfluoroctansulfonat, Ammoniumheptadecafluoroctansulfonat [29081-56-9], 249-415-0 Lithiumperfluoroctansulfonat, Lithiumheptadecafluoroctansulfonat [29457-72-5], 249-644-6	2		1B Lact								BGW
PHC s. Propoxur											
Phenol [108-95-2], 203-632-7	–	2	–	–		8	2	2 (II)	AGW H, 11	EU (2013)	BGW
Phenol, dodecyl-, verzweigt; [121158-58-5], 310-154-3 Phenol, 2-dodecyl-, verzweigt; Phenol, 3-dodecyl-, verzweigt; Phenol, 4-dodecyl-, verzweigt; [210555-94-5] Phenol, (tetrapropenyl) Derivate [74499-35-7]				1B							
Phenol, isopropyliert, Phosphat (3:1) [68937-41-7], 273-066-3						1 E		2 (II)	AGW	DFG (2016)	
Phenolphthalein [77-09-8], 201-004-7	1B	2		2							
2-Phenoxyethanol [122-99-6], 204-589-7						5,7	1	1 (I)	AGW Y, 11	DFG (2018)	
4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin s. Chrysoidin											
4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin-dihydrochlorid 4-(Phenylazo)benzol-1,3-diamin-monoacetat 4-Phenylazophenylen-1,3-diamin-monohydrochlorid s. Chrysoidinmonohydrochlorid											
1-Phenylazo-2-naphthol s. C.I. Solvent Yellow 14											
Phenylbenzol s. Biphenyl											
(4-Phenylbutyl)phosphinsäure [86552-32-1], 420-450-5	2										
4,4'-(1,3-Phenylen-bis(1-methylethyliden))bisphenol [13595-25-0], 428-970-4				2	Sh						
o-Phenylendiamin [95-54-5], 202-430-6	2	2	–	–	Sh				H		
o-Phenylendiamin-dihydrochlorid [615-28-1], 210-418-7	2	2	–	–	Sh				H		
m-Phenylendiamin [108-45-2], 203-584-7	–	2	–	–	Sh				H		
m-Phenylendiamin-dihydrochlorid [541-69-5], 208-790-0	–	2	–	–	Sh				H		

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
p-Phenylendiamin [106-50-3], 203-404-7	–	–	–	–	Sh	0,1 E		2 (II)	AGW H, Y, 11	DFG (2013)	
(R)-α-Phenylethylammonium-(-)-(1R, 2S)-(1,2-epoxypropyl)-phosphonatmonohydrat [25383-07-7], 418-570-8				2							
Phenylglycidether s. 1,2-Epoxy-3-phenoxypropan											
Phenylglycidylether s. 1,2-Epoxy-3-phenoxypropan											
Phenylhydrazin [100-63-0], 202-873-5	1B	2	–	–	Sh				H		
Phenylhydrazinhydrochlorid [27140-08-5], 248-259-0	1B	2	–	–	Sh				H		
Phenylhydraziniumchlorid [59-88-1], 200-444-7	1B	2	–	–	Sh				H		
Phenylhydraziniumsulfat, 2:1 [52033-74-6], 257-622-2	1B	2	–	–	Sh				H		
Phenylisocyanat [103-71-9], 203-137-6					Sa	0,05	0,01	1 (I)	AGW 12	AGS (2007)	
N-Phenyl-2-naphthylamin [135-88-6], 205-223-9	2				Sh				(H)		
4-Phenyl-nitrobenzol s. 4-Nitrobiphenyl											
Phenyloxiran s. Styroloxid											
Phenylphosphin [638-21-1], 211-325-4						0,05	0,01		AGW	AGS (2000)	
trans-4-Phenyl-L-prolin [96314-26-0], 416-020-1				2	Sh						
2-Phenylpropen s. Isopropenylbenzol											
Phenylzinnverbindungen						0,002 E	0,0004	2 (II)	AGW H, Y, 10, 11	AGS, DFG (2014)	
Phosdrin s. Mevinphos											
Phosgen [75-44-5], 200-870-3						0,41	0,1	2 (I)	AGW Y	AGS, DFG, EU (2009)	
Phosmet (ISO) [732-11-6], 211-987-4				2							
Phosphamidon [13171-21-6], 236-116-5		2							H		
Phosphin [7803-51-2], 232-260-8						0,14	0,1	2 (II)	AGW Y	DFG, EU (2011)	
Phosphor, weiß/gelb [12185-10-3], 601-810-2						0,01 E		2 (II)	AGW Y	AGS (2008)	
Phosphoroxidchlorid [10025-87-3], 233-046-7						0,13	0,02	1 (I)	AGW Y	DFG, EU (2016)	
Phosphorpentachlorid [10026-13-8], 233-060-3						1 E		1 (I)	AGW 11	DFG, EU (2013)	
Phosphorpentasulfid s. Diphosphorpentasulfid											
Phosphorpentoxid (als Orthophosphorsäure) [1314-56-3], 215-236-1						2 E		2 (I)	AGW Y	AGS, DFG, EU (2007)	
Phosphorsäure s. Orthophosphorsäure											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Phosphorsäuretrimethylester s. Trimethylphosphat											
Phosphortrichlorid [7719-12-2], 231-749-3						0,57	0,1	1 (I)	AGW Y	DFG (2016)	
Phosphorwasserstoff s. Phosphin											
Phosphoryltrichlorid s. Phosphoroxidchlorid											
Phoxim (ISO) [14816-18-3], 238-887-3				2	Sh						
m-Phthalsäure [121-91-5], 204-506-4						5 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2013)	
p-Phthalsäure [100-21-0], 202-830-0						5 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2013)	
Pikrinsäure s. 2,4,6-Trinitrophenol											
Pinoxaden (ISO) 243973-20-8			2		Sh						
Piperazin [110-85-0], 203-808-3			2	2	S	0,1		1 (I)	AGW 6, 11, 13	EU (2013)	
Piperazinhydrochlorid [6094-40-2], 228-042-7 Piperazindihydrochlorid [142-64-3], 205-551-2 Piperazinphosphat [1951-97-9], 217-775-8			2	2	S						
3-(Piperazin-1-yl)-benzo[d]isothiazolhydrochlorid [87691-88-1], 421-310-6				2	Sh						
* 2-Piperidinoethanol [3040-44-6], 221-244-6					Sh	11	2	1 (I); =2,5=	AGW	DFG (2022)	
Pirimicarb (ISO) [23103-98-2], 245-430-1	2				Sh						
Platin (Metall) [7440-06-4], 231-116-1						1 E			AGW 13	EU (2007)	
PMDI s. Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat, Polymer											
Polyalphaolefine z.B. [68649-12-7]						5 A		4 (II)	AGW Y	DFG (2011)	
Polychlorierte Biphenyle s. Chlorierte Biphenyle											
Polyethylenglykole (PEG 200-600) [25322-68-3], 500-038-2						200 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2019)	
Polysulfide, Di-tert-dodecyl- [68425-15-0], 270-335-7						5 A		4 (II)	AGW Y	DFG (2018)	
Polyvinylchlorid [9002-86-2]						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe s. Abschnitt 1.4											EKA
Polyhexamethylenbiguanidhydrochlorid [27083-27-8], 32289-58-0	2				Sh						
Portlandzement (Staub) [65997-15-1], 266-043-4						aufgehoben (2014)					
Profoxydim [139001-49-3]	2		2		Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	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)	AGW	DFG (2004)	
Propan-1,2-diyldinitrat s. Propylenglykoldinitrat											
Propan-2-ol [67-63-0], 200-661-7						500	200	2 (II)	AGW Y	DFG (2001)	BGW
2-Propanol, Herstellung von Starke-Säure-Verfahren	1A										
3-Propanolid s. β-Propiolacton											
1,3-Propansulton [1120-71-4], 214-317-9	1B								H		
Propargit [2312-35-8], 219-006-1	2										
Propargylalkohol (Prop-2-in-ol) [107-19-7], 203-471-2						4,7	2	2 (I)	AGW H	DFG (2000)	
Propazin [139-40-2], 205-359-9	2										
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											
Propiconazol (ISO) [60207-90-1], 262-104-4			1B		Sh						
β-Propiolacton (1,3-) (3-Propanolid) [57-57-8], 200-340-1	1B								(H)		
Propionsäure [79-09-4], 201-176-3						31	10	2 (I)	AGW Y	DFG, EU (2011)	
* Propoxur (ISO) [114-26-1], 204-043-8						aufgehoben (2023)					
2-Propoxyethanol s. 2-(Propyloxy)ethanol											
2-Propoxyethylacetat s. 2-(Propyloxy)-ethylacetat											
iso-Propylalkohol s. 2-Propanol											
Propylallyldisulfid s. Allylpropyldisulfid											
iso-Propylamin s. 2-Aminopropan											
iso-Propylbenzol s. Cumol											
2-Propylbromid s. 2-Brompropan											
Propylencarbonat [108-32-71], 203-572-1 S-: [51260-39-0], R-: [16606-55-6]						8,5	2	1 (I)	AGW Y, 11	DFG (2019)	
Propylendichlorid s. 1,2-Dichlorpropan											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Propylenglykoldinitrat [6423-43-4], 229-180-0						0,069	0,01	1 (II)	AGW H, Y, 7, 11	DFG (2018)	
Propylenglykol-2-methylether s. 2-Methoxy-1-propanol											
Propylenglykol-2-methylether-1-acetat s. 2-Methoxy-propylacetat-1											
Propylenglykol-1-mono-methyl-ether s. 1-Methoxy-2-propanol											
Propylenglykol-1-mono-methyl-ether-2-acetat s. 2-Methoxy-1-methylethylacetat											
Propylenimin (2-Methylaziridin) [75-55-8], 200-878-7	1B								H		
1,2-Propylenoxid s. 1,2-Epoxypropan											
Propylenthioharnstoff [2122-19-2]			2								
iso-Propylether s. Di-isopropylether											
iso-Propylglycidylether [4016-14-2], 223-672-9	–	**2**	–	–					H		
n-Propylglykol s. 2-(Propyloxy)ethanol											
n-Propylglykolacetat s. 2-(Propyloxy)ethylacetat											
2-(Propyloxy)ethanol [2807-30-9], 220-548-6						43	10	2 (I)	AGW H, Y	DFG (2019)	
* 2-(Propyloxy)ethylacetat [20706-25-6]						61	10	2 (I)	AGW H, Y, 11	DFG (2024)	
Proquinazid (ISO) [189278-12-4]	2										
PVC s. Polyvinylchlorid											
Pydiflumetofen s. N-Methoxy-N-[1-methyl-2-(2,4,6-trichlorphenyl)- ethyl]-3-(difluormethyl)-1-methylpyrazol-4-carboxamid											
Pymetrozin [123312-89-0]	2		2	2							
Pyrethrin I [121-21-1], 204-455-8						s. Pyrethrum			H		
Pyrethrin II [121-29-9], 204-462-6						s. Pyrethrum			H		
Pyrethrum (gereinigter Rohextrakt) [8003-34-7], 232-319-8 Rohextrakt					Sh	1 E		1 (I)	AGW Y	AGS, EU (2007)	
Pyridin-2-thiol-1-oxid, Natriumsalz [3811-73-2], 223-296-5 [15922-78-8], 240-062-8					Sh	0,2 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2019)	
3-Pyridyl-N-methylpyrrolidin s. Nikotin											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Pyriofenon s. (5-Chlor-2-methoxy-4-methyl-3-pyridyl)-(4,5,6-trimethoxy-o-tolyl)methanon											
Pyrogallol [87-66-1], 201-762-9		2							H		
Pyrolyseprodukte aus org. Material s. Abschnitt 1.4	**1A** od. **1B**										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Quarz [14808-60-7], 238-878-4 s. Abschnitt 1.4						0,05 A		8	BM	AGS (2016) TRGS 559	
Quecksilber [7439-97-6], 231-106-7			1B		Sh	0,02		8 (II)	AGW H	DFG, EU (2011)	BGW
Quecksilberdichlorid [7487-94-7], 231-299-8		2		2	Sh	s. Quecksilberverbindungen, anorganische			H		BGW
Quecksilberverbindungen, anorganische					Sh	0,02 E		8 (II)	AGW H, 10	DFG, EU (2011)	BGW
Quinoclamin (ISO) [2797-51-5], 220-529-2	2		2		Sh						
Quinolin [91-22-5], 202-051-6	1B	2							H		
Quizalofop-P-tefuryl (ISO) s. (±)-Tetrahydrofurfuryl-(R)-2-[4-(6-chlorchinoxalin-2-yloxy)-phenyloxy]propanoat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Rapsöl s. Triglyceride											
Resorcin s. 1,3-Dihydroxybenzol											
Resorcin-bis(2,3-epoxypropyl)-ether s. Diglycidylresorcinether											
Resorcinoldiglycidylether s. m-1,3-Bis(2,3-epoxypropoxy)-benzol											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Safrol s. 5-Allyl-1,3-benzodioxol											
Salicylsäure [69-72-7], 200-712-3			2								
Salpetersäure [7697-37-2], 231-714-2						2,6	1		AGW 13, 16	EU (2007)	
Salzsäure s. Chlorwasserstoff											
* Schwefeldioxid [7446-09-5], 231-195-2						1,3	0,5	2 (I)	AGW Y, 42	(AGS), EU (2024)	
* Schwefelhexafluorid [2551-62-4], 219-854-2						30 000	5 000	8 (II)	AGW Y	DFG (2023)	
Schwefelkohlenstoff s. Kohlenstoffdisulfid											
Schwefel-Lost s. 2,2‘-Dichlordiethylsulfid											
Schwefelsäure [7664-93-9], 231-639-5						0,1 E		1 (I)	AGW Y	DFG, EU (2011)	
Schwefelwasserstoff [7783-06-4], 231-977-3						7,1	5	2 (I)	AGW Y	AGS, DFG, EU (2011)	
Sedaxan s. N-{2-[[1,1’-Bi(cyclopropyl)]-2-yl]-phenyl}-3-(difluor-methyl)-1-methyl-1H-pyrazol-4-carboxamid											
Selen [7782-49-2], 231-957-4						0,05 E		1 (II)	AGW (H), Y	DFG (2007)	BGW
Selenverbindungen, anorganische						0,05 E		1 (II)	AGW (H), Y, 10	DFG (2007)	BGW
Selenwasserstoff s. Dihydrogenselenid											
Senfgas s. 2,2‘-Dichlordiethylsulfid											
Sepiolith (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	**2**										
Silber [7440-22-4], 231-131-3						0,1 E		8 (II)	AGW	DFG, EU (2002)	
Silberverbindungen, anorganische						0,01 E		2 (I)	AGW 10	DFG, EU (2002)	
Silber-Zink-Zeolith (Zeolith, Linde Typ A, Oberfläche mit Silber- und Zinkionen modifiziert) [Dieser Eintrag betrifft Zeolith vom Typ LTA (Linde Typ A), dessen Oberfläche mit Silber- und Zinkionen mit einem Gehalt von Ag^+ 0,5 % - 6 %, Zn_2 + 5 % - 16 % und möglicherweise Phospor, NH^{4+}, Mg^{2+} und/oder Ca^{2+} jeweils < 3 % modifiziert wurde.] [130328-20-0]			2								
Siliciumcarbid (faserfrei) [409-21-2], 206-991-8						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Siliciumcarbidfasern (mit Durchmesser < 3 µm, Länge > 5 µm und Seitenverhältnis ≥ 3:1) [409-21-2; 308076-74-6], 206-991-8	1B i										
Simazin [122-34-9], 204-535-2	2										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Sojaöl s. Triglyceride											
Spirodiclofen (ISO) 148477-71-8	1B			2	Sh						
Spirotetramat (ISO) [203313-25-1]			2	2	Sh						
Spiroxamin (ISO) [118134-30-8]			2		Sh				H		
Stickstoffdioxid [10102-44-0], 233-272-6						0,95	0,5	2 (I)	AGW 22a	EU (2016)	
Stickstoff-Lost s. N-Methyl-bis(2-chlorethyl)amin											
Stickstoffmonoxid [10102-43-9], 233-271-0						2,5	2	2 (II)	AGW 22b	AGS, EU (2019)	
Stickstoffwasserstoffsäure (Hydrogenazid) [7782-79-8], 231-965-8						0,18	0,1	2 (I)	AGW	DFG (2000)	
Strontiumchromat [7789-06-2], 232-142-6	1B					s. Chrom(VI)-Verbindungen					EKA
Styrol [100-42-5], 202-851-5			2			86	20	2 (II)	AGW Y	DFG (2001)	BGW
Styroloxid [96-09-3], 202-476-7	1B								H		
Sulcotrione (ISO) [99105-77-8]			2		Sh						
Sulfallat (ISO) [95-06-7], 202-388-9	1B										
4,4'-Sulfonyldiphenol [80-09-1], 201-250-5			1B	1B							
Sulfonsäuren, Erdöl-, Calciumsalze [61789-86-4], 263-093-9						5 A		4 (II)	AGW	DFG (2015)	
Sulfotep (ISO) [3689-24-5], 222-995-2						0,13	0,01	2 (II)	AGW H, Y, 11	DFG, EU (2013)	
Sulfuryldifluorid [2699-79-8], 220-281-5						10			AGW	AUS-NL (2004)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4,5-T s. 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure											
Talkfasern s. Abschnitt 1.4 s. Faserstäube, anorganische	**2**										
Tantal [7440-25-7], 231-135-5						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
TCDD s. 2,3,7,8-Tetrachlor-dibenzo-p-dioxin											
TDI s. Diisocyanattoluol (2,4- und 2,6-)											
Tebuconazol (ISO) [107534-96-3], 403-640-2			2								
TEDP s. Sulfotep											
TEGDME s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
Tellur [13494-80-9], 236-813-4			1B Lact	2							
Tellurdioxid [7446-07-3], 231-193-1			1B Lact	2							
Tembotrion (ISO) [335104-84-2]			2		Sh						
TEOS s. Tetraethylorthosilikat											
* TEPP (ISO) [107-49-3], 203-495-3						aufgehoben (2023)			H		
Tepraloxydim (ISO) [149979-41-9]	2		2	2							
Terephthalsäure s. p-Phthalsäure											
Terphenyl, hydriert [61788-32-7], 262-967-7						19 E	2	2,5 (II)	AGW	EU (2017)	
1,4,5,8-Tetraaminoanthrachinon [2475-45-8], 219-603-7	1B	–	–	–	Sh						
Tetrabordinatriumheptaoxid, Hydrat [12267-73-1], 235-541-3			1B	1B		0,5 E		2 (I)	AGW Y, 10	AGS (2007)	
* Tetrabrombisphenol-A 2,2‘,6,6’-Tetrabrom-4,4’-isopropylidenediphenol [79-94-7], 201-236-9	1B								(H)		
Tetra-n-butylzinn [1461-25-2], 215-960-8						0,009	0,0018	1 (I)	AGW H, Y, 10, 11	AGS (2014)	
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				2							
2,4,5,6-Tetrachlorbenzo-1,3-dinitril s. Chlorthalonil											
2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin [1746-01-6], 217-122-7	**1B**								(H)		
1,1,1,2-Tetrachlor-2,2-difluorethan (R 112a) [76-11-9], 200-934-0						1700	200	2 (II)	AGW	DFG (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1,1,2,2-Tetrachlor-1,2-difluorethan (R 112) [76-12-0], 200-935-6						1700	200	2 (II)	AGW	DFG (2002)	
1,1,2,2-Tetrachlorethan [79-34-5], 201-197-8	**2**	**2**	–	–		7	1	2 (II)	AGW H	AGS, DFG (2021)	
Tetrachlorethen [127-18-4], 204-825-9	2	–	**2**	–		69	10	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2017)	BGW EKA
Tetrachlorethylen s. Tetrachlorethen											
Tetrachlorisophthalsäuredinitril s. Chlorthalonil											
Tetrachlorkohlenstoff s. Tetrachlormethan											
Tetrachlormethan [56-23-5], 200-262-8	2					3,2	0,5	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2009)	BGW
α,α,α,4-Tetrachlortoluol s. 4-Chlorbenzotrichlorid											
Tetradecanol [112-72-1], 204-000-3						aufgehoben (2019)					
Tetradecylammoniumbis(1-(5-chlor-2-oxidophenylazo)-2-naphtholato)chromat(1-) [88377-66-6], 405-110-6						10 E		2 (II)	AGW 18	AGS (2009)	
Tetraethylblei s. Bleitetraethyl											
Tetraethyldiphosphat s. TEPP											
O,O,O,O-Tetraethyldithio-diphosphat (TEDP) s. Sulfotep											
Tetraethylenglycoldimethylether s. Bis(2-(2-methoxyethoxy)ethyl)-ether											
Tetraethylorthosilikat (TEOS) [78-10-4], 201-083-8						12	1,4	1 (I)	AGW	AGS, EU (2010)	
2,3,5,6-Tetrafluorbenzyl-(1R,3S)-3-(2,2-dichlorvinyl)-2,2-dimethyl-cyclopropancarboxylat s. Transfluthrin (ISO)											
1,1,1,2-Tetrafluorethan [811-97-2], 212-377-0						4 200	1 000	8 (II)	AGW Y	DFG (2002)	
Tetrafluorethylen [116-14-3], 204-126-9	1B										
trans-1,3,3,3-Tetrafluorpropen [29118-24-9], 471-480-0						4700	1 000	2 (II)	AGW Y	DFG (2016)	
2,3,3,3-Tetrafluorpropen [754-12-1], 616-220-0						950	200	2 (II)	AGW Y	DFG (2016)	
N,N,N‘,N‘-Tetraglycidyl-4,4‘-diamino-3,3‘-diethyl-diphenyl-methan [130728-76-6], 410-060-3		2			Sh						
Tetrahydro-1,3-dimethyl-1H-pyrimidin-2-on [7226-23-5], 230-625-6				2							
* Tetrahydrofuran [109-99-9], 203-726-8	2					60	20	2 (I)	AGW H, Y	DFG, EU (2024)	BGW
Tetrahydrofurfurylalkohol [97-99-4], 202-625-6			1B	2							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
(±)-Tetrahydrofurfuryl-(R)-2-[4-(6-chlorchinoxalin-2-yloxy)phenyloxy]propanoat [200509-41-7], 414-200-4	2		2	2							
Tetrahydro-2-furylmethanol s. Tetrahydrofurfurylalkohol											
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)											
Tetrahydro-1,3,4,6-tetrakis-(hydroxymethyl)imidazo(4,5-d)-imidazol-2,5(1H,3H)-dion s. Tetramethylolacetylendiharnstoff											
Tetrahydrothiophen [110-01-0], 203-728-9						180	50	1 (I)	AGW H, Y	DFG (2008)	
Tetrahydrothiopyran-3-carboxaldehyd [61571-06-0], 407-330-8			1B								
Tetrakis(hydroxymethyl)-phosphoniumchlorid; Reaktionsprodukt mit Harnstoff und destilliertem hydriertem C_{16-18}-Talgalkylamin [166242-53-1], 422-720-8	2				Sh						
Tetramethrin (ISO) [7696-12-0], 231-711-6	2										
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 $ZnCl_2$	–	**2**	–	–							
2,2‘-((3,5‘,5,5‘-Tetramethyl-(1,1‘-biphenyl)-4,4‘-diyl)bis(oxymethylen))bisoxiran [85954-11-6], 413-900-7	2				Sh						
Tetramethylblei s. Bleitetramethyl											
4-(1,1,3,3-Tetramethylbutyl)-phenol [140-66-9], 205-426-2						4	0,5	1 (I)	AGW 11	DFG (2016)	
Tetramethyldiamino-benzophenon s. Michlers Keton											
Tetramethyldiamino-diphenylacetimin-Hydrochlorid s. Auramin											
N,N,N‘,N‘-Tetramethyl-4,4‘-diaminodiphenylmethan, N,N,N‘,N‘-Tetramethyl-4,4‘-methylendianilin s. 4,4‘-Methylen-bis(N,N-dimethylanilin)											
N,N,N’,N’-Tetramethyl-4,4’-methylendianilin [101-61-1], 202-959-2	1B										
* Tetramethylolacetylendiharnstoff [5395-50-6], 226-408-0					Sh	0,5 E	0,046	2 (I)	AGW Y, 11	DFG (2023)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tetramethylorthosilikat [681-84-5], 211-656-4						2	0,3	1 (I)	AGW	AGS (2005)	
Tetramethylsuccinnitril [3333-52-6]						1		2 (II)	AGW	AGS (2007)	
2,4,6,8-Tetramethyl-1,3,5,7-tetraoxacyclooctan s. Metaldehyd (ISO)											
Tetramethylthiuramdisulfid s. Thiram											
Tetramethylzinn [594-27-4], 209-833-6						0,005	0,001	4 (II)	AGW H, 10, 11	DFG (2015)	
3,3‘,4,4‘-Tetramino-biphenyl s. 3,3‘-Diaminobenzidin											
Tetranitromethan [509-14-8], 208-094-7	**1B**								(H)		
Tetra-n-octylzinn [3590-84-9], 222-733-7						0,01	0,002	2 (II)	AGW H, Y, 10, 11	AGS, DFG (2014)	
Tetraphosphor s. Phosphor gelb/weiß											
Tetryl s. N-Methyl-2,4,6,N-tetranitroanilin											
Textilfasern mit WHO-Abmessungen s. Faserstäube, anorganische	**1B**										
TGIC s. Triglycidylisocyanurat											
Thancat AN 20 s. 2-(2-[2-Hydroxyethoxy]ethyl)-2-azabicyclo[2.2.1]heptan											
Theophyllin [58-55-9], 200-385-7			1B								
Thiabendazol (ISO) [148-79-8], 205-725-8						20 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2010)	
Thiacloprid (ISO) [111988-49-9]	2		1B	1B							
Thiamethoxam (ISO) [153719-23-4], 428-650-4			2	2							
2-(Thiazol-4-yl)benzimidazol s. Thiabendazol (ISO)											
Thioacetamid [62-55-5], 200-541-4	1B										
Thiocarbamid s. Thioharnstoff											
4,4‘-Thiodianilin und seine Salze [139-65-1], 205-370-9	1B								H		
p,p‘-Thiodianilin s. 4,4‘-Thiodianilin											
Thiodiethylenbis(3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionat) [41484-35-9], 255-392-8						2 E		2 (II)	AGW	DFG (2018)	
Thioglykolate					Sh	2 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2013)	
Thioharnstoff [62-56-6], 200-543-5	2	–	2	–							
Thiophanat-Methyl (ISO) [23564-05-8], 245-740-7	2	2			Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2-Thiourea s. Thioharnstoff											
Thiram [137-26-8], 205-286-2					Sh	1 E		2 (II)	AGW 6	DFG (2013)	
THU s. Thioharnstoff											
Titandioxid [13463-67-7], 236-675-5 *) karzinogen bei Einatmen: gilt nur für Pulverform mit mindestens 1 % Partikel mit aerodynamischem Durchmesser ≤ 10 µm	2 *)					s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
TNT s. 2,4,6-Trinitrotoluol											
Tobiassäure s. 2-Amino-1-naphthalinsulfonsäure											
o-Tolidin s. 3,3'-Dimethylbenzidin											
Tolpyralat s. (RS)-1-{1-Ethyl-4-[4-mesyl-3-(2-methoxyethoxy)-o-toluoyl]-pyrazol-5-yloxy}ethylmethylcarbonat											
o-Toluidin [95-53-4], 202-429-0	1B					0,5	0,1		AGW H, X, 11, 28, 30	EU (2018)	
p-Toluidin [106-49-0], 203-403-1	2	–	–	–	Sh	4,46	1	2 (II)	AGW H, 36	EU (2020)	
p-Toluidiniumchlorid [540-23-8], 208-740-8	2				Sh				H		
p-Toluidinsulfat [540-25-0], 208-741-3	2				Sh				H		
Toluol [108-88-3], 203-625-9	–	–	2	–		190	50	2 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2021)	BGW
2,4-Toluylendiamin [95-80-7], 202-453-1	1B	2		2	Sh				H		EKA
2,4-Toluylendiaminsulfat [65321-67-7], 265-697-8	1B				Sh				H		
2,6-Toluylendiamin s. 2-Methyl-m-phenylendiamin											
2,4-Toluylendiisocyanat s. 2,4-Diisocyanattoluol											
2,6-Toluylendiisocyanat 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-(tolyloxy)propan											
Toxaphen s. Camphechlor											
Tralkoxydim (ISO) [87820-88-0]	2										
* Transfluthrin (ISO) [118712-89-3], 405-060-5	2										
Tremolit s. Asbest											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Triadimenol (ISO) [55219-65-3], 259-537-6			1B Lact								
2,4,6-Triamino-1,3,5-triazin s. Melamin											
Triammonium-6-amino-3-((2,5-diethoxy-4-(3-phosphonophenyl)-azo)phenyl)azo-4-hydroxy-2-naphthalensulfonat; Diammonium-3-((4-((7-amino-1-hydroxy-3-sulfo-naphthalen-2-yl)azo)-2,5-diethoxyphenyl)azo)-benzoat, Gemisch aus 438-310-7				2							
Triammonium-4-[4-[7-(4-carboxylatoanilino)-1-hydroxy-3-sulfonato-2-naphthylazo]-2,5-dimethoxyphenylazo]benzoat [221354-37-6], 432-270-4				2							
1,2,4-Triazol [288-88-0], 206-022-9			1B	1B							
1H-1,2,4-Triazol-3-ylamin s. Amitrol											
Tribleibis(orthophosphat) [7446-27-7], 231-205-5			1A	2		s. Bleiverbindungen					BGW
Tribrommethan [75-25-2], 200-854-6	**2**										
Tri-n-butylphosphat [126-73-8], 204-800-2	2					11	1	2 (II)	AGW H, Y, 11	DFG (2013)	
Tributyl-Zinnverbindungen, soweit in dieser Liste nicht gesondert aufgeführt			1B	1B					H		
Tri-n-butylzinnverbindungen			1B	1B		0,009	0,0018	1 (I)	AGW H, Z, 10, 11	AGS (2014)	
Trichlorbenzol (alle Isomeren außer 1,2,4-) [12002-48-1], 234-413-4						38	5	2 (II)	AGW H, Y	DFG (2009)	
1,2,4-Trichlorbenzol [120-82-1], 204-428-0	–	–	–	–		3,8	0,5	4 (II)	AGW (H)	AGS, EU (2005)	
1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan s. DDT											
2,3,4-Trichlor-1-buten [2431-50-7], 219-397-9	**1B** 2								(H)		
Trichloressigsäure [76-03-9], 200-927-2 Natriumtrichloracetat, s. dort						1,4	0,2	1 (I)	AGW Y	DFG (2016)	
1,1,1-Trichlorethan [71-55-6], 200-756-3						550	100	1 (II)	AGW H, Y	DFG, EU (2019)	BGW
1,1,2-Trichlorethan [79-00-5], 201-166-9	2	–	–	–		5,5	1	2 (I)	AGW H	DFG (2020)	
Trichlorethen [79-01-6], 201-167-4	1B	2				33 33	6 6	8 (II)	AK TK H	AGS (2019) TRGS 910	ÄBM EKA
Trichlorethylen s. Trichlorethen											
Trichlorfluormethan (R 11) [75-69-4], 200-892-3						5 700	1 000	2 (II)	AGW Y	DFG (2002)	
Trichlormethan [67-66-3], 200-663-8	**1B** 2	**2**	2	–		2,5	0,5	2 (II)	AGW H, X, Y	DFG, EU (2007)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
1-Trichlormethylbenzol s. α,α,α-Trichlortoluol											
Trichlormethylstannan [993-16-8], 213-608-8			2			s. Methylzinnverbindungen					
N-(Trichlormethylthio)phthalimid; Folpet [133-07-3], 205-088-6	2				Sh						
* Trichlornitromethan [76-06-2], 200-930-9						aufgehoben (2023)					
2-Trichloromethylsulfanyl-3a,4,7,7a-tetrahydroisoindole-1,3-dione s. Captan											
2,4,6-Trichlorphenol [88-06-2], 201-795-9	2										
2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (2,4,5-T) [93-76-5], 202-273-3						aufgehoben (2013)					
1,2,3-Trichlorpropan [96-18-4], 202-486-1	1B	**2**	–	1B					H		
α,α,α-Trichlor-4-chlortoluol s. 4-Chlorbenzotrichlorid											
2,4,6-Trichlor-1,3,5-triazin [108-77-0], 203-614-9					Sh	0,0076	0,001	2 (I)	AGW Y, 11	DFG (2021)	
α,α,α-Trichlortoluol [98-07-7], 202-634-5 s. auch α-Chlortoluole	1B					0,0015 0,015	0,18 ppb 1,8 ppb	8 (II)	AK TK H, 11	AGS (2018) TRGS 910	
1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluorethan (R 113) [76-13-1], 200-936-1						3 900	500	2 (II)	AGW	DFG (2002)	
Tridecafluorheptansäure s. Perfluorheptansäure											
Tridemorph [24602-86-6], 246-347-3			1B								
Tridymit s. Quarz											
Triethanolamin s. 2,2‘,2‘‘-Nitrilotriethanol											
Triethylamin [121-44-8], 204-469-4						4,2	1	2 (I)	AGW H, 6	DFG, EU (2002)	
Triethylarsenat [15606-95-8], 427-700-2	1A					s. Arsensäuresalze					
1,2,4-Triethylbenzol [877-44-1], 212-892-0						34	5	2 (II)	AGW H, 11	DFG (2018)	
Triethylenglykol s. 2,2‘-(Ethylendioxy)diethanol											
Triethylenglykol-dimethylether s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
Trifloxystrobin (ISO) [141517-21-7]			Lact		Sh						
Triflumizol (ISO) [68694-11-1]			1B		Sh						
Trifluorbrommethan s. Bromtrifluormethan											
Trifluoriodmethan [2314-97-8], 219-014-5		2	–								
* 4,4’-[2,2,2-Trifluor-1-(trifluormethyl)ethyliden]diphenol [1478-61-1], 216-036-7				1B							

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
* Reaktionsmasse aus 4,4'- [2,2,2-Trifluor-1-(trifluormethyl)ethyliden]diphenol und Benzyl(diethylamino)diphenylphosphonium-4-[1,1,1,3,3,3-hexafluor-2-(4-hydroxyphenyl)-propan-2-yl] phenolat (1:1)				1B							
* Reaktionsmasse aus 4,4'- [2,2,2-Trifluor-1-(trifluormethyl) ethyliden]diphenol und Benzyltriphenylphosphonium, Salz mit 4,4'-[2,2,2-Trifluor- 1-(trifluormethyl)ethyliden]-diphenol (1:1)				1B							
Trifluralin (ISO) (enthält < 0,5 ppm NPDA) [1582-09-8], 216-428-8	2				Sh						
Triflusulfuron-methyl [126535-15-7]	2										
* Triglyceride: Lardöl [8016-28-2], 232-405-5 Palmöl [8002-75-3], 232-316-1 Rapsöl [8002-13-9], 232-299-0 Sojaöl [8001-22-7], 232-274-4						5 A		4 (II)	AGW Y	DFG (2022)	
Triglycidylisocyanurat [2451-62-9], 219-514-3	–	1B	–	**2**	Sh						
Triglyme s. 1,2-Bis(2-methoxyethoxyethan)											
1,2,3-Trihydroxybenzol s. Pyrogallol											
Triisobutylphosphat [126-71-6], 204-798-3					Sh	50		2 (II)	AGW 11	AGS (2013)	
Triisooctyl-2,2',2''-((methylstannylidin)tris(thio))triacetat [54849-38-6], 259-374-0						1	0,2	2 (II)	AGW Z, 10, 11	DFG (2015)	
Trimellitsäureanhydrid (Rauch) s. Benzol-1,2,4-tricarbonsäure-1,2-anhydrid											
Trimethylamin [75-50-3], 200-875-0						4,9	2	2 (I); =2,5=	AGW Y, 6	DFG, EU (2017)	
2,4,5-Trimethylanilin [137-17-7], 205-282-0 -hydrochlorid [21436-97-5]	1B	–	–	–					H		
1,2,3-Trimethylbenzol [526-73-8], 208-394-8						100	20	2 (II)	AGW Y	DFG, EU (2001)	BGW
1,2,4-Trimethylbenzol [95-63-6], 202-436-9						100	20	2 (II)	AGW Y	DFG, EU (2001)	BGW
1,3,5-Trimethylbenzol s. Mesitylen											
3,5,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on [78-59-1], 201-126-0	2	–	–	–		11	2	2 (I)	AGW H, Y, 11	DFG (2013)	
Trimethylphosphat [512-56-1], 208-144-8	**2**	**1B**							(H)		
Trimethylpropan-tri(3-aziridinylpropanoat), (TAZ) [52234-82-9], 257-765-0		2			Sh						
Trimethylzinnverbindungen						0,005	0,001	4 (II)	AGW H, 10, 11	DFG (2015)	

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Trinatrium-[4'-(8-acetylamino-3,6-disulfonato-2-naphthylazo)-4''-(6-benzoylamino-3-sulfonato-2-naphthylazo)-biphenyl-1,3',3'',1'''-tetraolato-O,O',O'',O''']kupfer(II) [164058-22-4], 413-590-3	1B										
Trinatriumbis(7-acetamido-2)-(4-nitro-2-oxidophenylazo)-(3-sulfonato-1-naphtholato)-chromat(1-) 400-810-8		2									
Trinatriumnitriltriacetat [5064-31-3], 225-768-6	2					2 E		4 (II)	AGW Y, 35	DFG (2020)	
2,4,7-Trinitrofluoren-9-on [129-79-3], 2049650	**2**										
2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure) [88-89-1], 201-865-9						0,1 E		1 (I)	AGW H, 13	EU (2007)	
2,4,6-Trinitrophenyl-methyl-nitramin s. N-Methyl-2,4,6-N-tetranitroanilin											
2,4,6-Trinitrotoluol (und Isomeren in technischen Gemischen) [118-96-7], 204-289-6	**2**				Sh	0,1	0,01	2 (II)	AGW H	AGS (2016)	
Tri-n-octylzinnverbindungen						0,01	0,002	2 (II)	AGW H, Y, 10, 11	AGS, DFG (2014)	
1,3,5-Trioxan [110-88-3], 203-812-5	–	–	2	–							
Trioxymethylen s. 1,3,5-Trioxan											
Triphenylphosphat [115-86-6], 204-112-2						12,5 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2021)	
Triphenylphosphin [603-35-0], 210-036-0					Sh	5 E		2 (II)	AGW Y	DFG (2011)	
O,O,O-Triphenylthiophosphat [597-82-0], 209-909-9						20 E		2 (II)	AGW	DFG (2021)	
Triphenylzinnacetat s. Fentinacetat											
Triphenylzinnhydroxid s. Fentinhydroxid											
1,3,5-Tris(3-aminomethylethyl-phenyl)-1,3,5-(1H,3H,5H)-triazin-2,4,6-trion und Oligomerengemisch 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	1B		1B		Sh						
Tris[2-chlor-1-(chlormethyl)ethyl]-phosphat [13674-87-8], 237-159-2	2										
Tris(2-chlorethyl)phosphat) [115-96-8], 204-118-5	**1B** 2	–	–	1B							
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		1B			Sh						

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Tris(2-methoxyethoxy)vinylsilan [1067-53-4], 213-934-0			1B	1B							
N,N',N'-Tris(2-methyl-2,3-epoxypropyl)perhydro-2,4,6-oxo-1,3,5-triazin [26157-73-3], 435-010-8		2									
Trimethylolpropantriacrylat [15625-89-5], 239-701-3	2				Sh						
1,3,5-Tris(oxiranylmethyl)-1,3,5-triazin-2,4,6(1H,3H,5H)-trion s. Triglycidylisocyanurat											
2,4,6-Tri-tert-butylphenol [732-26-3], 211-989-5			1B		Sh						
Triticonazol (ISO) [138182-18-0]				2							
Tri-o-tolylphosphat, Summe aller o-Isomere [78-30-8], 201-103-5						0,015	0,001	8 (II)	AGW H, 11	DFG (2020)	
Tritolylphosphat, Isomere, frei von o-Isomeren [78-32-0], 201-105-6 [563-04-2], 209-241-8 [1330-78-5], 215-548-8						5 E		2 (II)	AGW H, Y	DFG (2021)	
Trixylylphosphat [25155-23-1], 246-677-8				1B							
Trizinat s. Blei-2,4,6-trinitroresorcinat											
Urethan s. Ethylcarbamat											

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Valifenalat [283159-90-0]	2										
Valinamid [20108-78-5], 402-840-7				2	Sh						
Vanadiumverbindungen, anorganische, 4+- und 5+wertige (z. B. Divanadiumpentaoxid)						0,005 A 0,030 E		1 (I)	AGW Y, 10, 21	AGS (2015)	
Vanadiumpentoxid [1314-62-1], 215-239-8	1B	2	2 Lact	2		s. Vanadiumverbindungen					
Vinclozolin [50471-44-8], 256-599-6	2		1B	1B	Sh						
Vinylacetat [108-05-4], 203-545-4	2					36	10	1 (I); =2=	AGW H, Y	DFG, EU (2020)	
Vinylbromid s. Bromethylen											
Vinylbutyrolactam s. N-Vinyl-2-pyrrolidon											
9-Vinylcarbazol [1484-13-5], 216-055-0	–	2	–	–	Sh				H		
Vinylchlorid [75-01-4], 200-831-0	1A					2,6	1	8 (II)	AGW X	AGS, EU (2019)	
4-Vinylcyclohexen [100-40-3], 202-848-9	2	–	–	**2**					(H)		
4-Vinyl-1,2-cyclohexendiepoxid s. 1-Epoxyethyl-3,4-epoxycyclohexan											
Vinylidenchlorid s. 1,1-Dichlorethen											
Vinylidenfluorid s. 1,1-Difluorethen											
1-Vinylimidazol [1072-63-5], 214-012-0			1B								
N-Vinyl-2-pyrrolidon [88-12-0], 201-800-4	2	–	–	–		0,025	0,005	2 (II)	AGW H, Y, 11	AGS (2018)	
Vinyltoluol (alle Isomeren) [25013-15-4], 246-562-2						98	20	2 (I)	AGW	DFG (2017)	
Vitamin-K-Antagonisten											BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
Warfarin [81-81-2], 201-377-6			1A			0,02 E	0,0016	8 (II)	AGW H, Z, 11	DFG (2012)	
Warfarinnatrium [129-06-6], 204-929-4						0,02 E		8 (II)	AGW H, Z	DFG (2012)	
Wasserstoffperoxid [7722-84-1], 231-765-0						0,71	0,5	1 (I)	AGW Y	DFG (2022)	
(+)-Weinsäure [87-69-4], 201-766-0						2 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2016)	
Weißes Mineralöl (Erdöl) [8042-47-5], 232-455-8						5 A		4 (II)	AGW Y	DFG (2015)	
Whisker, künstlich hergestellte anorganische einkristalline Fasern aus: - Aluminiumoxid - Kaliumtitanaten - Siliziumcarbid s. Faserstäube, anorganische	**1B**										
Wollastonit (WHO-Fasern) s. Faserstäube, anorganische	–										

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
2,4-Xylidin (2,4-Dimethylanilin) [95-68-1], 202-440-0	**2**								H		
2,6-Xylidin [87-62-7], 201-758-7	2	–	–	–					H		
Xylol (alle Isomere) [1330-20-7], 215-535-7 [95-47-6], 202-422-2 [108-38-3], 203-576-3 [106-42-3], 203-396-5						220	50	2 (II)	AGW H	DFG, EU (2020)	BGW

Stoffidentität CAS-Nr., EG-Nr.	Einstufung/Bewertung					Beurteilungsmaßstab/Grenzwert					Werte im biologischen Material
	K	M	R_D	R_F	S	mg/m³	ml/m³	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen	Herkunft (Jahr)	
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10
* Zinkbis(dipentyldithiocarbamat) [15337-18-5], 239-370-5						5 A 10 E		4 (II) 8 (II)	AGW	DFG (2023)	
Zinkchromate einschließlich Zinkkaliumchromat	1A				Sh	s. Chrom(VI)-Verbindungen					EKA
Zink-Pyrithion [13463-41-7], 236-671-3			1B								
Zinn(II)-Verbindungen, anorganische						8 E			AGW 10	AGS, EU (2007)	
Zinn(IV)-Verbindungen, anorganische						2 E			AGW 10, 13	EU (2007)	
Ziram [137-30-4], 205-288-3					Sh	0,01 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2016)	
Zirkonium [7440-67-7], 231-176-9 und wasserunlösliche Verbindungen						aufgehoben				AGS (2020)	
Zirkoniumdioxid [1314-23-4]						s. Allgemeiner Staubgrenzwert					
Zitronensäure [77-92-9], 201-069-1						2 E		2 (I)	AGW Y	DFG (2018)	

1.2 Stoffspezifische Äquivalenzwerte in biologischem Material zur Akzeptanz- und Toleranzkonzentration nach TRGS 910

Arbeitsstoff [CAS-Nummer]	Parameter	Äquivalenzwert zur Toleranzkonzentration	Äquivalenzwert zur Akzeptanzkonzentration	Untersuchungsmaterial	Probenahmezeitpunkt
Acrylamid [79-06-1]	N-(2-Carbonamidethyl)-valin	800 pmol/g Globin [2]	400 pmol/g Globin	B_E	f
Acrylnitril [107-13-1]	N-(2-Cyanoethyl)valin	6 500 pmol/g Globin	650 pmol/g Globin	B_E	f
Arsenverbindungen, als Carc. 1A, 1B eingestuft	Σ Arsen(+III), Arsen(+V), Monomethylarsonsäure und Dimethylarsinsäure	40 µg/l	14 µg/l	U	b, c
Benzol [71-43-2]	Benzol	5 µg/l	0,8 µg/l [3]	U	b
	S-Phenylmerkaptursäure	25 µg/g Kreatinin	3 µg/g Kreatinin [3]	U	b
	trans, trans-Muconsäure	500 µg/g Kreatinin	–	U	b
1,3-Butadien [106-99-0]	3,4-Dihydroxybutyl-merkaptursäure (DHBMA)	2 900 µg/g Kreatinin	600 µg/g Kreatinin	U	b, c
	2-Hydroxy-3-butenyl-merkaptursäure (MHBMA)	80 µg/g Kreatinin	10 µg/g Kreatinin	U	b, c
Epichlorhydrin [106-89-8]	S-(3-Chlor-2-hydroxypropyl)-merkaptursäure	28 mg/g Kreatinin [4]	8 mg/g Kreatinin	U	b, c
Ethylenoxid [75-21-8]	N-(2-Hydroxyethyl)valin	3 900 pmol/g Globin [5]	#	B_E	f
Hydrazin [302-01-2]	Hydrazin	62 µg/g Kreatinin	[1]	U	b
	Hydrazin	47 µg/l	[1]	P	b
Trichlorethen [79-01-6]	Trichloressigsäure	12 mg/l	12 mg/l	U	b, c

1) *Extrapolation auf Grundlage der EKA-Korrelation (Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe, EKA) nicht zulässig*
2) *Äquivalenzwert zum AGW-analogen Wert (Neurotoxizität): 0,15 mg/m³, Überschreitungsfaktor 8*
3) *für Nichtraucher abgeleitet*
4) *Äquivalenzwert zum AGW-analogen Wert: 8 mg/m³ (2 ppm); Überschreitungsfaktor 2*
5) *Angabe in der MAK- und BAT-Werte-Liste in µg/l Vollblut; Umrechnung auf pmol/g Globin erfolgte unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Globingehaltes des Blutes von 144g/l*

\# *Extrapolation wird geprüft*

Abkürzungen und Symbole

* = *Änderung*

Untersuchungsmaterial:

B_E = *Erythrozytenfraktion des Vollblutes*
P = *Plasma*
U = *Urin*

Probenahmezeitpunkt:

b) Expositionsende, bzw. Schichtende
c) bei Langzeitexposition: am Schichtende nach mehreren vorangegangenen Schichten
f) nach mindestens 3 Monaten Exposition

1.3 Biologische Grenzwerte (BGW)

Abkürzungen:
Untersuchungsmaterial:

B = Vollblut
B_E = Erythrozytenfraktion des Vollblutes
P/S = Plasma/Serum
U = Urin
* = Änderung

Probenahmezeitpunkt:
a) keine Beschränkung
b) Expositionsende bzw. Schichtende
c) bei Langzeitexposition: am Schichtende nach mehreren vorangegangenen Schichten
d) vor nachfolgender Schicht
e) nach Expositionsende: ... Stunden
f) nach mindestens drei Monaten Exposition
g) unmittelbar nach Exposition
h) vor der letzten Schicht einer Arbeitswoche

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs-material	Probenahme-zeitpunkt
* Aceton [67-64-1]	Aceton	50 mg/l	U	b
Acetylcholinesterase-Hemmer	Acetylcholinesterase	Reduktion der Aktivität auf 70 % des Bezugswertes [1]	B_E	b, c
Aluminium [7429-90-5]	Aluminium	50 µg/g Kreatinin	U	c
Anilin [62-53-3]	Anilin (nach Hydrolyse)	500 µg/l [1]	U	b, c
Blei [7439-92-1]	Blei	150 µg/l	B	a
Bleitetraethyl [78-00-2]	Diethylblei	25 µg/l, als Pb berechnet	U	b
	Gesamtblei (gilt auch für Gemische mit Bleitetra-methyl)	50 µg/l	U	b
Bleitetramethyl [75-74-1]	Gesamtblei	50 µg/l	U	b
1-Butanol [71-36-3]	1-Butanol (nach Hydrolyse)	2 mg/g Kreatinin	U	d
	1-Butanol (nach Hydrolyse)	10 mg/g Kreatinin	U	b
2-Butanon [78-93-3]	2-Butanon	2 mg/l	U	b
2-Butoxyethanol [111-76-2]	Butoxyessigsäure (nach Hydrolyse)	150 mg/g Kreatinin	U	b, c
2-Butoxyethylacetat [112-07-2]	Butoxyessigsäure (nach Hydrolyse)	150 mg/g Kreatinin	U	b, c
4-tert-Butylphenol (ptBP) [98-54-4]	4-tert-Butylphenol (nach Hydrolyse)	2 mg/l	U	b
Chlorbenzol [108-90-7]	4-Chlorkatechol (nach Hydrolyse)	80 mg/g Kreatinin	U	b
Chlorierte Biphenyle (Gesamt-PCB) [1336-36-3]	Σ PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153, PCB 180	15 µg/l [2]	P	a
Cumol [98-82-8]	2-Phenyl-2-propanol (nach Hydrolyse)	10 mg/g Kreatinin	U	b
Cyclohexan [110-82-7]	1,2-Cyclohexandiol (nach Hydrolyse)	150 mg/g Kreatinin	U	b, c
1,2-Dichlorbenzol [95-50-1]	1,2-Dichlorbenzol	140 µg/l	B	g
	3,4- und 4,5-Dichlor-katechol (nach Hydrolyse)	150 mg/g Kreatinin	U	b, c

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs-material	Probenahme-zeitpunkt
1,4-Dichlorbenzol [106-46-7]	2,5-Dichlorphenol (nach Hydrolyse)	10 mg/l	U	b, c
Dichlormethan [75-09-2]	Dichlormethan	500 µg/l	B	g
* Diethylenglykoldimethyl-ether [111-96-6]	Methoxyessigsäure	15 mg/g Kreatinin	U	b, c
N,N-Dimethylacetamid [127-19-5]	N-Methylacetamid plus N-Hydroxymethyl-N-methylacetamid	25 mg/l	U	b, c
N,N-Dimethylformamid [68-12-2]	N-Methylformamid plus N-Hydroxymethyl-N-methylformamid	20 mg/l	U	b
	N-Acetyl-S-(methyl-carbamoyl)-L-cystein	25 mg/g Kreatinin	U	b, c
1,4-Dioxan [123-91-1]	2-Hydroxyethoxyessigsäure	200 mg/g Kreatinin	U	b
* 1,2-Epoxypropan [75-56-9]	N-(2-Hydroxypropyl)valin	1 300 pmol/g Globin	B_E	f
2-Ethoxyethanol [110-80-5]	Ethoxyessigsäure	50 mg/l	U	c
2-Ethoxyethylacetat [111-15-9]	Ethoxyessigsäure	50 mg/l	U	c
Ethylbenzol [100-41-4]	Mandelsäure plus Phenylglyoxylsäure	250 mg/g Kreatinin	U	b
Fluorwasserstoff [7664-39-3] und anorganische Fluor-verbindungen (Fluoride)	Fluorid	4 mg/l	U	b
Halothan [151-67-7]	Trifluoressigsäure	2,5 mg/l	B	b, c
n-Heptan [142-82-5]	Heptan-2,5-dion	250 µg/l	U	b
Hexachlorbenzol [118-74-1]	Hexachlorbenzol	150 µg/l	P/S	a
Hexamethylendiisocyanat [822-06-0]	Hexamethylendiamin (nach Hydrolyse)	15 µg/g Kreatinin	U	b
n-Hexan [110-54-3]	2,5-Hexandion plus 4,5-Dihydroxy-2-hexanon (nach Hydrolyse)	5 mg/l	U	b
Hexan-2-on [591-78-6]	2,5-Hexandion plus 4,5-Dihydroxy-2-hexanon (nach Hydrolyse)	5 mg/l	U	b
Kohlenmonoxid [630-08-0]	CO-Hb	5 % [1), 3)]	B	b
Kohlenstoffdisulfid [75-15-0]	2-Thiothiazolidin-4-carboxylsäure (TTCA)	4 mg/g Kreatinin [1)]	U	b
Lindan [58-89-9]	Lindan	25 µg/l	P/S	b
Methanol [67-56-1]	Methanol	15 mg/l	U	b, c
2-Methoxyethanol [109-86-4]	Methoxyessigsäure	15 mg/g Kreatinin	U	b
2-Methoxyethylacetat [110-49-6]	Methoxyessigsäure	15 mg/g Kreatinin	U	b
1-Methoxypropan-2-ol [107-98-2]	1-Methoxypropan-2-ol	15 mg/l	U	b
4-Methylpentan-2-on [108-10-1]	4-Methylpentan-2-on	0,7 mg/l	U	b

Arbeitsstoff	Parameter	BGW	Untersuchungs-material	Probenahme-zeitpunkt
N-Methylpyrrolidon [872-50-4]	5-Hydroxy-N-methyl-2-pyrrolidon	150 mg/l	U	b
Parathion [56-38-2]	p-Nitrophenol (nach Hydrolyse)	500 µg/l	U	c
	Acetylcholinesterase	Reduktion der Aktivität auf 70 % des Bezugswertes [1]	B_E	c
Perfluoroctansäure [335-67-1] und ihre anorganischen Salze	Perfluoroctansäure	5 mg/l	S	a
Perfluoroctansulfonsäure [1763-23-1] und ihre Salze	Perfluoroctansulfonsäure	15 mg/l	S	a
Phenol [108-95-2]	Phenol (nach Hydrolyse)	120 mg/g Kreatinin	U	b
Propan-2-ol [67-63-0]	Aceton	25 mg/l	B	b
	Aceton	25 mg/l	U	b
Quecksilber [7439-97-6], metallisches und anorganische Quecksilberverbindungen	Quecksilber	25 µg/g Kreatinin (30 µg/l Urin)	U	a
Selen [7782-49-2] und seine anorganische Verbindungen	Selen	150 µg/l	S	a
Styrol [100-42-5]	Mandelsäure plus Phenylglyoxylsäure	600 mg/g Kreatinin	U	b, c
Tetrachlorethen [127-18-4]	Tetrachlorethen	200 µg/l	B	e (16 h)
Tetrachlormethan [56-23-5]	Tetrachlormethan	3,5 µg/l	B	b, c
Tetrahydrofuran [109-99-9]	Tetrahydrofuran	2 mg/l	U	b
Toluol [108-88-3]	Toluol	600 µg/l	B	g
		75 µg/l	U	b
	o-Kresol (nach Hydrolyse)	1,5 mg/l	U	b, c
1,1,1-Trichlorethan [71-55-6]	1,1,1-Trichlorethan	275 µg/l	B	4 [4]
Trimethylbenzol (alle Isomeren): 1,2,3-Trimethylbenzol [526-73-8]; 1,2,4-Trimethylbenzol, [95-63-6]; 1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen) [108-67-8]	Dimethylbenzoesäuren (Summe aller Isomeren nach Hydrolyse)	400 mg/g Kreatinin	U	b, c
Vitamin K-Antagonisten	Quick-Wert	Reduktion auf nicht weniger als 70 % [1]	B	a
Xylol (alle Isomeren) [1330-20-7]	Methylhippur-(Tolur-)säure (alle Isomere)	2 000 mg/l	U	b

[1] Ableitung des BGW als Höchstwert wegen akut toxischer Effekte
[2] bis zu einer Konzentration von 3,5 µg PCB-Indikatorkongenere/l Plasma ist eine fruchtschädigende Wirkung nicht anzunehmen
[3] Gesonderte Bewertung für Raucher
[4] Vor nachfolgender Schicht, nach mehreren vorangegangenen Schichten

1.4 Besondere Stoffgruppen

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

(1) Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen die betreffenden Arbeitnehmer Hartholzstäuben ausgesetzt sind (siehe auch TRGS 553 „Holzstaub“ [19]).

Verzeichnis einiger Hartholzarten nach TRGS 906:

Afrikanisches Mahagony (Khaya)
Afrormosioa (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, bei denen die betreffenden Arbeitnehmer polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen ausgesetzt sind, die in Steinkohlenruß, Steinkohlenteer oder Steinkohlenteerpech vorhanden sind (siehe auch TRGS 551 „Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material“ [20]).

(3) Tätigkeiten, bei denen eine Exposition gegenüber Dieselmotoremissionen besteht (siehe auch TGRGS 554 „Abgase von Dieselmotoren“ [21].

(4) Herstellung von Auramin

(5) Tätigkeiten, bei denen die betreffenden Arbeitnehmer Staub, Rauch oder Nebel beim Rösten oder bei der elektrolytischen Raffination von Nickelmatte[1] ausgesetzt sind.

(6) Tätigkeiten, bei denen aufgrund eines Arbeitsverfahrens eine Exposition gegenüber Quarzfeinstaub besteht (siehe auch TRGS 559 „Quarzhaltiger Staub“ [22]).

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

(8) Tätigkeiten, bei denen dermale Exposition gegenüber Mineralölen besteht, die zuvor in Verbrennungsmotoren zur Schmierung und Kühlung der beweglichen Teile des Motors verwendet wurden.

Stoffgruppen, die in der TRGS 905 als krebserzeugend aufgeführt sind

- Krebserzeugende Azofarbstoffe
  Azofarbstoffe mit einer krebserzeugenden Aminkomponente (H350). Gemische von Azofarbstoffen mit krebserzeugender Aminkomponente der Kategorie 1A oder 1B 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 im Gemisch als krebserzeugend einzustufen (H350).

- Anorganische Faserstäube (außer Asbest) [2), 3)]

(1) Dieser Abschnitt gilt für anorganische Fasern (ausgenommen Asbest) mit einer Länge › 5 µm, einem Durchmesser ‹ 3 µm und einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von › 3:1 (WHO-Fasern).

(2) Die Bewertung der WHO-Fasern erfolgt nach den Kategorien für krebserzeugende Stoffe in Anhang I der CLP-Verordnung und für glasige Fasern zusätzlich auf der Grundlage des Kanzerogenitätsindexes (KI), der sich für die jeweils zu bewertenden WHO-Fasern aus der Differenz zwischen der Summe der Massengehalte (in v. H.) der Oxide von Natrium, Kalium, Bor, Calcium, Magnesium, Barium und dem doppelten Massengehalt (in v. H.) von Aluminiumoxid ergibt.

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

[1)] Nickelstein, hergestellt durch Sulfidierung von Ferronickel mit Schwefel
[2)] Zur Einstufung von Asbest und Erionit s. dort
[3)] Zur Ermittlung des KI-Wertes s. IFA-Arbeitsmappe, Kennzahl 7488

a) Glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex KI ≤ 30 werden in die Kategorie 1B eingestuft.

b) Glasige WHO-Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex KI > 30 und < 40 werden in die Kategorie 2 eingestuft.

c) Für glasige WHO-Fasern erfolgt keine Einstufung als krebserzeugend, wenn deren Kanzerogenitätsindex KI ≥ 40 beträgt.

Anmerkung
Die Nutzung des Kanzerogenitätsindexes KI zur Einstufung von WHO-Fasern als krebserzeugend kann dazu führen, dass WHO-Fasern mit einem KI kleiner 40 als krebserzeugend eingestuft werden, obwohl ein Kanzerogenitätsversuch nach Absatz 3 oder die Bestimmung der in vivo Biobeständigkeit nach Absatz 4 nicht zu einer Einstufung als krebserzeugend führen. Das bedeutet, dass WHO-Fasern, für die lediglich ein KI unter 40 vorliegt, vorsorglich als krebserzeugend einzustufen sind, obwohl weitere Prüfungen diese Einstufung widerlegen könnten.

Der KI ist jedoch ein preiswerter Test, mit dem alte Wollen, die vor 1996 eingebaut wurden, im Zweifelsfalle auf Kanzerogenität untersucht werden können. Alte Wollen mit WHO-Fasern, die einen KI größer 40 aufweisen, können aufgrund des KI als nicht krebserzeugend eingestuft werden. Für die Beurteilung alter Mineralwolle und die Festlegung von Schutzmaßnahmen im Rahmen von Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten ist die TRGS 521 heranzuziehen.

(3) Die Einstufung von WHO-Fasern kann durch einen Kanzerogenitätsversuch mit intraperitonealer Applikation, vorzugsweise mit Faserstäuben in einer arbeitsplatztypischen Größenverteilung, vorgenommen werden.

a) Wird für WHO-Fasern in einem Kanzerogenitätsversuch nach Satz 1 mit einer Dosis von 1 x 10^9 WHO-Fasern eine krebserzeugende Wirkung beobachtet, erfolgt eine Einstufung in Kategorie 1B. Dagegen erfolgt eine Einstufung in Kategorie 2, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

b) In letzterem Fall empfiehlt es sich, zusätzlich einen Kanzerogenitätsversuch nach Satz 1 mit einer Dosis von 5 x 10^9 WHO-Fasern durchzuführen. Wird bei dieser Dosis eine krebserzeugende Wirkung der Faserstäube nachgewiesen, wird die Einstufung in Kategorie 2 beibehalten. Dagegen erfolgt keine Einstufung der WHO-Fasern, wenn in diesem Kanzerogenitätsversuch keine krebserzeugende Wirkung beobachtet wurde.

(4) Die Einstufung von WHO-Fasern kann auch durch Bestimmung der in vivo-Biobeständigkeit erfolgen. Danach erfolgt eine Einstufung in die Kategorie 2 der krebserzeugenden Stoffe, wenn für WHO-Fasern nach intratrachealer Instillation von 4 x 0,5 mg Fasern in einer Suspension eine Halbwertzeit von mehr als 40 Tagen ermittelt wurde. Die WHO-Fraktion der instillierten Faserprobe sollte einen mittleren geometrischen Durchmesser von 0,6 µm oder mehr aufweisen. Faserproben mit kleinerem Durchmesser können geprüft werden, falls dies mit dem geringeren Durchmesser des Ausgangsmaterials begründet werden kann. Die Halbwertzeit sollte mit der nichtlinearen exponentiellen Regression gemäß ECB/TM27 rev. 7 berechnet werden. Falls nach den dort genannten Kriterien eine biphasige Eliminationskinetik zur Beschreibung der Retentionsdaten erforderlich ist, ist die Halbwertzeit der langsamen Eliminationsphase zur Bewertung heranzuziehen. Kriterien für die Einstufung in die Kategorie 1B liegen nicht vor.

(5) WHO-Fasern aus Erionit sind in die Kategorie 1A einzustufen.

(6) Folgende Typen von WHO-Fasern, für die positive Befunde aus Tierversuchen (inhalativ, intratracheal, intrapleural, intraperitoneal) vorliegen, werden derzeit in die Kategorie 1B eingestuft:

a) Attapulgit

b) Dawsonit

c) künstlich hergestellte anorganische einkristalline Fasern (Whisker) aus
   – Aluminiumoxid,
   – Kaliumtitanaten,
   – Siliciumcarbid.

(7) Alle anderen anorganischen Typen von WHO-Fasern werden in die Kategorie 2 eingestuft, wenn die vorliegenden tierexperimentellen Ergebnisse (einschließlich Daten zur Biobeständigkeit) für eine Einstufung in die Kategorie 1B nicht ausreichen. Dies betrifft derzeit folgende:

– Halloysit,
– Magnesiumoxidsulfat,
– Nemalith,
– Sepiolith,
– anorganische Faserstäube, soweit nicht erwähnt (ausgenommen Gipsfasern und Wollastonitfasern).

(8) Folgende Typen von WHO-Fasern sind derzeit nicht einzustufen:

- Gipsfasern,
- Wollastonitfasern.

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

- Passivrauchen am Arbeitsplatz
  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/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/Begruendungen-905-906.html. Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten am Arbeitsplatz werden durch das Arbeitsschutzgesetz und die Arbeitsstättenverordnung geregelt.

1.5 Literatur

[1] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (CLP-Verordnung). Ausgabe ABl. EU (2008) Nr. L 353, S. 1-1355; zul. geänd. Delegierte Verordnung (EU) 2024/197, ABl. EU Nr. L 2024/197

[2] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausgabe Januar 2006. BArBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55, zul. geänd. GMBl. (2024) Nr. 21, S. 411-412

[3] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Biologische Grenzwerte (BGW) (TRGS 903). Ausgabe Februar 2013. GMBl. (2013) Nr. 17, S. 364-372, zul. geänd. GMBl. (2024) Nr. 3-4, S. 35

[4] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe (TRGS 905). Ausgabe März 2016. GMBl. (2016) Nr. 19, S. 378-390, zul. geänd. GMBl. (2021) Nr. 41, S. 899

[5] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 2 Absatz 3 Nummer 4 GefStoffV (TRGS 906). Ausgabe April 2023. GMBl. (2023) Nr. 30, S. 634-635

[6] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis sensibilisierender Stoffe und von Tätigkeiten mit sensibilisierenden Stoffen (TRGS 907). Ausgabe November 2011. GMBl. (2011) Nr. 49-51, S. 1019

[7] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 910). Ausgabe Februar 2014. GMBl. (2014) Nr. 12, S. 258-270, zul. geänd. GMBl. (2023) Nr. 30, S. 627

[8] Richtlinie 2004/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Exposition gegenüber Karzinogenen, Mutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen bei der Arbeit. ABl. EG (2004) Nr. L 158, S. 50; zul. geänd. RL (EU) 2024/869, ABl. EU Nr. L 2024/869

[9] Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK- und BAT-Werte-Liste https://series.publisso.de/de/pgseries/overview/mak/lmbv

[10] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I (2010), S. 1643; zul. geänd. BGBl I (2021), S. 3115

[11] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. Erich Schmidt, Berlin www.IFA-ARBEITSMAPPEdigital.de

[12] „Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe“, Band 1 „Luftanalysen“, 14. Lieferung 2005, und „Spezielle Vorbemerkungen“, Kap. 4.7.1, S. 29-30, Wiley-VCH, Weinheim

[13] „Chlorierte Biphenyle (PCB)“, Air Monitoring Methods in German language, The MAK Collection for Occupational Health and Safety, (2014)

[14] Richtlinie (EU) 2017/2398 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2017 zur Änderung der Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit. ABl. EU (2017) Nr. L 345, S. 87-95

[15] Verordnung (EU) 2018/588 der Kommission vom 18. April 2018 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) in Bezug auf 1-Methyl-2-pyrrolidon. ABl. EU (2018) Nr. L 99, S. 3-6

[16] Richtlinie (EU) 2019/1831 der Kommission vom 24. Oktober 2019 zur Festlegung einer fünften Liste von Arbeitsplatz-Richtgrenzwerten in Durchführung der Richtlinie 98/24/EG des Rates und zur Änderung der Richtlinie 2000/39/EG der Kommission. ABl. EU (2019) Nr. L 279, S. 31-34

[17] Richtlinie (EU) 2019/130 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Januar 2019 zur Änderung der Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit. ABl. EU (2019) Nr. L 30, S. 112-120

[18] Richtlinie (EU) 2017/164 der Kommission vom 31. Januar 2017 zur Festlegung einer vierten Liste von Arbeitsplatz-Richtgrenzwerten in Durchführung der Richtlinie 98/24/EG des Rates und zur Änderung der Richtlinien 91/322/EWG, 2000/39/EG und 2009/161/EU der Kommission. ABl. EU (2017) Nr. L 27; S. 115-120

[19] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Holzstaub (TRGS 553). Ausgabe Juli 2022. GMBl. (2022) Nr. 42, S. 950-964

[20] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material (TRGS 551). Ausgabe August 2015. GMBl. (2015) Nr. 54, S. 1066-1083, zul. geänd. GMBl. (2016) Nr. 1, S. 8-10

[21] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Abgase von Dieselmotoren (TRGS 554). Ausgabe Januar 2019. GMBl. (2019) Nr. 6, S. 88-104

[22] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Quarzhaltiger Staub (TRGS 559). Ausgabe April 2020. GMBl. (2020) Nr. 16, S. 306-319, ber. GMBl. (2020) Nr. 19, S. 371

2 Gefahrstoffe in Innenräumen

2.1 Einführung und Erläuterungen

Die Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros gibt immer wieder Anlass zur Diskussion über die heranzuziehenden Beurteilungsmaßstäbe.

Die gesetzliche Grundlage für den Arbeitsschutz liefert das Arbeitsschutzgesetz [1]. Dessen Vorschriften werden auf der hierarchisch darunter liegenden Verordnungsebene durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [2] und durch spezielle Verordnungen wie die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [3] konkretisiert.

Im Allgemeinen dienen zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft Grenzwerte, die entsprechend dem jeweiligen Anwendungsbereich definiert sind. Für die in der Arbeitswelt vorkommenden gefährlichen Stoffe werden nach GefStoffV vom Ausschuss für Gefahrstoffe verbindliche Beurteilungsmaßstäbe wie Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) oder Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen vorgeschlagen (s. Kapitel 1). Diese gelten jedoch nur an solchen Arbeitsplätzen, an denen im Sinne der Gefahrstoffverordnung Tätigkeiten mit den betreffenden Gefahrstoffen durchgeführt werden oder diese bei den Tätigkeiten entstehen. Für die Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen können sie nicht herangezogen werden.

Stattdessen sind die allgemeinen Angaben zur Lüftung nach Anhang 3.6 der ArbStättV zu beachten. Demnach muss in Arbeitsräumen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein. Diese Forderung gilt nach der Technischen Regel für Arbeitsstätten (ASR) A 3.6 Lüftung [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 [5] geregelt.

Die für den Außenluftbereich festgelegten Immissionswerte oder andere Beurteilungswerte sind für den Innenraumbereich nicht ohne Weiteres anwendbar, da sie z. B. auf den Schutz empfindlicher Pflanzen oder Tiere und nicht auf den Schutz des Menschen ausgerichtet sein können. In der Praxis bereitet die Ermittlung der Außenluftqualität immer dann Probleme, wenn die Außenluft belastet ist und trotzdem als Vergleichsmaßstab für die Innenraumluft herangezogen werden soll.

Derzeit werden in Deutschland zur Beurteilung der Exposition an Innenraumarbeitsplätzen Werte sehr unterschiedlicher Art und Herkunft herangezogen. Diese Werte sind – anders als z. B. die AGW – nicht in einer einheitlichen verbindlichen Regel zusammengefasst und haben insbesondere auch keine einheitliche rechtliche Relevanz. So haben praktisch alle für Innenräume aufgestellten Werte lediglich den Charakter einer Empfehlung. Die wichtigsten für die Innenraumluft heranzuziehenden Beurteilungswerte werden im Folgenden vorgestellt. Eine Übersicht der zurzeit zur Verfügung stehenden Beurteilungswerte bietet die Tabelle der Beurteilungswerte für Gefahrstoffexposition in der Innenraumluft im Abschnitt 2.2.

Richtwerte des Ausschusses für Innenraumrichtwerte
Die allgemein für Innenräume einschließlich Wohnräume abgeleiteten gesundheitsbezogenen Richtwerte des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR, vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden) [6] erfüllen am ehesten die Kriterien für eine valide Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen. Dabei wird zwischen zwei Richtwerten (Vorsorge- und Gefahrenrichtwert) unterschieden:

Richtwert I (RW I – Vorsorgerichtwert) beschreibt die Konzentration eines Schadstoffes in der Innenraumluft, bei dessen Einhaltung oder Unterschreitung nach gegenwärtigem Forschungsstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist.

Ist der RW I überschritten, sollte allerdings aus Gründen der Vorsorge gehandelt werden. Gleichzeitig sollten Maßnahmen zur Minimierung der Schadstoffkonzentration ergriffen werden. Der RW I kann hiermit als Zielwert bei einer Sanierung dienen.

Richtwert II (RW II – Gefahrenrichtwert) ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Schadstoffes stützt. Er stellt die Konzentration eines Schadstoffes in der Innenraumluft dar, bei dessen Erreichen beziehungsweise Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Beim Überschreiten dieser Konzentration sind Schäden für die menschliche Gesundheit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit anzunehmen. Der Richtwert II steht im direkten Bezug zu den Bauordnungen der Länder, in denen es heißt: „Bauliche Anlagen müssen so beschaffen sein, dass Gefahren durch chemische, physikalische oder biologische Einflüsse nicht entstehen“ [6].

Im Gegensatz zu den auf acht Stunden bezogenen AGW handelt es sich bei diesen Richtwerten üblicherweise um Langzeitwerte (24 Stunden an sieben Tagen pro Woche), die auch für Kinder und Kranke gelten.

Risikobezogene Leitwerte für krebserzeugende Stoffe in der Innenraumluft
Für eine gesundheitliche Bewertung von krebserzeugenden Stoffen in der Innenraumluft nutzt der AIR zum einen Messdaten zum Vorkommen der Chemikalie in der Innenraumluft. Diese werden in Form des 95. Perzentils (auch Referenzwert genannt) erfasst und spiegeln damit eine sogenannte Hintergrundbelastung der Chemikalie in der Innenraumluft wider. Außerdem sind toxikologische und/oder epidemiologische Daten zur Exposition-Risiko-Beziehung erforderlich. Wenn eine relevante Studie zur Exposition-Risiko-Beziehung identifiziert ist, wird diejenige Konzentration des krebserzeugenden Stoffes in der Innenraumluft ermittelt, die nach lebenslanger Exposition mit einem theoretischen Krebsrisiko von 10^{-6} verbunden ist. Dies entspricht einem Erkrankungsfall pro 1 000 000 Personen. Diese errechnete Konzentration wird mit dem aktuellen Referenzwert aus den vorliegenden Innenraummessdaten verglichen. Liegt die aus der Exposition-Risiko-Beziehung abgeleitete Konzentration oberhalb des Referenzwertes, wird sie als risikobezogener Leitwert für die Bewertung verwendet. Ist die Konzentration des Referenzwertes mit einem höheren theoretischen Risiko als 10^{-6} verknüpft, wird ein vorläufiger Leitwert anhand des Referenzwertes in der Innenraumluft festgelegt [6].

Hygienische Leitwerte des AIR
Wenn praktische Erfahrungen wiederholt gezeigt haben, dass mit steigender Konzentration eines Innenraumschadstoffes die Wahrscheinlichkeit für Beschwerden oder nachteilige gesundheitliche Auswirkungen zunimmt, der Kenntnisstand aber nicht ausreicht, um rein toxikologisch begründete Richtwerte abzuleiten, werden vom AIR hygienische Leitwerte festgelegt. Zurzeit existieren hygienische Leitwerte für Feinstaub (Particulate Matter – PM 2,5), Kohlendioxid und Kohlenmonoxid [6].

Geruchsleitwerte für die Innenraumluft des AIR
Zur Überprüfung der Plausibilität von Beschwerden über eine Geruchsbelästigung stellt AIR sogenannte Geruchsleitwerte (GLW) für verschiedene geruchlich relevante Innenraumschadstoffe zur Verfügung. Bei Erreichen oder Überschreiten eines GLW wird ein abgestuftes Maßnahmenkonzept empfohlen, um die Geruchsbelastung zu minimieren [6].

EG-Richtlinien und Bundesimmissionsschutzrecht
Die Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa [7], die am 21. Mai 2008 zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt insgesamt verabschiedet wurde, schafft eine europaweit gültige Grundlage für die Beurteilung und Kontrolle der Außenluftqualität. In ihr sind Grenzwerte, Zielwerte sowie Informations- und Alarmschwellen für ausgewählte Luftschadstoffe festgelegt. Weitere Zielwerte enthält die Richtlinie 2004/107/EG [8] über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft.

Die Umsetzung der europäischen Richtlinien zur Luftqualität in deutsches Recht erfolgt durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz [5] sowie durch die 39. Bundesimmissionsschutzverordnung [9] (39. BImSchV).

WHO-Leitlinien (Air Quality Guidelines)
1987 stellte eine Arbeitsgruppe der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erstmals Leitlinien für die Luftqualität in Europa (Air Quality Guidelines for Europe – AQG) auf [10]. 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 2000 eine zweite Ausgabe heraus [11]. 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 ist kein Konzentrationswert angegeben, sondern nur das „unit risk“, das angibt, welches anteilige Krebsrisiko einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von meist 1 µg/m³ zuzuschreiben ist.

Neben den Leitlinien für die Europäische Union wurden im Jahre 2006 erstmals weltweit gültige Leitwerte für Staub, Ozon, Schwefeldioxid sowie Stickstoffdioxid herausgegeben [12]. Im September 2021 wurden nach einer systematischen Bestandsaufnahme der derzeit vorliegenden Erkenntnisse nahezu alle Leitwerte nach unten korrigiert, und zwar mit dem Hinweis, dass eine Überschreitung der neuen Richtwerte mit erheblichen Risiken für die Gesundheit verbunden ist [13].

Im Jahre 2009 veröffentlichte die WHO erstmals Leitlinien für die Innenraumluftqualität zum Schutz der öffentlichen Gesundheit vor Gesundheitsrisiken durch Feuchtigkeit und damit verbundenem Wachstum von Mikroorganismen [14]. Diese Leitlinien wurden im Jahre 2010 durch weitere Leitlinien für einige häufig in der Innenraumluft vorkommende Schadstoffe ergänzt [15].

Maximale Immissionskonzentrationen (MIK)
Die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL) erarbeitet Maximale Immissionswerte (d. h. Maximale Immissionskonzentrationen – MIK – und Maximale Immissionsraten) [16], „bei deren Einhaltung der Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen, Boden, Wasser, Atmosphäre sowie Kultur- und sonstigen Sachgütern nach derzeitigem Wissensstand und nach Maßgabe der dazugehörigen Kriterien gewährleistet ist“. In der folgenden Tabelle der Beurteilungswerte der Gefahrstoffexposition in der Innenraumluft werden nur diejenigen MIK genannt, die auf den Menschen bezogen abgeleitet wurden.

2.2 Tabelle der Beurteilungswerte für die Gefahrstoffexposition in der Innenraumluft

Hinweise: [a)] (I) = Innenluft; (A) = Außenluft

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Acetaldehyd [75-07-0]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
Aceton [67-64-1]	160	–	RW II (I)	AIR (2021) [6]	
	53	–	RW I (I)	AIR (2021) [6]	
	250	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Acetophenon [98-86-2]	220 µg/m³	–	RW II (I)	AIR (2022) [6]	
	66 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (2022) [6]	
	22 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Acrylnitril [107-13-1]	–	–	unit risk (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $2 \cdot 10^{-5}$.
Aldehyde (C_4- bis C_{11}; gesättigt, acyclisch, aliphatisch)	2,0	–	RW II (I)	AIR (2009) [6]	Bei diesen Werten handelt es sich um Summenrichtwerte.
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2009) [6]	
Alkane (C_9 bis C_{14}, aromatenarm)	2,0	–	RW II (I)	AIR (2005) [6]	Bei diesen Werten handelt es sich um Summenrichtwerte.
	0,20	–	RW I (I)	AIR (2005) [6]	Der RW I sollte auch Schutz vor Geruchsbelästigungen bieten.
Alkylbenzole (C_7 bis C_8)	–	–	RW II (I)	AIR (2016) [6]	Da alle C_7- bis C_8-Alkylbenzole neurotoxisch sind, führt der AIR eine Gesamtbewertung von Toluol, Ethylbenzol und Xylolen in der Innenraumluft durch. Dazu werden die Verhältnisse aus Konzentration und Richtwert jeder dieser Verbindungen aufsummiert. Die Gesamtrichtwerte I und II gelten als eingehalten, wenn die jeweilige Summe den Wert 1 unterschreitet.
	–	–	RW I (I)		
Alkylbenzole (C_9 bis C_{15})	1,0	–	RW II (I)	AIR (2012) [6]	Bei diesen Werten handelt es sich um Summenrichtwerte.
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2012) [6]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Arsen [7440-38-2]	6 ng/m³	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [8] 39. BImSchV [9]	Dieser Wert stellt den Gesamtgehalt an Arsen in der PM10-Fraktion dar.
	–	–	unit risk (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $1{,}5 \cdot 10^{-3}$.
Asbest [1332-21-4]	–	–	unit risk (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 500 Fasern/m³ (optisch gemessen) liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei 10^{-6} bis 10^{-5}, an einem Mesotheliom zu erkranken, bei 10^{-5} bis 10^{-4}.
Benzaldehyd [100-52-7]	0,20	–	RW II (I)	AIR (2010) [6]	Bei diesen Werten handelt es sich um vorläufige Richtwerte.
	0,020	–	RW I (I)	AIR (2010) [6]	
Benzo[a]pyren [50-32-8]	0,0008 µg/m³	-	risikobezogener Leitwert (I)	AIR (2021) [6]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen vorläufigen Leitwert.
	1 ng/m³	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [8] 39. BImSchV [9]	Der Wert stellt den Gesamtgehalt an Benzo[a]pyren in der PM_{10}-Fraktion dar.
	–	–	unit risk (I)	WHO Guidelines for Indoor Air Quality (2010) [15]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 ng/m³ BaP liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $8{,}7 \cdot 10^{-5}$.
Benzol [71-43-2]	4,5 µg/m³	–	risikobezogener Leitwert (I)	AIR (2020) [6]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen vorläufigen Leitwert.
	5 µg/m³	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	
	–	–	unit risk (I)	WHO Guidelines for Indoor Air Quality (2010) [15]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Leukämie zu erkranken, bei $6 \cdot 10^{-6}$.
Benzothiazol [95-16-9]	15 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (2020) [6]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen vorläufigen Richtwert.
	66 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Benzylalkohol [100-51-6]	4,0	–	RW II (I)	AIR (2010) [6]	
	0,40	–	RW I (I)	AIR (2010 [6]	
Blei [7439-92-1]	0,5 µg/m³	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	Dieser Wert stellt den Gesamtgehalt an Blei in der PM_{10}-Fraktion dar.
	0,5 µg/m³	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
Butanal [123-72-8]	2,0	–	RW II (I)	AIR (2009) [6]	siehe auch Aldehyde (C_4 bis C_{11}; gesättigt, acyclisch, aliphatisch)

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
1-Butanol [71-36-3]	2,0	–	RW II (I)	AIR (2014) [6]	
	0,70	–	RW I (I)	AIR (2014) [6]	
Butanonoxim [96-29-7]	60 µg/m³	–	RW II (I)	AIR (2015) [6]	
	20 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (2015) [6]	
	1,6	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Butansäure [107-92-6]	14 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Cadmium [7440-43-9]	5 ng/m³	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [8] 39. BImSchV [9]	Dieser Wert stellt den Gesamtgehalt an Cadmium in der PM_{10}-Fraktion dar.
	5 ng/m³	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Der Leitwert soll eine Erhöhung des Cadmiumgehalts in Agrarböden vermeiden, da vermutet wird, dass dies auch zu einer erhöhten Aufnahme in den Körper führt.
Caprolactam [105-60-2]	2,0	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
2-Chlorpropan [75-29-6]	8,0	–	RW II (I)	AIR (2015) [6]	
	0,80	–	RW I (I)	AIR (2015) [6]	
Chrom(VI)	–	–	unit risk (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $4 \cdot 10^{-2}$.
1,2-Dichlorethan [107-06-2]	1,0 µg/m³	–	risikobezogener Leitwert (I)	AIR (2018) [6]	Bei diesem Wert handelt es sich um einen vorläufigen Leitwert.
	0,7	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
Dichlormethan [75-09-2]	2,0	24-h-Mittelwert	RW II (I)	AIR (1997) [6]	
	0,20	–	RW I (I)	AIR (1997) [6]	
	3	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
	0,45	Wochenmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Diethylenglykolbutylether (DEGBE) [112-34-5]	1,0 0,40	– –	RW II (I) RW I (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
Diethylenglykoldimethylether (DEGDME) [111-96-6]	0,30 0,030	– –	RW II (I) RW I (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
Diethylenglykolmethylether (DEGME) [111-77-3]	6,0 2,0	– –	RW II (I) RW I (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
Diethylenglykolmonoethylether (DEGEE) [111-90-0]	2,0 0,70	– –	RW II (I) RW I (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
Diisocyanate	–	–	–	AIR (2000) [6]	Aufgrund der spezifischen Stoffeigenschaften und Anwendungsmodalitäten ist es nicht sinnvoll, für Diisocyanate Richtwerte für Kurzzeit- und Langzeit-Exposition abzuleiten. Generell sollte beim Verarbeiten Diisocyanathaltiger Produkte gut gelüftet werden.
1,4-Dimethylnaphthalin [571-58-4]	41 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Dipropylenglykol-1-methylether (D2PGME) [34590-94-8]	–	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
		–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
Essigsäure [64-19-7]	3,7	–	RW II (I)	AIR (2023) [6]	
	1,3	–	RW I (I)	AIR (2023) [6]	
	400 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Ethylacetat [141-78-6]	6,0	–	RW II (I)	AIR (2014) [6]	
	0,60	–	RW I (I)	AIR (2014) [6]	
Ethylbenzol [100-41-4]	2,0	–	RW II (I)	AIR (2012) [6]	siehe auch Alkylbenzole (C_7 bis C_8)
	0,20	–	RW I (I)	AIR (2012) [6]	
Ethylenglykolbutylether (EGBE) [111-76-2]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
Ethylenglykolbutyletheracetat (EGBEA) [112-07-2]	2,0	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	0,20	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
Ethylenglykolhexylether (EGHE) [112-25-4]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a]	Herkunft	Bemerkungen
Ethylenglykolmonoethylether (EGEE) [110-80-5]	1,0 0,10	– –	RW II (I) RW I (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
Ethylenglykolmonoethyletheracetat (EGEEA) [111-15-9]	2,0 0,20	– –	RW II (I) RW I (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
Ethylenglykolmonomethylether (EGME) [109-86-4]	0,20 0,020	– –	RW II (I) RW I (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
2-Ethylhexanol [104-76-7]	1,0 0,10 1,3	– – –	RW II (I) RW I (I) GLW (I)	AIR (2013) [6] AIR (2013) [6] AIR (2023) [6]	Hierbei handelt es sich um vorläufige Richtwerte.
Feinstaub ($PM_{2,5}$)	15 µg/m³ 25 µg/m³ 15 µg/m³ 5 µg/m³	24-h-Mittelwert Jahresmittelwert 24-h-Mittelwert Jahresmittelwert	hygienischer Leitwert (I) Grenzwert (A) Leitwert (I, A) Leitwert (I, A)	AIR (2021) [6] 39. BImSchV [9] AQG, WHO (2021) [13] AQG, WHO (2021) [13]	Der 24-h-Mittelwert gilt nur in reinen Wohninnenräumen in Abwesenheit innenraumspezifischer Staubquellen. siehe auch Abschnitt 2.3.3
Feinstaub (PM_{10})	50 µg/m³ 40 µg/m³ 45 µg/m³ 15 µg/m³	24-h-Mittelwert Jahresmittelwert 24-h-Mittelwert Jahresmittelwert	Grenzwert (A) Grenzwert (A) Leitwert (I, A) Leitwert (I, A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9] 2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9] AQG, WHO (2021) [13] AQG, WHO (2021) [13]	Dieser Wert darf nicht öfter als 35-mal im Jahr überschritten werden. siehe auch Abschnitt 2.3.3

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Fluorverbindungen	1 µg/m³	–	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Der Leitwert, der zum Schutz von Flora und Fauna dient, sollte auch zum Schutz des Menschen ausreichen.
Formaldehyd [50-00-0]	0,10	–	RW I (I)	AIR (2016) [6]	Der Richtwert sollte auch kurzzeitig, bezogen auf einen Messzeitraum von einer halben Stunde, nicht überschritten werden.
	0,1	30-min-Mittelwert	Leitwert (I)	WHO Guidelines for Indoor Air Quality (2010) [15]	Die Einhaltung dieses Wertes beugt Wirkungen auf die Lungenfunktion ebenso vor wie auch Krebs des Nasen-Rachenraums und myeloischer Leukämie.
2-Furaldehyd [98-01-1]	0,10	–	RW II (I)	AIR (2011) [6]	
	0,010	–	RW I (I)	AIR (2011) [6]	
Glycolether mit Ausnahme der namentlich genannten	0,050 ppm	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Bei diesen Werten handelt es sich um vorläufige Richtwerte für Glykolether mit unzureichender Datenlage. Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	0,0050 ppm	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
Hexanal [66-25-1]	26 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	s.a. Aldehyde (C4- bis C11; gesättigt, acyclisch, aliphatisch)
Hexansäure [142-61-1]	0,15	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Isopropylbenzol (Cumol) [98-82-8]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2012) [6]	siehe auch Alkylbenzole (C_9 bis C_{15})
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2012) [6]	
Keramikfasern	–	–	unit risk (I)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 Faser/l liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-6}$.
Kohlendioxid [124-38-9]	siehe Abschnitt 2.3.1				

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Kohlenmonoxid [630-08-0]	100	15-min-Mittelwert	hygienischer Leitwert (I)	AIR (2021) [6]	
	35	1-h-Mittelwert	hygienischer Leitwert (I)	AIR (2021) [6]	
	10	8-h-Mittelwert	hygienischer Leitwert (I)	AIR (2021) [6]	
	4	24-h-Mittelwert	hygienischer Leitwert (I)	AIR (2021) [6]	
	10	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages	Grenzwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	
	100	15-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
	35	1-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021 [13]	
	10	8-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
	4	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
Kohlenstoffdisulfid [75-15-0]	100 µg/m³	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
	20 µg/m³	½-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Hierbei handelt es sich um den Leitwert für die Geruchsbelästigung.
Kresole [1319-77-3]	50 µg/m³	–	RW II (I)	AIR (2012) [6]	
	5,0 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (2012) [6]	
	5,6 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	gültig für p-Kresol [106-44-5]
	3,2 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	gültig für m-Kresol [108-39-4]
Limonen [138-86-3]	10	–	RW II (I)	AIR (2010) [6]	siehe auch Terpene, monocyclische Monoterpene
	1,0	–	RW I (I)	AIR (2010) [6]	
Lindan [58-89-9]	1 µg/m³	–	Empfehlung (I)	ehemaliges Bundesgesundheitsamt 1993 [17]	Die Heranziehung dieses Wertes wird bei der Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen empfohlen. Der Wert ist nicht toxikologisch begründet, hat sich aber unter Vorsorgeaspekten praktisch bewährt.
Mangan [7439-96-5]	0,15 µg/m³	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Methanol [67-56-1]	40	60-min-Mittelwert	RW II (I)	AIR (2022) [6]	
	13	60-min-Mittelwert	RW I (I)	AIR (2022) [6]	
Methansäure [64-18-6]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2023) [6]	
	0,51	–	RW I (I)	AIR (2023) [6]	
Methylisobutylketon [108-10-1]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
Methylmethacrylat [80-62-6]	2,1	–	RW II (I)	AIR (2021) [6]	
	1,1	–	RW I (I)	AIR (2021) [6]	
1-Methylnaphthalin [90-12-0]	15 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	s.a. Naphthalin
2-Methylnaphthalin [91-57-6]	8,9 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	s.a. Naphthalin
1-Methyl-2-pyrrolidon [872-50-4]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2014) [6]	
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2014) [6]	
Naphthalin [91-20-3]	30 µg/m³	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Diese Richtwerte können vorläufig auch als Summenwert für die Gesamtgruppe der bi- und tricyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe verwendet werden.
	10 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
	0,01	Jahresmittelwert	Leitwert (I)	WHO Guidelines for Indoor Air Quality (2010) [15]	Der Langzeit-Leitwert soll mögliche bösartige Erkrankungen der Atemwege verhindern.
	7,3 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
Nickel [7440-02-0]	20 ng/m³	Jahresmittelwert	Zielwert (A)	2004/107/EG [8] 39. BImSchV [9]	Dieser Wert stellt den Gesamtgehalt an Nickel in der PM_{10}-Fraktion dar.
	–	–	unit risk (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, bei $4 \cdot 10^{-4}$.
Nonanal [124-19-6]	15 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Ozon [10028-15-6]	120 µg/m³	höchster 8-h-Mittelwert eines Tages	Zielwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	Dieser Wert darf an höchstens 25 Tagen pro Jahr überschritten werden.
	100 µg/m³	8-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	Der Durchschnitt der maximalen 8-Stunden-Mittelwerte soll in sechs aufeinander folgenden Monaten einen Wert von 60 µg/m³ nicht überschreiten.
	120 µg/m³	½-h-Mittelwert	MIK (A)	VDI 2310 Blatt 15 (2001) [18]	Dieser Wert gilt für Wohngebiete.
	100 µg/m³	8-h-Mittelwert	MIK (A)	VDI 2310 Blatt 15 (2001) [18]	Dieser Wert gilt für Wohngebiete.
Pentachlorphenol [87-86-5]	1,0 µg/m³	–	RW II (I)	AIR (1997) [6]	
	0,10 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (1997) [6]	
Phenol [108-95-2]	0,20	–	RW II (I)	AIR (2011) [6]	
	0,020	–	RW I (I)	AIR (2011) [6]	
	77 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
2-Phenoxyethanol [122-99-6]	0,10	–	RW II (I)	AIR (2018) [6]	
	0,030	–	RW I (I)	AIR (2018) [6]	
	45 µg/m³	–	GLW (I)	AIR (2023) [6]	
α-Pinen [80-56-8]	2,0	–	RW II (I)	AIR (2003) [6]	siehe auch Terpene, bicyclische
	0,20	–	RW I (I)	AIR (2003) [6]	
polychlorierte Biphenyle	3 µg/m³	–	Beurteilungsmaßstab (I)	AIR (2007) [6]	Wenn eindeutig Fugenmassen mit PCB vorliegen, deren Chlorierungsgrad geringer ist als Clophen A60, dienen die Gesamt-PCB, basierend auf sechs Indikator-PCB (ohne PCB_{118}) als Beurteilungsmaßstab. Bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von 3 µg/m³ für Gesamt-PCB sind expositionsmindernde Maßnahmen zu prüfen. Bei Konzentrationen darunter ist das Lüftungsverhalten zu überprüfen und ggf. zu verbessern.
	0,01 µg/m³	–	Beurteilungsmaßstab (I)	AIR (2007) [6]	Dieser Wert gibt die Konzentration von PCB_{118} an. Er gilt für einen Gesamt-PCB-Gehalt größer 1 µg/m³ bei hauptsächlich hochchlorierten Clophenen als PCB-Quellen. Bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von 0,01 µg/m³ PCB_{118} sind expositionsmindernde Maßnahmen zu prüfen. Bei Konzentrationen darunter ist das Lüftungsverhalten zu überprüfen und ggf. zu verbessern.

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	siehe Benzo[a]pyren				
Propan-1,2-diol (Propylenglykol) [57-55-6]	0,60	–	RW II (I)	AIR (2017) [6]	
	0,060	–	RW I (I)	AIR (2017) [6]	
1-Propanol [71-23-8]	46	–	RW II (I)	AIR (2022) [6]	
	14	–	RW I (I)	AIR (2022) [6]	
2-Propanol [67-63-0]	45	–	RW II (I)	AIR (2021) [6]	
	22	–	RW I (I)	AIR (2021) [6]	
Propansäure [79-09-4]	1,6	–	RW II (I)	AIR (2023) [6]	
	0,78	–	RW I (I)	AIR (2023) [6]	
2-Propylenglykol-1-ethylether (2PG1EE) [1569-02-4]	3,0	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	0,30	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
2-Propylenglykol-1-methylether (2PG1ME) [107-98-2]	10	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	1,0	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
2-Propylenglykol-1-tertbutylether (2PG1tBE) [57018-52-7]	3,0	–	RW II (I)	AIR (2013) [6]	Zur Gesamtbewertung aller gefundenen Glykolether und Glykolester in der Innenraumluft wird das Verhältnis aus der Konzentration jeder Verbindung, geteilt durch ihren Richtwert, gebildet und zu einem Summenrichtwert addiert. Die Summenrichtwerte gelten als eingehalten, wenn ihr Wert jeweils 1 unterschreitet.
	0,30	–	RW I (I)	AIR (2013) [6]	
Quecksilber [7439-97-6]	0,35 µg/m³	–	RW II (I)	AIR (1999) [6]	jweils als metallischer Dampf
	0,035 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (1999) [6]	
	1 µg/m³	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Radon [10043-92-2]	300 Bq/m³	Jahresmittelwert	Referenzwert (I)	2013/59/EURATOM [19]	
	100 Bq/m³	Jahresmittelwert	Leitwert (I)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei Überschreitung dieses Wertes sollten einfache Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden.
Schwefeldioxid [7446-09-5]	350 µg/m³	1-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	
	125 µg/m³	24-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	
	500 µg/m³	10-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
	40 µg/m³	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
Schwefelwasserstoff [7783-06-4]	7 µg/m³	30-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Hierbei handelt es sich um den Leitwert für die Geruchsbelästigung.
	150 µg/m³	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
Siloxane (D3 bis D6)	4,0	–	RW II (I)	AIR (2011) [6]	Bei diesem Werten handelt es sich um Summenrichtwerte.
	0,40	–	RW I (I)	AIR (2011) [6]	
Stickstoffdioxid [10102-44-0]	0,25	1-h-Mittelwert	RW II (I)	AIR (2018) [6]	
	0,080	1-h-Mittelwert	RW I (I)	AIR (2018) [6]	
	200 µg/m³	1-h-Mittelwert	Grenzwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	Dieser Wert darf nicht öfter als 18-mal im Jahr überschritten werden.
	40 µg/m³	Jahresmittelwert	Grenzwert (A)	2008/50/EG [7] 39. BImSchV [9]	
	200 µg/m³	1-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
	25 µg/m³	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
	10 µg/m³	Jahresmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG, WHO (2021) [13]	
	50 µg/m³	24-h-Mittelwert	MIK (A)	VDI 2310 Blatt 12 (2004) [20]	Dieser Wert gilt für Wohngebiete.
	20 µg/m³	Jahresmittelwert	MIK (A)	VDI 2310 Blatt 12 (2004) [20]	Dieser Wert gilt für Wohngebiete.

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Styrol [100-42-5]	0,30	–	RW II (I)	AIR (1998) [6]	
	0,030	–	RW I (I)	AIR (1998) [6]	
	70 µg/m³	30-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Hierbei handelt es sich um den Leitwert für die Geruchsbelästigung.
	0,26	Wochenmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
Terpene, bicyclische	2,0	–	RW II (I)	AIR (2003) [6]	Als Leitsubstanz dient α-Pinen.
	0,20	–	RW I (I)	AIR (2003) [6]	Als Leitsubstanz dient α-Pinen.
Terpene, monocyclische Monoterpene	10	–	RW II (I)	AIR (2010) [6]	Als Leitsubstanz dient d-Limonen.
	1,0	–	RW I (I)	AIR (2010) [6]	Als Leitsubstanz dient d-Limonen.
Tetrachlorethen [127-18-4]	1,0	–	RW II (I)	AIR (2017) [6]	
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2017) [6]	
	0,25	Jahresmittelwert	Leitwert (I)	WHO Guidelines for Indoor Air Quality (2010) [15]	
Toluol [108-88-3]	3,0	–	RW II (I)	AIR (2016) [6]	siehe auch Alkylbenzole (C_7 bis C_8)
	0,30	–	RW I (I)	AIR (2016) [6]	siehe auch Alkylbenzole (C_7 bis C_8)
	1	30-min-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
	0,26	Wochenmittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	
Trichlorethen [79-01-6]	20 µg/m³	–	risikobezogener Leitwert (I)	AIR (2015) [6]	Der AIR betrachtet expositionsmindernde Maßnahmen unterhalb des Leitwertes als nicht angemessen.
	–	–	unit risk (I)	WHO Guidelines for Indoor Air Quality (2010) [15]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei $4{,}3 \cdot 10^{-7}$.
Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP) [115-96-8]	50 µg/m³	–	RW II (I)	AIR (2002) [6]	Obwohl die Ergebnisse tierexperimenteller Studien auf ein krebserzeugendes Potenzial der Verbindung hinweisen und für krebserzeugende Stoffe das Basisschema zur Richtwertableitung keine Anwendung finden sollte, sieht die Kommission aufgrund des Fehlens eindeutiger Hinweise zur Genotoxizität und des Bedarfs an Orientierungshilfen die Ableitung von Richtwerten für TCEP als vertretbar an.
	5,0 µg/m³	–	RW I (I)	AIR (2002) [6]	
TVOC	s. Abschnitt 2.3.2				
Vanadium [7440-62-2]	1 µg/m³	24-h-Mittelwert	Leitwert (I, A)	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	

Gefahrstoff [CAS-Nr.]	Beurteilungswert [mg/m³]	Zeitbezug	Art des Wertes [a)]	Herkunft	Bemerkungen
Vinylchlorid [75-01-4]	2,3 µg/m³	–	risikobezogener Leitwert (I)	AIR (2021) [6]	
	–	–	–	AQG for Europe, WHO (2000) [11]	Bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 µg/m³ liegt die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, bei $1 \cdot 10^{-6}$.
Xylole [1330-20-7]	0,80	–	RW II (I)	AIR (2015) [6]	Bei diesen Werten handelt es sich um Summenrichtwerte. siehe auch Alkylbenzole (C_7 bis C_8)
	0,10	–	RW I (I)	AIR (2015) [6]	

2.3 Spezielle Beurteilungswerte und Indikatoren für Innenraumarbeitsplätze

2.3.1 Kohlendioxid

Die Kohlendioxidkonzentration (CO_2-Konzentration) in Innenräumen gilt als ein wesentlicher Indikator für ausreichende Luftqualität, wenn der Mensch selbst die Hauptemissionsquelle ist und andere Quellen von untergeordneter Bedeutung sind. Sie ist in diesem Zusammenhang auch ein Maß für die Effektivität der Raumlüftung.

Zur Beurteilung der CO_2-Konzentration sind nach ASR A3.6 Lüftung [4] folgende Werte heranzuziehen:

- CO_2-Konzentration unter 1 000 ppm: hygienisch unbedenklich
- CO_2-Konzentration zwischen 1 000 und 2 000 ppm: hygienisch auffällig
- CO_2-Konzentration über 2 000 ppm: hygienisch inakzeptabel

Bei Überschreitung der Momentankonzentration von 1 000 ppm CO_2 soll gelüftet werden. Bei Überschreitung eines Wertes von 2 000 ppm muss gelüftet werden. Reichen die Lüftungsmaßnahmen (ggf. Einführung eines Lüftungsplans) nicht aus, um den Leitwert von 2 000 ppm zu unterschreiten, so sind weitergehende organisatorische, lüftungstechnische oder bauliche Maßnahmen erforderlich. Hierzu zählen z. B. die Verringerung der Personenzahl im Raum oder der Einbau einer technisch geregelten Lüftung.

2.3.2 Flüchtige organische Verbindungen

Summe flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC)

Ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Innenraumluftqualität ist die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen im Siedebereich 50 bis 260 °C, die als TVOC bezeichnet werden. Der Siedebereich umfasst weitestgehend die Stoffe, die analytisch auf einer unpolaren Säule im Elutionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadecan detektierbar sind [21].

Obwohl gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehungen fehlen und TVOC-Konzentrationen sich nicht als alleiniges 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. Der AIR empfiehlt, für die Beurteilung der TVOC-Konzentration das fünfstufige Konzept von Seifert aus dem Jahre 1999 heranzuziehen (siehe Tabelle 1) [21].

Tabelle 1:
Hygienische Bewertung von TVOC-Werten und daraus resultierende Empfehlungen für Maßnahmen [21]

Stufe	Konzentration	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
1	≤ 0,3 mg/m³	Hygienisch unbedenklich. I. d. R. keine Beschwerden.	Keine weiteren Maßnahmen.
2	› 0,3 bis 1 mg/m³	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe oder Stoffgruppen vorliegen. In Einzelfällen Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach kleineren Renovierungsmaßnahmen oder Neumöblierungen in den letzten Wochen.	Ausreichend lüften, besonders nach Renovierungsarbeiten. VOC-Quellen ermitteln (z. B. Begehung des Raumes). Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen. Nachmessungen zur Kontrolle von Richtwertüberschreitungen unter Nutzungsbedingungen.
3	› 1 bis 3 mg/m³	Hygienisch auffällig. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (‹ 12 Monate). Innerhalb von ca. sechs Monaten sollte die TVOC-Konzentration deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden. Fälle mit Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Liegt nach 12 Monaten trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 1 mg/m³, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.

Stufe	Konzentration	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
4	› 3 bis 10 mg/m³	Hygienisch bedenklich. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (‹ 1 Monat). Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m³ abgesenkt werden. Fälle mit Häufung von Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren.Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Liegt nach einem Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 3 mg/m³, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.
5	› 10 mg/m³	Hygienisch inakzeptabel. Raumnutzung möglichst vermeiden. Ein Aufenthalt ist allenfalls pro Tag stundenweise/zeitlich befristet zulässig. Bei Werten oberhalb von 25 mg/m³ ist eine Raumnutzung zu unterlassen. Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m³ abgesenkt werden. In der Regel Beschwerden und Geruchswahrnehmungen, z. B. nach Fehlanwendungen, Unfällen.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Wird durch Minimierungsmaßnahmen 10 mg/m³ im betrachteten Zeitraum zwar unterschritten, eine Konzentration von 3 mg/m³ allerdings weiterhin überschritten, gelten die Maßnahmeempfehlungen wie unter Stufe 4. Liegt nach einem Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 10 mg/m³, so sollte die Raumnutzung unterbleiben, und es sind adäquate Sanierungsmaßnahmen zu veranlassen.

Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe

Neben den Richtwerten des Ausschusses für Innenraumrichtwerte, können statistisch abgeleitete Referenzwerte für Einzelstoffe zu einer vergleichenden Bewertung herangezogen werden. Entsprechend einer international anerkannten Konvention wird der 95-Perzentilwert eines hinreichend großen Datenkollektivs als Referenzwert bezeichnet. 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. Referenzwerte ermöglichen – im Gegensatz zu den Richtwerten – keine Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung. Sind die Referenzwerte unterschritten, bedeutet das also nicht zwangsläufig, dass keine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Umgekehrt kann aus einer Überschreitung dieser Werte nicht automatisch auf eine Gefährdung geschlossen werden [21]. Eine wesentliche Überschreitung des Wertes kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass in dem Raum Emissionsquellen vorhanden sind, die möglicherweise zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können.

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.

Referenzwerte zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen (z. B. Büros)
Im Jahre 2004 wurden basierend auf Messdaten der Unfallversicherungsträger erstmals Referenzwerte zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen (Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte, IRW) veröffentlicht [22]. Diese Werte wurden zuletzt im Jahr 2017 überprüft und anhand einer statistischen Auswertung aller in der IFA Expositionsdatenbank MEGA im Datenzeitraum 2011 bis 2015 dokumentierten Messdaten aktualisiert [23].

Für die statistische Auswertung wurden dabei nur Messdaten betrachtet, die stationär in Büroräumen ohne maschinelle Lüftung bestimmt wurden und bei denen die Probenahmebedingungen den Vorgaben der Messverfahren [24; 25] entsprach.

Da in der Regel mehr als 700 Messwerte pro Verbindung ausgewertet wurden, ist eine statistische Absicherung gewährleistet. Generell wurden die Werte auf zwei Nachkommastellen gerundet. Die 2017 abgeleiteten IRW sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sie gelten nur bei Anwendung des im Report „Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld“ [26] beschriebenen Messprogramms „Innenraummessungen“ einschließlich der zugehörigen Messstrategie.

Tabelle 2:
Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte der Unfallversicherungsträger [23]

Verbindung	IRW (mg/m³)
Alkane	
n-Heptan	0,05
n-Octan	0,01
n-Decan	0,02
n-Undecan	0,03
n-Dodecan	0,01
n-Tridecan	0,01
n-Tetradecan	0,01
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische, C_9 - C_{14}	0,15
Terpene	
α-Pinen	0,06
Limonen	0,07
3-Karen	0,02
Aromaten	
Toluol	0,07
Ethylbenzol	0,02
o-Xylol	0,02
m-Xylol	0,04
p-Xylol	0,01
1,2,4-Trimethylbenzol	0,02
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	0,01
Styrol	0,02
Phenol	0,01
Alkohole	
1-Butanol	0,08
2-Ethylhexanol	0,04
Aldehyde	
Formaldehyd	0,07
Acetaldehyd	0,06
Propanal (Propionaldehyd)	0,02
Valeraldehyd	0,02
Hexanal	0,03
Ester	
Ethylacetat	0,03
n-Butylacetat	0,03
Ether	
2-Butoxyethanol	0,02
2-Phenoxyethanol	0,01
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	0,01
Ketone	
Butanon	0,03
Siloxane	
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,05
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,03
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,10

Referenzwerte zur Beurteilung von Klassenräumen
In den Jahren 2004 bis 2009 wurden im Rahmen eines Projektes die Konzentrationen von Aldehyden und VOC in unbelasteten Klassenräumen von Schulen in Nordrhein-Westfalen erhoben [27]. Insgesamt wurden 421 Räume in 119 Schulen untersucht. Das Messverfahren und die Analytik sind vergleichbar mit dem MGU Messprogramm „Innenraummessungen“. Aus den ermittelten Messdaten wurden in Analogie zum Verfahren der Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte Klassenraum-Referenzwerte abgeleitet [28]. Diese sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Einzelstoffbewertung basierend auf anderen Messverfahren
Pionierarbeit zur Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe hat das ehemalige Bundesgesundheitsamt mit seinem ersten Umweltsurvey aus den Jahren 1985/86 geleistet [17]. Seitdem prüft das Umweltbundesamt in regelmäßigen Abständen im Rahmen der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit (GerES) u. a. die Belastung der Inneraumluft im Wohnumfeld durch chemische Verunreinigungen mit Hilfe von Passivsammlern [29].

Darüber hinaus gibt es weitere Veröffentlichungen von diversen Messinstituten, die aus eigenen Daten (u. a. aus Schadensfällen) Werte zur Beurteilung der Innenraumluft abgeleitet haben [z. B. 30]. Diese Untersuchungen wurden in verschiedenartigen Innenräumen einschließlich Wohnräumen vorgenommen.

Tabelle 3:
Klassenraum-Referenzwerte der Unfallversicherungsträger [28]

Verbindung	Klassenraum-Referenzwert (mg/m³)
TVOC	0,68
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C_9 bis C_{14})	0,03
Alkane	
n-Heptan	0,01
n-Undecan	0,01
n-Dodecan	0,01
n-Tridecan	0,01
Aromatische Verbindungen	
Toluol	0,03
Ethylbenzol	0,01
Xylol (alle Isomere)	0,02
m-Xylol	0,01
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01
Styrol	0,01
Phenol	0,01
Alkohole	
Butan-1-ol	0,03
2-Ethylhexan-1-ol	0,02
Ketone	
Butanon	0,01
Ester	
Ethylacetat	0,01
n-Butylacetat	0,01
Ether	
2-Butoxyethanol	0,02
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	0,03
2-Phenoxyethanol	0,02
Terpene	
α-Pinen	0,02
Limonen	0,02
3-Caren	0,01
Aldehyde	
Formaldehyd	0,06
Acetaldehyd	0,05
Hexanal	0,02
Siloxane	
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,02

2.3.3 Stäube

Zur Beurteilung möglicher Gesundheitsgefahren durch Staubbelastungen werden von der Partikelgröße abhängige Staubfraktionen herangezogen. Die im Arbeitsschutz üblicherweise verwendeten Fraktionen „einatembarer Staub“ (E-Fraktion) und „lungengängiger Staub“ (Alveolarfraktion, A-Fraktion) stimmen nicht exakt überein mit den im Bereich des Umweltschutzes gebräuchlichen Fraktionen PM_{10} (particulate matter) und $PM_{2,5}$. Darunter versteht man in erster Näherung die Summe aller Schwebstaubpartikeln mit einem Durchmesser von bis zu 10 µm und bis zu 2,5 µm [31].

Für Innenraumarbeitsplätze wird empfohlen, zur Beurteilung von Staubbelastungen die im Umweltschutz definierten Fraktionen $PM_{2,5}$ und PM_{10} heranzuziehen, da die Konzentrationen hauptsächlich durch die Außenluft bedingt sind und hierfür entsprechende Beurteilungswerte zur Verfügung stehen. So empfiehlt der AIR bei Abwesenheit von Verbrennungsprozessen (z. B. Tabakrauch) als Leitwert für Feinstaub der Fraktion $PM_{2,5}$ den von der WHO im Jahr 2021 festgelegten Tageswert von 15 µg/m³ heranzuziehen [32].

Für die Fraktion PM_{10} schlägt der Ausschuss dagegen keinen Bewertungsmaßstab vor. Er begründet dies damit, dass für diese Fraktion die Konzentrationen in Innenräumen deutlich über denjenigen in der Außenluft liegen. Dies bedeutet, dass die Hauptquellen für diese Partikelfraktion im Innenraum zu suchen sind. Da die Zusammensetzung dieser Fraktion nicht näher bekannt ist, kann keine abschließende Bewertung durchgeführt werden [33].

Generell sollte darauf geachtet werden, dass die Staubkonzentration bezogen auf die PM_{10}-Fraktion nicht über dem EU-Staubgrenzwert [7] für die Luft der Troposphäre von 50 µg/m³ liegt.

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. BGBl. I (2023), S. 140

[2] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179; zul. geänd. BGBl. I (2024), S. 109

[3] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I (2010), S. 1643; zul. geänd. BGBl. I (2021), S. 3115

[4] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). Ausg. 1/2012. GMBl. (2012), S. 92; zul. geänd. GMBl. (2018), S. 474

[5] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 17. Mai 2013. BGBl. I (2013), S. 1274; zul. geänd. BGBl. I (2023), S. 202

[6] Ausschuss für Innenraumrichtwerte. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc

[7] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. ABl. EG Nr. L 152 (2008), S. 1; geänd. Richtlinie 2015/1480/EU, ABl. EU (2015) Nr. L 226, S. 4

[8] Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft. ABl. EG (2005) Nr. L 23, S. 3; zul. geänd. Richtlinie 2015/1480/EU, ABl. EU Nr. L 226 (2015), S. 4

[9] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 2. August 2010. BGBl. I (2010), S. 1065; zul. geänd. BGBl. I (2020), S. 1328

[10] Air quality guidelines for Europe. Hrsg.: WHO, Regional Office for Europe, Kopenhagen 1987 https://iris.who.int/handle/10665/107364

[11] Air Quality Guidelines for Europe. 2nd ed. Hrsg.: World Health Organization, Regional Office for Europe, Kopenhagen 2000. https://iris.who.int/handle/10665/107335

[12] Air Quality Guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Hrsg.: WHO, Genf 2006. https://iris.who.int/handle/10665/107823

[13] WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Hrsg.: WHO, Genf 2021. https://iris.who.int/handle/10665/345329

[14] WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Hrsg.: WHO, Regional Office for Europe, Kopenhagen 2009. https://iris.who.int/handle/10665/164348

[15] WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Hrsg.: WHO, Regional Office for Europe, Kopenhagen 2010. https://iris.who.int/handle/10665/260127

[16] VDI 2310 Blatt 1: Maximale Immissions-Werte – Zielsetzung und Bedeutung der Richtlinienreihe VDI 2310 (12/2010). Beuth, Berlin 2010

[17] Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. 36 (1993) Nr. 3, S. 117-118

[18] VDI 2310 Blatt 15: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Ozon (12/2001). Beuth, Berlin 2001

[19] Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom. ABl. EU (2014) Nr. L 13, S. 1; zul. ber. ABl. EU (2019) Nr. L 152, S. 128

[20] VDI 2310 Blatt 12: Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid (12/2004). Beuth, Berlin 2004

[21] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 50 (2007) Nr. 7, S. 990-1005

[22] *Schlechter, N.; Pohl, K.; Barig, A.; Kupka, S.; Kleine, H.; Gabriel, S.; Van Gelder, R.; Lichtenstein, N.; Hennig, M.*: Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 64 (2004) Nr. 3, S. 95-99

[23] *von Hahn, N.; Van Gelder, R.; von Mering, Y.; Breuer, D.; Peters, S.*: Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 78 (2018) Nr. 3, S. 63-71

[24] *Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.*: VOC (Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen) (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 45. Lfg. X/10. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989 www.ifa-arbeitsmappedigital.de/8936

[25] *Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U. ; Heinrich, B.*: Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. 1/24. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989 www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045

[26] Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften, der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung – IFA. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin, 2013 https://www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2013/report-innenraumarbeits-plaetze/index.jsp

[27] *Neumann, H.-D.*: Luftqualität und Lüftung in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhalt. der Luft 71 (2011) Nr. 11/12, S. 495-497

[28] *Neumann, H.-D.; Buxtrup, M.; von Hahn, N.; Koppisch, D.; Breuer, D.; Hahn, J.-U.*: Vorschlag zur Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 72 (2012) Nr. 7/8, S. 291-297

[29] Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/deutsche-umweltstudie-zur-gesundheit-geres

[30] AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF), Springe-Eldagsen. https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html

[31] *Mattenklott, M.; Höfert, N.*: Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt – Vergleich der Begriffsbestimmungen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 69 (2009) Nr. 4, S. 127-129

[32] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Addendum zur gesundheitlichen Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. 65 (2022) Nr. 7-8, S. 848

[33] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 51 (2008) Nr. 7, S. 1370-1378

3 Biologische Einwirkungen

3.1 Einführung und Erläuterungen

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

Die Biostoffverordnung (BioStoffV) zum Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Biostoffe bei der Arbeit [1] stellt die nationale Umsetzung der Richtlinie 2000/54/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 [2] zu dieser Thematik dar. Die BioStoffV trat am 1. April 1999 erstmals in Kraft. Am 15. Juli 2013 wurde die erste Neufassung der Biostoffverordnung veröffentlicht.

Gemäß dieser Verordnung ist der Arbeitgeber verpflichtet, für jede berufliche Tätigkeit, bei der eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien erfolgen kann, eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, um die Risiken für die Beschäftigten abzuschätzen und ggf. Schutzmaßnahmen festlegen zu können. Die BioStoffV regelt auch Maßnahmen zum Schutz anderer Personen, soweit diese aufgrund des Verwendens von Biostoffen gefährdet werden können.

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

1. Biostoffe der Risikogruppe 1 sind solche, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Krankheit hervorrufen.

2. Biostoffe der Risikogruppe 2 sind solche, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte darstellen können; eine Verbreitung des Agens in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich; eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist normalerweise möglich.

3. Biostoffe der Risikogruppe 3 sind solche, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen können, die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen, doch ist normalerweise eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung möglich.

4. Biostoffe der Risikogruppe 4 sind solche, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung ist unter Umständen groß; normalerweise ist eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung nicht möglich.

Für die Einstufung biologischer Arbeitsstoffe in die Risikogruppen 2 bis 4 gilt nach § 3 der BioStoffV der Anhang III der Richtlinie 2000/54/EG. Wird der Anhang im Verfahren nach Artikel 19 dieser Richtlinie an den technischen Fortschritt angepasst, so kann die geänderte Fassung bereits ab ihrem Inkrafttreten angewendet werden. Sie ist nach dem Ablauf der festgelegten Umsetzungsfrist anzuwenden. In der Technischen Regel für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 450 sind die in Deutschland angewendeten Einstufungskriterien für Biostoffe zusammengefasst [3]. 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
   - zur Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (TRBA 460) [4],
   - zur Einstufung von Viren in Risikogruppen (TRBA 462) [5],
   - zur Einstufung von Parasiten in Risikogruppen (TRBA 464) [6],
   - zur Einstufung von Bakterien (Bacteria) und Archaebakterien (Archaea) in Risikogruppen (TRBA 466) [7],
   - zur Einstufung von Zellkulturen in Risikogruppen und Zuordnung der Tätigkeiten mit diesen Zellkulturen zu einer Schutzstufe (TRBA 468) [8].

2. die DGUV Informationen zur Einstufung biologischer Arbeitsstoffe der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
   - Viren (213-088) [9]
   - Parasiten (213-089) [10]
   - Prokaryonten (213-090) [11, 12]
   - Pilze (213-092) [13]
   - Zellkulturen (213-093) [14]

3. die Einstufungsliste der Zentralen Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS) [15]

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 [16]) bzw. die Richtlinie 2004/37/EG [17] Grenzwerte am Arbeitsplatz. Daneben liegen toxikologisch begründete AGW für einige chemische Verbindungen vor, die auch von Bakterien und Pilzen in größeren Mengen freigesetzt werden können, wie z. B. Kohlendioxid (CO_2) oder Ethanol.

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 mikrobiologischer Arbeitsplatzbelastungen lassen sich folgende Größen 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 *Aspergillus fumigatus* in Kompostieranlagen

c) spezifische infektiöse Mikroorganismen, z. B. *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium tuberculosis*

d) Zellwandbestandteile und Bestandteile von biologischen Partikeln, z. B. Endotoxine, β1→3-Glucane u. a. Allergene)

e) Gesamtzellzahlbestimmung nach DAPI-Färbung und fluoreszenzmikroskopischer Analyse

f) Bestimmung der Gesamtsporenzahl durch mikroskopische Analyse

Insbesondere an Arbeitsplätzen, an denen gemäß § 2 der BioStoffV sogenannte nicht gezielte Tätigkeiten mit Biostoffen durchgeführt werden, kann eine Vielzahl von biologischen Agenzien bzw. Bioaerosolen mit möglicher sensibilisierender oder toxischer Wirkung vorkommen, z. B. Abfall- oder 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, z. B. der Auslösung bestimmter Infektionskrankheiten oder dem Vorliegen von Allergien gegen bestimmte Schimmelpilzarten empfiehlt sich weiterhin die gezielte Untersuchung des Vorkommens einzelner Organismenarten oder die Bestimmung der Artenspektren der jeweils vorhandenen Mikroorganismen.

Im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie 2000/54/EG wurde vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) der Ausschuss für Biostoffe berufen (ABAS; www.baua.de/abas).

Eine der Hauptaufgaben des Arbeitskreises (AK) Arbeitsplatzbewertung im ehemaligen Unterausschuss (UA) 1 Grundsatz- und Anwendungsfragen des ABAS war es, standardisierte Messverfahren für biologische Agenzien am Arbeitsplatz zu erarbeiten sowie Messstrategien für Biostoffe festzulegen. Ziel dieser Vorgehensweise war es, eine einheitliche Beurteilung von Arbeitsbereichen hinsichtlich der mikrobiologischen Belastung sicherzustellen. So 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 IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen veröffentlicht [18 bis 20]. Um das Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz zu validieren, wurden unter der Federführung des IFA zwei Ringversuche mit realen Proben sowie mit in einem Staubkanal unter definierten Bedingungen beaufschlagten Probenträgern durchgeführt [21, 22]. Sowohl die grundlegende Messstrategie-Basisregel als auch das Messverfahren zur Schimmelpilzbestimmung wurden vom BMAS im Bundesarbeitsblatt als Technische Regel für Biostoffe (TRBA) veröffentlicht [23, 24]. Das Messverfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz wurde im März 2003 als TRBA zurückgezogen. Das in der IFA-Arbeitsmappe unter der Kennzahl 9420 veröffentlichte Verfahren entspricht im Wortlaut der aufgehobenen TRBA 430. Das Verfahren zur Erfassung der Exposition gegenüber Biostoffen mithilfe der Gesamtzellzahlbestimmung und das Verfahren zur Bestimmung der Gesamtsporenzahl wurden in der Zeitschrift Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft bzw. als VDI-Richtlinien und DIN Norm veröffentlicht [24 bis 28].

Im aktuellen ABAS (2019-2022) ist der Arbeitskreis Arbeitsplatzbewertung im Unterausschuss (UA) 2, Schutzmaßnahmen angesiedelt. Der ABAS berät das BMAS u. a. auch in Fragen zur Stellungnahme zu in anderen europäischen Staaten bestehenden Richtwerten für Bioaerosole wie dem Endotoxinrichtwert in den Niederlanden und zur Ableitung von Technischen Kontrollwerten.

3.2 Kontrollwertkonzept

Das Kontrollwertkonzept für Biostoffe wurde im AK Arbeitsplatzbewertung im ehemaligen UA 1 des ABAS erarbeitet und mit Beschluss des ABAS vom September 2000 in der TRBA 405 veröffentlicht [23]. Mit der Neufassung der BiostoffV wurde es im Jahr 2013 dort ebenfalls verankert (§ 8, 6 Grundpflichten).

Nach § 4 der BioStoffV ist der Arbeitgeber verpflichtet, bei Tätigkeiten mit Biostoffen anhand von Informationen zu Art, Ausmaß und Dauer der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber diesen Agenzien eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen [1]. 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 mikrobiologische Belastung der Luft am Arbeitsplatz zu bestimmen. Eine Zuordnung zu Schutzstufen erfolgt ausschließlich aufgrund der Infektionsgefährdung vorkommender Biostoffe (Risikogruppenzuordnung) und nur für Tätigkeiten in Laboratorien, in der Versuchstierhaltung, in der Biotechnologie sowie in Einrichtungen des Gesundheitsdienstes. Auch für Tätigkeiten mit Biostoffen in anderen Bereichen, wie z. B. in der Abfallwirtschaft oder Landwirtschaft, muss die Gefährdung ermittelt und müssen ggf. Schutzmaßnahmen festgelegt werden. Tätigkeiten mit Biostoffen in solchen Bereichen werden jedoch keinen Schutzstufen zugeordnet.

3.2.1 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 technischen 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 jeweilige 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 § 9 Abs. 3 BioStoffV. TKW werden vom ABAS laufend an den Stand der technischen Entwicklung, der analytischen Möglichkeiten sowie der Überprüfung nach dem Stand der Wirkungsforschung angepasst.

3.2.2 Messstrategie/Messverfahren

Für Biostoffe an Arbeitsplätzen gibt es verschiedene Quellen. Im Rahmen der Ermittlungen zu biologischen Agenzien können zahlreiche Informationen zur potenziellen Quelle, zur Art des emittierten Biostoffs sowie zu den daraus folgenden Charakteristika und zu den Umgebungsbedingungen anfallen (z. B. Lufttemperatur und -feuchtigkeit).

Grundsätzlich obliegt es dem Unternehmer, eine Gefährdungsbeurteilung nach den Vorgaben des Arbeitsschutzgesetzes durchzuführen. Hierbei soll z. B. die TRBA 400 – Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Unterrichtung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen – Hilfestellung leisten [30]. An vielen Arbeitsplätzen besteht eine luftgetragene Exposition gegenüber Biostoffen. Neben ihrer infektiösen Wirkung soll nach BioStoffV auch beurteilt werden, ob durch die vorhandenen Biostoffe auch eine Gefährdung durch sensibilisierende oder toxische Wirkungen besteht. In der Neufassung der TRBA 400 wurde dies mit der Einführung des Konzepts der Expositionsstufen berücksichtigt. Per Konvention wurden zunächst für Schimmelpilze und Endotoxine sogenannte Expositionsstufen festgelegt, die im Vergleich zur Außenluft als erhöht, hoch oder sehr hoch einzustufen sind. Aus dieser Einstufung lässt sich keine gesundheitsbasierte Aussage zur Gefährdung ableiten. Es ist jedoch anzunehmen, dass eine Gefährdung mit Höhe, Dauer und Häufigkeit der Exposition zunimmt. Auch wenn keine Messergebnisse vorliegen, können Tätigkeiten anhand von Tätigkeits- und Arbeitsplatzmerkmalen, die die Expositionshöhe beeinflussen, Expositionsstufen zugeordnet werden. Darüber hinaus sind in einer Anlage Informationen zusammengefasst, in welchen Arbeitsbereichen mit welchen Expositionsstufen für die oben genannten Biostoffe zu rechnen ist. Aus Dauer und Häufigkeit einer Exposition ergibt sich die Expositionszeit. Auf der Grundlage von Expositionsstufe und Expositionszeit werden drei Gefährdungsstufen abgeleitet. Aus diesen Gefährdungsstufen ergeben sich letztendlich die Anforderungen an die Schutzmaßnahmen.

Aus einem nach dem optischen Eindruck nicht einwandfreien Befund an Arbeitsplätzen lässt sich nicht zwangsläufig ein Messbedarf ableiten. Oftmals können die Beseitigung von Emissionsquellen für Biostoffe 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 und technischen Kontrollwerten für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe – zurückzugreifen [23]. Die Fragestellung, die mit der Messung beantwortet werden soll (Messaufgabe), bestimmt die Auswahl des Messverfahrens. Bei der Festlegung der Messstrategie sind Messparameter, Messverfahren, Messorte, Messdauer sowie die Anzahl der zu beaufschlagenden Probenträger festzulegen. Bei der Messung der mikrobiologischen Belastung in der Luft in Arbeitsbereichen sollten standardisierte Messverfahren angewendet werden, wie sie beispielsweise in der IFA-Arbeitsmappe veröffentlicht werden [18 bis 20]. Erkenntnisse und Ergebnisse aus der Validierung dieser Messverfahren und damit verbundene aktuelle Verfahrensanpassungen sollten dabei berücksichtigt werden [21, 22, 31]. 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, z. B. die Bestimmung des Mikroorganismengehaltes von Flüssigkeiten, Materialproben oder Oberflächen.

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

3.2.3 Schwankungsbreite von Messergebnissen

Der Gehalt an Biostoffen 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 Biostoffen festgestellt werden. In der Literatur sind in identischen Arbeitsbereichen geometrische Standardabweichungen der gemessenen Konzentrationen im Bereich von 1,6 bis 4 dokumentiert worden [32]. Auch zwischen den Ergebnissen aus stationären Messungen, die auf den gesamten Arbeitsbereich bezogen sind, und solchen aus personengetragenen Messungen können grundsätzlich Unterschiede bestehen [33].

Durch die Messgröße selbst (lebendes Material, Mischpopulationen oder Stoffgruppen, Abhängigkeit von Umweltfaktoren wie Substratangebot und Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Temperatur, Feuchtigkeit) sind Variabilitäten bei der Bestimmung von Biostoffen vorgegeben. Aus diesem Grund wurde versucht, die Messverfahren weitestgehend zu standardisieren, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Mithilfe von Ringversuchen wurden die Leistungskenndaten solcher mikrobiologischer Messverfahren ermittelt bzw. überprüft [21, 22, 32, 34].

3.2.4 Glossar

Biostoffe
Mikroorganismen, Zellkulturen, Endoparasiten sowie stationäre Ektoparasiten einschließlich ihrer gentechnisch veränderten Formen, mit Transmissibler Spongiformer Enzephalopathie (TSE) assoziierte Agenzien und künstlich geschaffene oder veränderte biologische Einheiten, die den Menschen durch Infektionen, übertragbare Krankheiten, Toxinbildung oder sensibilisierende Wirkungen gefährden können.

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 von Biostoffen in der Außenluft, die auf dem Betriebsgelände oder in unmittelbarer Nachbarschaft gemessen wurde (Schimmelpilze, Bakterien, Endotoxine u. a., Angabe pro m^3 Luft).

Die Messung der Hintergrundkonzentration in der Außenluft dient als Referenz zur Beurteilung der am Probenahmetag ermittelten Konzentration von Biostoffen in der Arbeitsplatzatmosphäre.

Die Höhe des Messwertes in der Außenluft wird durch

- natürliche Quellen wie die Vegetation oder
- anthropogen beeinflusste Quellen, z. B. keimemittierende Tätigkeiten wie die Getreideernte,

in der näheren Umgebung des beprobten Betriebes beeinflusst. Sie kann jahreszeitlich variieren [35].

Die Außenluftmessung soll stets auf der dem Wind zugewandten 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 durchgeführt. Messungen zur Beurteilung von Tätigkeiten, die einen Arbeitsplatzwechsel erfordern, sollten vorrangig als personengetragene Messungen durchgeführt werden. Ist eine solche 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, d. h., ca. 150 bis 165 cm bei stehender oder 110 cm bei sitzender Tätigkeit sowie in unmittelbarer Nähe der Beschäftigten zu achten.

Messung, ortsbezogen
Ortsbezogene Messungen erfolgen ohne Personenbezug und werden in der Regel 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

3.3 Grenzwerte

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

3.3.1 Technischer Kontrollwert für biologische und andere Abfallbehandlungsanlagen

Das Prinzip des technischen Kontrollwertes wurde bisher nur einmal, im Bereich der Abfallwirtschaft, umgesetzt: Auf der Grundlage von Untersuchungen zur mikrobiellen Luftbelastung in 32 Wertstoffsortieranlagen [36] wurde im Auftrag des BMAS in der Vergangenheit ein Schutzkonzept für Abfallsortieranlagen erarbeitet, das im Juni 1999 als TRBA im Bundesarbeitsblatt veröffentlicht wurde. Im Zusammenhang mit der Veröffentlichung der TRBA „Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen“ hat der AK Abfallwirtschaft im UA 2 Schutzmaßnahmen des ABAS erstmals einen Technischen Kontrollwert formuliert. Dieser TKW wurde auf $5 \cdot 10^4$ KBE/m^3 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, wie Sortierkabinen, Leitwarten und Radladerkabinen in der Regel eingehalten wurde [37]. Im Juli 2007 wurde die TRBA 211 „Biologische Abfallbehandlungsanlagen: Schutzmaßnahmen“ daraufhin aufgehoben. Seither sind in der TRBA 214 „Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft“ alle für solche Anlagen geltenden Anforderungen und Schutzmaßnahmen beschrieben [38].

Der in der TRBA 214 festgelegte TKW von $5 \cdot 10^4$ KBE pro m^3 Atemluft als Summenparameter für mesophile Schimmelpilze gilt für die Kontrolle von Schutzmaßnahmen an Arbeitsplätzen in Sortierkabinen, Kabinen, Führerhäusern und Steuerständen in folgenden Anlagentypen:

- Aufbereitungs- und Sortieranlagen für z. B. Siedlungs- und Gewerbeabfälle einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen (z. B. Papier und Pappe, Glas, Textilien, Kunststoffe), sowie für Bau- und Abbruchabfälle
- Kompostierungsanlagen (Anlagen zur Erzeugung von Kompost aus organischen Abfällen)
- Vergärungsanlagen und Kofermentationsanlagen, in denen Abfallstoffe wie Bioabfälle aus der Haushaltssammlung gemeinsam mit Wirtschaftsdünger oder nachwachsenden Rohstoffen im Fermentationsprozess eingesetzt werden
- mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen (MBA)
- mechanisch-physikalische Abfallbehandlungs- oder Stabilisierungsanlagen (MPS)
- Anlagen, in denen Abfälle thermisch behandelt, energetisch verwertet oder als Ersatzbrennstoff (EBS, abfallstämmige Brennstoffe) eingesetzt werden
- Anlagen, in denen Abfälle der Abfallschlüsselnummer 18 01 03* mitverbrannt werden
- Abfallumladestationen

3.3.2 Endotoxine

Zur Beurteilung von Endotoxinkonzentrationen wurde in der Vergangenheit zunächst ein Richtwert von 50 EU (engl. Endotoxin units) pro m³ Luft als 8-Stunden-Mittelwert vorgeschlagen, der mithilfe eines standardisierten Messverfahrens ermittelt wurde [39, 40]. Zahlreiche Messungen in der Praxis zeigten, dass die Endotoxinkonzentrationen in vielen Arbeitsbereichen wesentlich höher liegen, ohne dass entsprechende Erkrankungen auftreten. Es wurde vielfach diskutiert, ob dieses Ergebnis möglicherweise durch große Schwankungsbreiten bei der Probenahme und der Durchführung der Analysenmethode bedingt sein könnte. Im Arbeitskreis „Arbeitsplatzbewertung“ wurde deshalb unter Einbindung nationaler Experten mit Blick auf die praktische Umsetzbarkeit dieses Richtwertes seinerzeit eine Stellungnahme zur Bewertung erarbeitet [41]. Die Auswertung von 25 wissenschaftlichen Studien, in denen an unterschiedlichen Arbeitsplätzen Endotoxinaktivitäten bestimmt wurden, zeigte eine sehr große Variationsbreite dieser Untersuchungsergebnisse. Die Endotoxinaktivität wurde in diesen Studien zumeist mithilfe des Limulus-Amoebozyten-Lysat-(LAL)-Tests bestimmt [20]. Teilweise erfolgten die Endotoxinanalysen jedoch unter sehr unterschiedlichen Bedingungen hinsichtlich der zur Probenahme verwendeten Filter, Extraktion der Proben und Lagerung der Extrakte bis zur Analyse. Aus der bisher vorliegenden Datenbasis können daher weder präzise Angaben für einzelne Branchen entnommen werden noch erlaubt sie die Ableitung eines Schwellen- oder Grenzwertes für Endotoxine [42].

Die im LAL-Test verwendeten Amoebocyten werden lebenden Pfeilschwanzkrebsen entnommen. Als Alternative zu dieser Vorgehensweise werden inzwischen Enzyme des LAL als rekombinant hergestellte Analoge angeboten (rekombinanter Faktor C (rFC)-Test). Der rFC-Test hat sich in mehreren Studien als valide erwiesen [43, 44, 45]. Er zeigt systembedingt geringere Empfindlichkeiten gegenüber Glucanen und die Testchargen sind deutlich besser vergleichbar als das biologische Material (LAL). Deshalb wird er zunehmend auch im Arbeitsschutz für die Endotoxin-Analytik eingesetzt [46].

3.3.3 Luftbefeuchtungseinrichtungen

Für den hygienisch einwandfreien Betrieb von Luftbefeuchtungseinrichtungen fordert die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse in ihrem Geltungsbereich die Einhaltung der Richtwerte 1000 KBE/m³ Atemluft am Arbeitsplatz und 1000 KBE/ml im Befeuchterwasser. Werden diese Werte übertroffen, sind Wartungs-, Reinigungs- bzw. Sanierungsarbeiten der Anlagen angezeigt [47]. Darüber hinaus beschäftigt sich die VDI-Richtlinienreihe 6022 „Raumlufttechnik, Raumluftqualität“ [48] mit Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte.

3.3.4 Innenräume

Für die Bewertung des Vorkommens von Biostoffen in der Luft in Innenräumen, insbesondere in Büroräumen, werden in der Literatur unterschiedliche Herangehensweisen vorgeschlagen (Zusammenfassung siehe [49]). Manche Autoren bewerten bereits Messwerte aus Innenräumen, die um 100 KBE/m³ Luft höher liegen als die Außenluftreferenz, als Schimmelpilzbelastung [50]. 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 Landesgesundheitsamts Stuttgart zur Beurteilung des Vorkommens von Schimmelpilzen in Innenräumen oder im Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden des Umweltbundesamtes genannt werden [51, 52]. Beide Broschüren enthalten viele wertvolle Hinweise zur Thematik.

Tabelle 1:
An verschiedenen Arbeitsplätzen vorkommende Biostoffe und von ihnen ausgelöste Erkrankungen (Beispiele – ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Tätigkeiten/Arbeitsbereiche	Mögliche Erkrankungen	Mögliche Erreger/Allergene/Toxine
Landwirtschaft (z. B. Getreide-, Milchproduzenten, Tierzüchter)	Allergien Farmerlunge (EAA) ODTS Zoonosen, z. B. Leptospirose Brucellose Q-Fieber Listeriose Hautmykosen Hautinfektion (Lymphadenitis)	Schimmelpilze Actinomyceten *Erwinia herbicola* u. a. *Leptospira interrogans* *Brucella spec.* *Coxiella burnetii* *Listeria monocytogenes* *Dermatophyten* *(Trichophyton spp.)* *Melkerknotenvirus, Orfvirus*
Veterinäre, Tierpfleger, Fleischverarbeitung, Zooarbeiter	Zoonotische Infektionen (siehe „Landwirtschaft“)	Bakterien, Pilze, Viren
Fischerei, Aquarienhandlungen	kutane Mycobacteriosen Leptospirose	*Mycobacterium marinum* *Leptospira interrogans*
Vogelzüchtung	Vogelhalterlunge (EAA) Lungenkrebs Ornithose Kryptokokkose	mikrobiell belasteter Kot mikrobiell belasteter Kot *Chlamydia psittaci* *Cryptococcus neoformans*
Gärtnerei, Pilzzüchtung	Tetanus Zoonosen (s. o.) Pilzsporen-Alveolitis (EAA) Pilzarbeiterlunge	*Clostridium tetani* Bakterien Austernseitlinge Actinomyceten im Kompost
Forstwirtschaft	Frühsommer-Meningoenzephalitis Borreliose Tollwut Sporotrichosenmykose	FSME-Virus *Borrelia burgdorferi* Rabiesvirus *Sporothrix schenckii*
Lederindustrie, Pelzindustrie	Zoonosen, z. B. Milzbrand Erysipeloid Hautmykosen	 *Bacillus anthracis* *Erysipelothrix rhusiopathiae* *Trichophyton mentagrophytes*
Textilindustrie, Baumwoll-, Flachs-, Hanfspinnerei	Byssinose	Endotoxine, gramnegative Bakterien, *Erwinia herbicola*
Müllverarbeitung, Müllsortierung, Kompostieranlagen, Deponien	Allergien EAA ODTS Infektionen, z. B. Gastroenteritis Aspergillose, Aspergillom	Schimmelpilze, Actinomyceten, gramnegative Bakterien Enteroviren, Enterobakterien *Aspergillus fumigatus*
Großhandel, Lagerei, Brauerei, Getreidesilos (z. B. Malz, Nüsse, Kräuter)	EAA, z. B. Obstbauerlunge Malzarbeiterlunge Bagassose ODTS	 *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.* *Aspergillus clavatus*, *Mucor mucedo* *Thermoactinomyces sacchari* Endotoxine, gramnegative Bakterien

Tätigkeiten/Arbeitsbereiche	Mögliche Erkrankungen	Mögliche Erreger/Allergene/Toxine
Sägewerke, Holzverarbeitung, Papierwerke	Holzarbeiterlunge (EAA) ODTS	Schimmelpilze (*Alternaria, Aspergillus*), gramnegative Bakterien Endotoxine
Archive, Museen, Büchereien	ODTS Allergien	Endotoxine Schimmelpilze (*Penicillium* u.a.) gramnegative Bakterien
Druckereien luftbefeuchtete Räume (Raumlufttechnische Anlagen, Luftbefeuchter)	ODTS, z. B. Befeuchterfieber Pontiacfieber Befeuchterlunge (EAA) *Asthma bronchiale* Legionärskrankheit Sick-Building-Syndrom	 Endotoxine (gramnegative Bakterien) Endotoxine (*Legionella pneumophila*) gramnegative Bakterien Schimmelpilze, Actinomyceten *Legionella pneumophila* gramnegative Bakterien, Schimmelpilze
Metallver- und -bearbeitung (Kühlschmierstoffeinsatz)	Wundinfektion Lungeninfektion *Asthma bronchiale* Befeuchterlunge (EAA) Kontaktdermatitis	*Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus* *Acinetobacter calcoaceticus* Schimmelpilze, Bakterien
Schwimmbäder, Saunen, Whirlpools	Whirlpool-Dermatitis *Otitis media* Legionellose Hautmykosen Schwimmbad-Konjunktivitis Augen-, Lungeninfektion Gastroenteritis	*Pseudomonas aeruginosa* *Legionella pneumophila* Dermatophyten *Chlamydia trachomatis* Adenoviren, Reoviren Norwalk-, Rotaviren
Wäschereien	Hautmykosen Allergien	Dermatophyten Schimmelpilze
Bergwerke	Hautmykosen Leptospirose	*Trichophyton spp.* *Leptospira interrogans*
Kläranlagen, Kanalarbeiten	Hepatitis A Salmonellose Enterovirose Leptospirose	Hepatitis-A-Virus *Salmonella enteritidis* Echo-, Rotavirus *Leptospira interrogans*
Biotechnologie, Lebensmittelindustrie	Allergien Hautirritationen ODTS	biotechnologische Produkte, Schimmelpilze Proteasen von *Bacillus subtilis* 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 *Mycobacterium tuberculosis* *Bordetella pertussis* HIV-Virus

EAA = Exogen-allergische Alveolitis
ODTS = Organic Dust Toxic Syndrome
FSME = Frühsommer-Meningoenzephalitis

3.4 Literatur

[1] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BiostoffV) vom 15. Juli 2013. BGBl. I (2013), S. 2514; zul. geänd. BGBl. I (2021), S. 3115

[2] Richtlinie 2000/54/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (7. Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Abs. 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABl. EG (2000) Nr. L 262, S. 21; zul. geänd. Richtlinie 2020/739/EU, ABl. EU (2020) Nr. L 175, S. 11

[3] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufungskriterien für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA 450). Ausg. 6/2016. GMBl. (2016) Nr. 23, S. 445

[4] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (TRBA 460). Ausg. 7/2016. GMBl. (2016) Nr. 29/30, S. 562; zul. geänd. GMBl. (2023) Nr. 50, S. 1092

[5] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Viren und TSE-Agenzien in Risikogruppen (TRBA 462). Ausg. 4/2024. GMBl. (2024) Nr. 18, S. 372

[6] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Parasiten in Risikogruppen (TRBA 464). Ausg. 7/2013. GMBl. (2013) Nr. 31, S. 594-619 ; zul. geänd. GMBL. (2020) Nr. 45, S. 1013

[7] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Einstufung von Prokaryonten (*Bacteria* und *Archaea*) in Risikogruppen (TRBA 466). Ausg. 8/2015. GMBl. (2015) Nr. 46-50, S. 910; zul. geänd. GMBl. (2023) Nr. 16-24, S. 330

[8] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Liste der Zelllinien und Tätigkeiten mit Zellkulturen (TRBA 468). Ausg. 3/2023. GMBl. (2023) Nr. 16-24, S. 330-516; zul. geänd. GMBl. (2024) Nr. 12, S. 242

[9] DGUV Informationen: Eingruppierung biologischer Agenzien: Viren (213-088). Hrsg.: BG RCI, Heidelberg 2011

[10] DGUV Informationen: Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Parasiten – Besondere Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Parasiten (213-089). Hrsg.: BG RCI, Heidelberg 2014

[11] DGUV Informationen: Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Prokaryonten (*Bacteria* und *Archaea*) (213-090). Hrsg.: BG RCI, Heidelberg 2015

[12] DGUV Informationen: Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Prokaryonten (*Bacteria* und *Archaea*) – Ergänzungsliste (213-091). Hrsg.: BG RCI, Heidelberg 2019

[13] DGUV Informationen: Einstufung biologischer Arbeitsstoffe: Pilze (213-092). Hrsg.: BG RCI, Heidelberg 2016

[14] DGUV Informationen: Zellkulturen – Einstufung biologischer Arbeitsstoffe (213-093). Hrsg.: BG RCI, Heidelberg 2022

[15] Datenbank zu sicherheitsbewerteten Organismen. Hrsg.: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit https://zag.bvl.bund.de/organismen/index.jsf?dswid=3879&dsrid=140

[16] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/2006. BArBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBl. (2024) Nr. 21, S. 411-412

[17] Richtlinie 2004/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit (Sechste Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG des Rates). ABl. EG (2004) Nr. L 158, S. 50–76; zul. geänd. Richtlinie (EU) 2024/869, ABl. EU Nr. L 2024/869

[18] Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 30. Lfg. IV/03. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg. www. ifa-arbeitsmappedigital.de/9420

[19] Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9430). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 32. Lfg. IV/04. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg. www. ifa-arbeitsmappedigital.de/9430

[20] Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9450). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 28. Lfg. IV/02. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg.
www. ifa-arbeitsmappedigital.de/9450

[21] Bestimmung der Konzentration Biologischer Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz – Erster Ringversuch „Schimmelpilze" (Kennzahl 9427). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 18. Lfg. IV/97. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/9427

[22] *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) Nr. 4, S. 129-136

[23] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luftgetragene Biostoffe (TRBA 405). Ausg. 12/2023. GMBl. (2023), Nr. 50, S. 1092-1103

[24] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (TRBA 430). BArbBl. (2001) Nr. 8, S. 79-83; aufgehoben BArbBl. (2003) Nr. 3, S. 68

[25] *Klug, K.; Martin, E.; Ernst, S.; Jäckel, U.*: Laborinterne Verfahrenskenngrößen der DAPI (4',6-Diamidino-2-phenylindol)-Gesamtzellzahlbestimmung in Bioaerosolproben von Arbeitsplätzen, Teil I: Zählung und Aufarbeitung nach Fixierung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 10, S. 399-403

[26] *Klug, K.; Jäckel, U.*: Laborinterne Verfahrenskenngrößen der DAPI (4´,6-Diamidino-2-phenylindol)-Gesamtzellzahlbestimmung in Bioaerosolproben von Arbeitsplätzen, Teil II: Aufarbeitungsvorschrift: Lager-, Fixier- Färbezeiten. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 10, S. 404-407

[27] *Klug, K.; Jäckel, U.*: Erfassung der Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen über die Arbeitsschicht mithilfe der Gesamtzellzahlbestimmung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 72 (2012) Nr. 9, S. 373-378

[28] VDI-Richtlinie 4253 Blatt 4: Bioaerosole und biologische Agenzien – Bestimmung der Gesamtzellzahl mittels Fluoreszenzanalyse nach Anfärbung mit DAPI (2/2013). Beuth, Berlin 2013

[29] DIN ISO 16000-20: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 20: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Bestimmung der Gesamtsporenanzahl (11/2015). Beuth, Berlin 2015

[30] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung und für die Unterrichtung der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (TRBA 400). Ausg. 3/2017. GMBl. (2017) Nr. 10-11, S. 158-182; zul. geänd. GMBl. (2018) Nr. 30, S. 589

[31] Mikroorganismen in der Arbeitsplatzatmosphäre – Aktino-myceten. KAN-Bericht 13, 2. Aufl. Hrsg.: Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa, Sankt Augustin 1999

[32] DIN EN 13098: Exposition am Arbeitsplatz – Messung von luftgetragenen Mikroorganismen und mikrobiellen Bestandteilen – Allgemeine Anforderungen (12/2019). Beuth, Berlin 2019

[33] *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

[34] *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

[35] *Kolk, A.; Van Gelder, R.; Schneider, G.; Gabriel, S.*: Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertung der IFA-Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 69 (2009) Nr. 4, S. 130-136

[36] *Deininger, C.*: Untersuchungen zur mikrobiellen Luftbelastung in 32 Wertstoffsortieranlagen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998) Nr. 3, S. 113-123

[37] *Felten, Ch.; Albrecht, A.; Missel, T.; Willer, E.*: Schimmelpilzkonzentrationen an Arbeitsplätzen in Kompostierungsanlagen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 1081. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2006

[38] Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe: Anlagen zur Behandlung und Verwertung von Abfällen (TRBA 214). Ausg. 7/2018. GMBl. (2018) Nr. 30, S. 574 ; zul. geänd. GMBl. (2021) Nr. 41, S. 900

[39] *Linsel, G.; Kummer, B.*: Endotoxine in der Luft am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998) Nr. 7/8, S. 281-287

[40] 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, Niederlande 1998

[41] Irritativ-toxische Wirkungen von luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen am Beispiel der Endotoxine. BArbBl. (2005) Nr. 6, S. 49-59

[42] *Duqenne, P., Marchand, G., Duchaine, C.*: Measurement of Endotoxins in Bioaerosols at Workplace: A Critical Review of Literature and a Standardization Issue. Ann. Occup. Hyg., 57 (2013) Nr. 2, S. 137-172

[43] *McKenziea, J.H., Alwis, K.U., Sordilloc, J.E., Kalluria, K.S., Miltond, D.K.*: Evaluation of lot-to-lot repeatability and effect of assay media choice in the recombinant Factor C assay. J. Environ. Monit. 13 (2013) Nr. 6, S. 1739-1745

[44] *Alwis, K.U., Milton, D.K.*: Recombinant factor C assay for measuring endotoxin in houese dust: comparison with LAL, and (1-› 3)-beta-D-glucans. Am. J. Ind. Med. 49 (2006) Nr. 4, S. 296-300

[45] *Liebers, V., Düser, M., Kendizia, B., Brüning, T., Raulf, M.*: Quantifizierung von Endotoxin mit dem rekombinanten Faktor-C-(rFC)-Test – Vergleich mit dem LAL-Test. Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft 79 (2019) Nr. 9, S. 337-341

[46] VDI 4254 Blatt 2: Bioaerosole und biologische Agenzien – Emissionsmessung von Endotoxinen (3/2022). Beuth, Berlin 2022

[47] Technische Luftbefeuchtung – Ein Informationsportal der BG ETEM. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse https://luftbefeuchtung.bgetem.de/

[48] VDI 6022 Blatt 1: Raumlufttechnik, Raumluftqualität – Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln) (1/2018). Beuth, Berlin 2018

[49] *Deininger, C.; Danhamer, E.; Kolk, A.; Warfolomeow, I.*: Biologische Einwirkungen. In: Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. 3. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2013

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

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

[52] Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2017 https://www.umweltbundesamt.de/schimmelleitfaden

4 Physikalische Einwirkungen – Lärm

4.1 Einführung und Erläuterungen

4.1.1 Gehörgefährdung

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

Tages-Lärmexpositionspegel nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) [1]:
$L_{EX,8h}$ in dB(A)

kann orts- und personenbezogen ermittelt werden (TRLV Lärm, Teil 1 [2]).

Wochen-Lärmexpositionspegel nach LärmVibrationsArbSchV:
$L_{EX,40h}$ in dB(A)

kann ausnahmsweise auf Antrag des Arbeitgebers anstelle des $L_{EX,8h}$ bestimmt werden, *„wenn die Lärmexposition von einem Tag zum anderen so stark schwankt, dass sich keine typische Lärmexposition für den Arbeitstag angeben lässt“* [2].

Spitzenwert des C-bewerteten Schalldruckpegels nach Lärm-VibrationsArbSchV:
$L_{pC,peak}$ in dB(C)

Terzband-Schalldruckpegel der Terz mit Mittenfrequenz 20 kHz als Grenzwert für Ultraschall [3]:
$L_{Terz,20kHz}$ in dB

AU-bewerteter Lärm-Expositionspegel nach VDI 3766 [4]:

$L_{EXAU,8h}$ in dB

Z-bewerteter Spitzenschalldruckpegel nach VDI 3766 [4]:
L_{Zpeak} in dB

erfasst in den Terzbändern mit Mittenfrequenzen von 20 Hz bis 40 kHz.

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

4.1.2 Extra-aurale Lärmwirkungen

Extra-aurale Lärmwirkungen sind diejenigen, die zu erhöhten psychischen oder physischen Beanspruchungen führen mit Ausnahme der Gehörgefährdung. Als Beispiele seien lärmbedingte Herz-Kreislauf-Effekte und Konzentrationsstörungen durch Umgebungsgeräusche genannt. Extra-aurale Lärmwirkungen werden bisher nicht als Berufskrankheit anerkannt. Zum Schutz vor extra-auralen Lärmwirkungen werden die Kenngrößen der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.7 „Lärm“ [5] angewandt. Diese sind:

Beurteilungspegel nach ASR A3.7 [5]:
L_r in dB

Kenngröße, die sich aus dem A-bewerteten äquivalenten Dauerschalldruckpegel L_{Aeq} mit Zuschlägen für Impuls- sowie Ton- und Informationshaltigkeit zusammensetzt:
$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T$

Impulszuschlag:
K_I

wird durch die Differenz des L_{Aleq} und L_{Aeq} gebildet und trägt der erhöhten Störwirkung durch impulshaltigen Schall Rechnung.

Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit:
K_T

berücksichtigt die Störwirkung von tonhaltigen Geräuschen und Geräuschen mit Informationen (z. B. Sprache); dieser Zuschlag wird durch die messende Person stufenweise zu 0, 3 oder 6 dB bestimmt.

Die Summe der Zuschläge ist auf 6 dB beschränkt.

4.1.3 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 [6] 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 [7].

4.2 Auslösewerte und maximal zulässige Expositionswerte

4.2.1 Gehörgefährdung

Auslösewerte/maximal zulässige Grenzwerte	Maßnahmen/Erläuterungen	Bestimmung
I) Untere Auslösewerte[1]: $L_{EX,8h}$ = 80 dB(A) oder $L_{pC,peak}$ = 135 dB(C)	Information und Unterweisung der Beschäftigten ($L_{EX,8h}$ ≥ 80 dB(A))	LärmVibrationsArbSchV § 11
	Bereitstellen geeigneter Gehörschützer ($L_{EX,8h}$ › 80 dB(A))	LärmVibrationsArbSchV § 8, Abs. 1
	Anspruch auf arbeitsmedizinische Vorsorge (Angebotsvorsorge) ($L_{EX,8h}$ › 80 dB(A))	ArbMedVV [8]
II) Obere Auslösewerte[1]: $L_{EX,8h}$ = 85 dB(A) oder $L_{pC,peak}$ = 137 dB(C)	Kennzeichnung von Lärmbereichen ($L_{EX,8h}$ › 85 dB(A))	LärmVibrationsArbSchV § 7, Abs. 4
	Lärmminderungsprogramm ($L_{EX,8h}$ › 85 dB(A))	LärmVibrationsArbSchV § 7, Abs. 5
	Benutzungspflicht für Gehörschützer ($L_{EX,8h}$ ≥ 85 dB(A))	LärmVibrationsArbSchV § 8, Abs. 3
	Veranlassung der arbeitsmedizinischen Vorsorge (Pflichtvorsorge) ($L_{EX,8h}$ ≥ 85 dB(A))	ArbMedVV [8]
III) Maximal zulässige Expositionswerte[2]: $L_{EX,8h}$ = 85 dB(A) oder $L_{pC,peak}$ = 137 dB(C)	Lärmbedingte Gehörschäden sind möglich	LärmVibrationsArbSchV § 8, Abs. 2
	Maximal zulässige Expositionswerte dürfen unter keinen Umständen überschritten werden	LärmVibrationsArbSchV § 8, Abs. 2
	Gründe der Überschreitung ermitteln	LärmVibrationsArbSchV § 8, Abs. 4
	Unverzüglich Maßnahmen einleiten, um die Exposition zu verringern	LärmVibrationsArbSchV § 8, Abs. 4
IV) $L_{Terz,20kHz}$ = 110 dB	Bleibende Gehörschäden durch Ultraschall sind nicht wahrscheinlich, wenn dieser Grenzwert nicht überschritten wird. Für höhere Frequenzen werden auch höhere Grenzwerte diskutiert.	VDI 2058 Blatt 2 [3]
V) $L_{EXAU,8h}$ = 85 dB L_{Zpeak} = 140 dB	Zur Vermeidung von Hörminderungen im Sprachfrequenzbereich verursacht durch Geräusche mit Ultraschallanteilen wird die Einhaltung dieser Richtwerte empfohlen.	VDI 3766 [4]

[1] Wirkung des Gehörschützers wird nicht berücksichtigt

[2] Wirkung des Gehörschützers wird berücksichtigt

4.2.2 Extra-aurale Lärmwirkungen

Grenzwerte	Maßnahmen/Erläuterungen	Bestimmung
L_r = 55 dB(A)	Grenzwert gilt für eine Tätigkeit der Tätigkeitskategorie I „hohe Konzentration oder hohe Sprachverständlichkeit“. Dies entspricht Tätigkeiten, die eine andauernd hohe Konzentration erfordern, weil für die Erbringung der Arbeitsleistung, z. B. schöpferisches Denken, eine kreative Entfaltung von Gedankenabläufen, exaktes sprachliches Formulieren, das Verstehen von komplexen Texten mit komplizierten Satzkonstruktionen, eine starke Zuwendung zu einem Arbeitsgegenstand oder -ablauf verbunden mit hohem Entscheidungsdruck, das Treffen von Entscheidungen mit großer Tragweite oder eine hohe Sprachverständlichkeit kennzeichnend sind. Geräusche können stören und zu vegetativen, physiologischen oder psychischen Reaktionen und Leistungsbeeinträchtigungen führen.	ASR A3.7 [5]
L_r = 70 dB(A)	Grenzwert gilt für eine Tätikgeit der Tätigkeitskategorie II „mittlere Konzentration oder mittlere Sprachverständlichkeit“. Dies entspricht beispielsweise Tätigkeiten, die wiederkehrende, ähnliche und leicht zu bearbeitende Aufgaben beinhalten oder das Treffen von Entscheidungen geringerer Tragweite (in der Regel ohne Zeitdruck). Geräusche können stören und zu vegetativen, physiologischen oder psychischen Reaktionen und Leistungsbeeinträchtigungen führen.	ASR A3.7 [5]

4.2.3 Grenzwerte für Schwangere

Grenzwerte	Maßnahmen/Erläuterungen	Bestimmung
$L_{EX,8h}$ = 80 dB(A)	Bei Überschreiten dieses Wertes des Tages-Lärmexpositionspegels kein Einsatz von Schwangeren.	§ 11 (3) MuSchG [9] in Verbindung mit Übereinkommen der Staatlichen Gewerbeärzte siehe auch TRLV Lärm Teil 1 (Fassung 2010), Abschnitt 6.7.2 und Anhang 2, (5)

4.2.4 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 Lärmminderung oder, falls dies nicht möglich ist, durch Verbesserung der Signalgeber die Wahrnehmbarkeit für alle Beschäftigten sichergestellt werden.

4.3 Literatur

[1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007) S. 261; zul. geänd. BGBl. I (2021), S. 3115

[2] Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung: Beurteilung der Gefährdung durch Lärm (TRLV Lärm Teil 1). Ausg. 8/2017. GMBl. (2017) Nr. 34/35, S. 592

[3] VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung (08/2020). Beuth, Berlin 2020

[4] VDI 3766: Ultraschall – Arbeitsplatz – Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung (09/2012). Beuth, Berlin 2012

[5] Technische Regel für Arbeitsstätten: Lärm (ASR A3.7). Ausg. 3/2021. GMBl. (2021) Nr. 24, S. 543

[6] DIN EN ISO 9921: Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation (02/2004). Beuth, Berlin 2004

[7] DIN EN ISO 7731: Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale (12/2008). Beuth, Berlin 2008

[8] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008. BGBl. I (2008), S. 2768; zul. geänd. BGBl. I (2019), S. 1082

[9] Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium (Mutterschutzgesetz – MuSchG) vom 23. Mai 2017. BGBl. I (2017), S. 1228; zul. geänd. BGBl. I (2019), S. 2652

Weiterführende Literatur

Fachinfos „Lärm“ auf der Webseite des IFA, https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/laerm/index.jsp

Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-400: Beurteilung der Lärmexposition nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – Akustische Grundbegriffe, Mess-Strategien, Berechnung des Lärmexpositionspegels und der Unsicherheit. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2019.

DIN EN ISO 9612: Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) (09/2009). Beuth, Berlin 2009

DIN 45645-2: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Teil 2: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereiches der Gehörgefährdung (09/2012). Beuth, Berlin 2012

5 Physikalische Einwirkungen – Vibrationen

5.1 Einführung und Erläuterung relevanter Grenzwerte in Normen und Verordnungen

Die Gefährdung der Gesundheit durch Vibrationen ist von der Einleitungsstelle in den menschlichen Körper, Art und Ausmaß der Vibrationseinwirkung und einer sich über Jahre hinweg fortsetzenden täglichen Wiederholung der Vibrationseinwirkung abhängig. Entsprechend der Einleitungsstelle von Vibrationen 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

In Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung [1] sind drei Berufskrankheiten (BKen) aufgeführt, die maßgeblich aufgrund von Vibrationen entstehen können:

- BK 2103: Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen

- BK 2104: Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen

- BK 2110: Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen, die zu chronischen oder chronisch-rezidivierenden Beschwerden und Funktionseinschränkungen (der Lendenwirbelsäule) geführt haben (siehe auch Merkblatt zur BK 2110 [2])

Vibrationseinwirkungen sind darüber hinaus mitwirkende Faktoren für die Berufskrankheit 2113 „Carpaltunnel-Syndrom“ [3] und die Berufskrankheit 2114 „Hypothenar-Hammer-Syndrom“ [4].

In den Merkblättern und wissenschaftlichen Empfehlungen zu den BKen werden Belastungen nur beschrieben, die zu den Krankheitsbildern führen können. Bisher werden dort für die BKen keine festen Grenzwerte formuliert. Im Gegensatz dazu gibt es im Bereich der Prävention Grenzwerte für Hand-Arm-Vibrationen und Ganzkörper-Vibrationen. Ausgangspunkt ist 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) [5]. Sie 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 [6] veröffentlicht worden und 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 [7, 8] umgesetzt worden, im Übrigen durch die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007, in Kraft getreten am 9. März 2007 [9]. Darin ist gleichlautend mit der EG-Richtlinie für den auf acht Stunden normierten Tages-Vibrationsexpositionswert A(8) der tägliche Expositionsgrenzwert für Hand-Arm-Vibrationen auf $A(8) = 5\ m/s^2$ festgesetzt, der tägliche Auslösewert auf $A(8) = 2{,}5\ m/s^2$. Für Ganzkörper-Vibrationen beträgt der tägliche Expositionsgrenzwert $A(8) = 1{,}15\ m/s^2$ in x- und y-Richtung und – abweichend von der EG-Richtlinie – $A(8) = 0{,}8\ m/s^2$ in z-Richtung. Der tägliche Auslösewert beträgt $A(8) = 0{,}5\ m/s^2$ in allen drei Schwingungsrichtungen.

Daraus ergibt sich ein Ampelsystem der Belastung:

grün – A(8) kleiner oder gleich Auslösewert
gelb – A(8) zwischen Auslöse- und Expositionsgrenzwert
rot – A(8) oberhalb Expositionsgrenzwert

Die Vibrationsbelastung der Arbeitnehmer darf den Expositionsgrenzwert nicht überschreiten. Die Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Vibrationen [10]) konkretisieren die Verordnung. Wenn Arbeitgeber die dort beispielhaft genannten Maßnahmen anwenden, können sie die Vermutung der Einhaltung der Vorschriften der LärmVibrationsArbSchV für sich geltend machen.

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 angemessene Information und Schulung der Arbeitnehmer, Begrenzung der Dauer und Intensität der Exposition, zweckmäßige Arbeitsplänge 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 allgemeine arbeitsmedizinische Beratung der Beschäftigten sicherzustellen. Eine arbeitsmedizinische Vorsorge 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 die DGUV Empfehlung „Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen“ [11].

Tabelle 1:
Korrekturfaktoren (Quelle: VDI 2057-2 [14])

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

5.2 Bestimmung von A(8)

Die EU-Richtlinie verweist zur Bestimmung des Tages-Vibrationsexpositionswertes A(8) (Tages-Schwingungsbelastung) im Anhang auf die Norm ISO 5349-1 [12] für Hand-Arm-Vibration und für Ganzkörper-Vibration auf die Norm ISO 2631-1 [13]. Beide Normen werden in der Neufassung der VDI-Richtlinie 2057 [14] berücksichtigt.

Die LärmVibrationsArbSchV verweist nicht auf einzelne Normen, sondern vielmehr darauf, dass der Stand der Technik zu berücksichtigen ist. Die Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung ist für Hand-Arm- und Ganzkörper-Schwingungen getrennt vorzunehmen.

5.2.1 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung für Hand-Arm-Schwingungen

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:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \qquad (1)$$

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

$$a_{hv} = c \cdot a_{hw} \qquad (2)$$

Daraus ergibt sich der Tages-Vibrationsexpositionswert, der auch als Tages-Schwingungsbelastung $[a_{hv(8)} = A(8)]$ bezeichnet wird, wie folgt:

$$a_{hv(8)} = a_{hv} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_0}} \qquad (3)$$

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 oder Arbeitsgänge), so berechnet sich $a_{hv(8)}$ wie folgt:

$$a_{hv(8)} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \cdot \sum_{i=1}^{n} a_{hvi}^2 \, T_i} \qquad (4)$$

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

5.2.2 Berechnung der Tages-Schwingungsbelastung für Ganzkörper-Schwingungen

Die Tages-Schwingungsbelastung oder Beurteilungsbeschleunigung $A_l(8)$ wird zunächst in den drei Raumrichtungen l = {x, y, z} separat ausgewertet [15]. Bei n Arbeitsgängen ergibt sie sich aus den Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung analog zu Gleichung (4). Zusätzlich wird noch ein richtungsabhängiger Faktor k_l berücksichtigt:

$$A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a_{wli}^2 T_i} \qquad (5)$$

mit

T_0	=	8h Bezugseinwirkungsdauer
T_i	=	Einwirkungsdauer des i-ten Belastungsabschnittes, z. B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs in Stunden
a_{wli}	=	energieäquivalenter Mittelwert der frequenzbewerteten Beschleunigung der i-ten Tätigkeit, z. B. des jeweiligen Gerätes bzw. Arbeitsgangs
$\{k_x = k_y = 1{,}4$ $k_z = 1{,}0\}$		richtungsabhängige Faktoren für das Kriterium Gesundheit [14]

Der Tages-Vibrationsexpositionswert A(8) ist diejenige Tages-Schwingungsbelastung $A_l(8)$,

- die im Vergleich mit den anderen im höheren Bereich des Ampelsystems liegt (rot vor gelb vor grün)
- oder die am schnellsten zum Expositionsgrenzwert führt (bei mehreren Auslösewertüberschreitungen)
- oder die am größten ist (falls nur eine oder keine Auslösewertüberschreitung voliegt).

5.3 Richtwertkurven für die Prävention

5.3.1 Richtwertkurve Hand-Arm-Schwingungen

Entlang der in Abbildung 1 gezeigten Richtwertkurve [14] gilt $a_{hv(8)}(a_{hv}, T_e) = 2{,}5\ m/s^2$ (Gleichung 3). Bei Belastungen, gekennzeichnet durch Wertepaare a_{hv} und T_e, die oberhalb der Richtwertkurve liegen, werden Präventionsmaßnahmen empfohlen.

Hilfestellungen zur Abschätzung der Einwirkungsdauer bei der Benutzung einzelner Arbeitsmaschinen enthält DIN V 45 694 [16].

Die Ankopplungskräfte sind maßgeblich für die Schwingungsübertragung auf das Hand-Arm-System. Sie werden nach DIN 45679 [17] gemessen und bewertet. Bei der überwiegenden Anzahl der handgehaltenen Maschinen liegt die Ankopplungskraft zwischen 80 und 200 N. Für diese Maschinen liegt der Korrekturwert zwischen -15 und +10 % und damit im Bereich der Messunsicherheit. Eine Beurteilung der Ankopplungskräfte wird daher hier nur in besonderen Fällen notwendig sein.

5.3.2 Richtwertkurve Ganzkörper-Schwingungen

In der Neufassung der VDI 2057-1 [14] wird für Ganzkörper-Schwingungen entsprechend ISO 2631-1:1997 ein Bereich möglicher Gesundheitsgefährdung definiert (Abbildung 2).

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

Für die Vibrationseinwirkung in Gebäuden (Neuanlagen) gibt die Richtlinie VDI 2057-3:2017 Anhaltswerte für die Arbeitsplatzgestaltung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anforderungen. Tabelle 2 entspricht inhaltlich auch der Tabelle 1 im Teil 1 der TRLV Vibrationen [10]. Weil es sich um Werte zum Kriterium „Schwingungswahrnehmung und Wohlbefinden“ handelt, werden die Werte $a_{w,x}$, $a_{w,y}$ für die horizontalen Schwingungsrichtungen nicht mit dem Faktor 1,4, sondern mit 1,0 multipliziert, um a_w zu erhalten.[1]

[1] Die genannten Anhaltswerte beziehen sich ausdrücklich nicht auf Gesundheitsgefährdungen

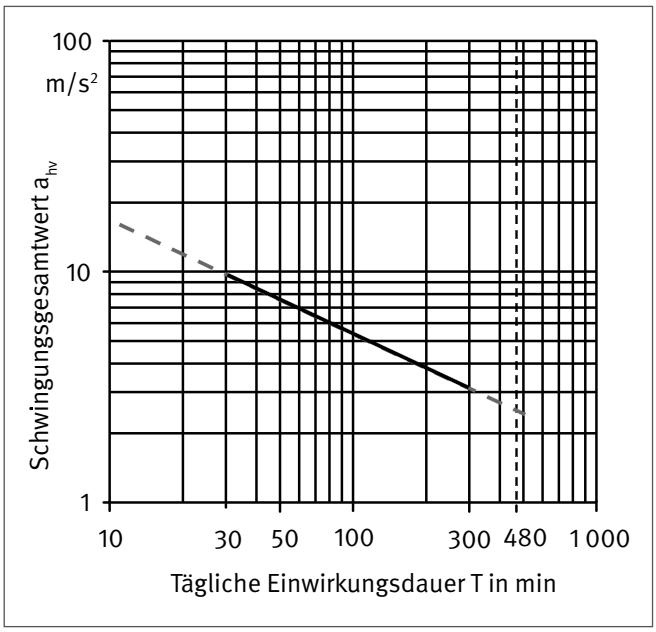


Abbildung 1:
Richtwertkurve als Grundlage für die Prävention in Abhängigkeit vom Schwingungsgesamtwert und der täglichen Einwirkungsdauer (Quelle: VDI 2057-2 [14])

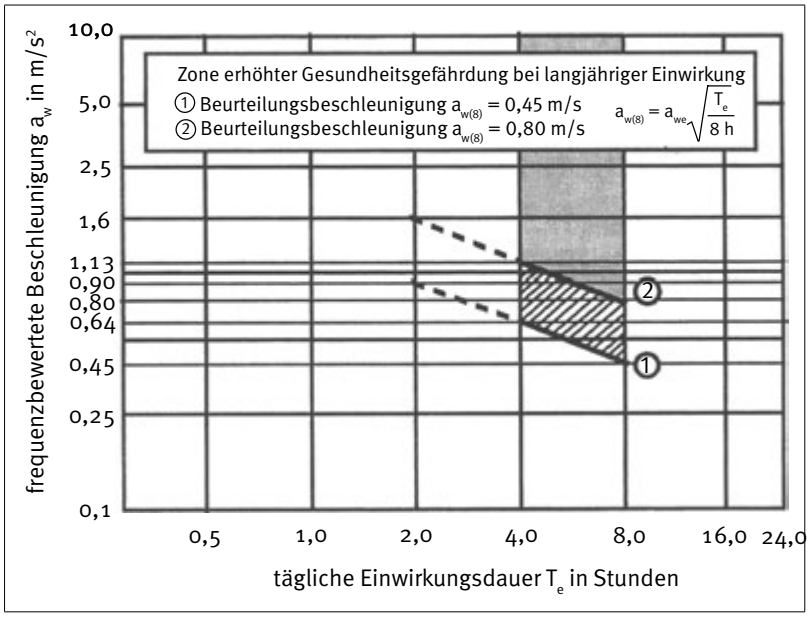


Abbildung 2:
Gesundheitsgefährdung in Abhängigkeit vom Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung und der täglichen Einwirkungsdauer; die dargestellte Beziehung sagt nicht das Risiko für ein bestimmtes Individuum voraus, das zu einer Gruppe von Personen gehört, die derselben Schwingungsbelastung ausgesetzt sind (VDI 2057-1 [14])

Tabelle 2:
Anhaltswerte in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anforderungsarten [14]

Einwirkungsorte	In x-, y-, z-Richtung jeweils		
	a_w in m/s²	$a_{w(8)}$ in m/s²	max. $\{a_{wF}(t)\}$ in m/s²
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	

max. $\{a_{WF}(t)\}$: für stark stoßhaltige Anregungen
Maximalwert des gleitenden Effektivwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung mit der Integrationszeitkonstanten t = 0,125 c

Die Anhaltswerte liegen unterhalb des Auslösewertes der LärmVibrationsArbSchV. Durch die Vibrationseinwirkung in Gebäuden kann es aber mittelbar zu Gefährdungen kommen (z. B. Unfälle), sodass in diesem Fall auch Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind.

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

5.4 Einfaches Verfahren zur Gefährdungsanalyse

5.4.1 Punktwerte für Hand-Arm-Schwingungen

Das Verfahren nach DIN V 45694 [16] 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 Einwirkungsdauer T_e (Exposition). Diese Punktwerte können aus Tabelle 3 (siehe Seite 180) abgelesen werden.

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

Zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung wird der Punktwert der Gesamt-Schwingungsbelastung dem Expositionsbereich zugeordnet (siehe Tabelle 4), woraus sich nach der LärmVibrationsArbSchV die jeweiligen Maßnahmen durch den Arbeitgeber ergeben.

Weiterführende Informationen sowie ein Kennwertrechner können im Internetangebot des IFA unter https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-vibration/software-gefaehrdungsbeurteilung-fuer-hand-arm-vibrationen/index.jsp abgerufen werden.

5.4.2 Punktwerte für Ganzkörper-Schwingungen

Ein ähnliches Verfahren zur Gefährdungsanalyse mithilfe von Punktwerten existiert auch für Ganzkörper-Schwingungen [18]. 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-Schwingungen sind jedoch die unterschiedlichen Expositionsgrenzwerte zu beachten.

Auch bei Ganzkörper-Schwingungen wird der Auslösewert 0,5 m/s² mit dem Punktwert 100 verknüpft. Für den Expositionsgrenzwert 0,8 m/s² für die z-Schwingungsrichtung ergibt sich ein Punktwert von 256, für den Expositionsgrenzwert 1,15 m/s² 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 abgelesen und miteinander verglichen werden. Tabelle 6 unterstützt die Beurteilung und führt erforderliche Maßnahmen auf.

Wenn mehrere Maschinen an einem Tag genutzt werden, können auch für Ganzkörper-Schwingungen die Einzelpunktwerte $P_{E,i}$ zu einem Ergebnis für die Summenpunktzahl $P_{E,tot}$ (Tabelle 6) additiert werden. Daraus ergeben sich die erforderlichen Maßnahmen.

Tabelle 3:
Bestimmung der gerundeten Punktwerte PE der Schwingungsbelastung aus dem äquivalenten Schwingungsgesamtwert und der zugehörigen Einwirkungsdauer nach Richtlinie 2002/44/EG [5] – Hand-Arm-Vibration

Äquialenter Schwingungs-gesamtwert $a_{hv, eq}$ in m/s²	Einwirkungsdauer T_e									
	0,1 h 6 min	0,2 h 12 min	0,5 h 30 min	1 h 60 min	2 h 120 min	3 h 180 min	4 h 240 min	5 h 300 min	6 h 360 min	8 h 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	1 024
8,5	14	29	72	145	289	434	578	723	867	1 156
9	16	32	81	162	324	486	648	810	972	1 296
9,5	18	36	90	181	361	542	722	903	1 083	1 444
10	20	40	100	200	400	600	800	1 000	1 200	1 600
10,5	22	44	110	221	441	662	882	1 103	1 323	1 764
11	24	48	121	242	484	726	968	1 210	1 452	1 936
11,5	26	53	132	265	529	794	1 058	1 323	1 587	2 116
12	29	58	144	288	576	864	1 152	1 440	1 728	2 304
12,5	31	63	156	313	625	938	1 250	1 563	1 875	2 500
13	34	68	169	338	676	1 014	1 352	1 690	2 028	2 704
13,5	36	73	182	365	729	1 094	1 458	1 823	2 187	2 916
14	39	78	196	392	784	1 176	1 568	1 960	2 352	3 136
14,5	42	84	210	421	841	1 262	1 682	2 103	2 523	3 364
15	45	90	225	450	900	1 350	1 800	2 250	2 700	3 600
15,5	48	96	240	481	961	1 442	1 922	2 403	2 883	3 844
16	51	102	256	512	1 024	1 536	2 048	2 560	3 072	4 096
16,5	54	109	272	545	1 089	1 634	2 178	2 723	3 267	4 356
17	58	116	289	578	1 156	1 734	2 312	2 890	3 468	4 624
17,5	61	123	306	613	1 225	1 838	2 450	3 063	3 675	4 900
18	65	130	324	648	1 296	1 944	2 592	3 240	3 888	5 184
18,5	68	137	342	685	1 369	2 054	2 738	3 423	4 107	5 476
19	72	144	361	722	1 444	2 166	2 888	3 610	4 332	5 776
19,5	76	152	380	761	1 521	2 282	3 042	3 803	4 563	6 084
20	80	160	400	800	1 600	2 400	3 200	4 000	4 800	6 400

Tabelle 4:
Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber aufgrund von Hand-Arm-Vibrations-Schwingungsbelastung nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [5]

Punktwert $P_{E,tot}$ der Gesamtschwingungsbelastung	Tagesexpositionswert A(8)	Expositionsbereich	Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber
$P_{E,tot} < 100$	$A(8) < 2{,}5\ m/s^2$	Auslösewert nicht überschritten	Nur Maßnahmen bei mittelbaren Gefährdungen erforderlich. Das Minimierungsgebot nach Arbeitsschutzgesetz bleibt davon unberührt [Absenken der Risiken durch Vibrationseinwirkung auf ein Minimum (Stand der Technik) und Bedienern Informationen und Schulung zur Vibrationsminderung bereitstellen]
$P_{E,tot} = 100$	$A(8) = 2{,}5\ m/s^2$	Auslösewert erreicht	Beschäftigte sind über Gesundheitsgefährdungen zu unterweisen.
$100 < P_{E,tot} < 400$	$2{,}5\ m/s^2 < A(8) < 5\ m/s^2$	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 DGUV Empfehlungen „Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen“ [11] anzubieten und eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung ist sicherzustellen.
$400 = P_{E,tot}$	$5\ m/s^2 = A(8)$	Expositionsgrenzwert erreicht	Regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen nach DGUV Empfehlungen „Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen“ [11] sind zu veranlassen.
$400 < P_{E,tot}$	$5\ m/s^2 \leq A(8)$	Expositionsgrenzwert erreicht oder überschritten	Zusätzlich zur Vorsorgeuntersuchung ist die Schwingungsbelastung unverzüglich unter den Grenzwert abzusenken.

Tabelle 5:
Bestimmung der Punktwerte P_E der Schwingungsbelastung aus dem äquivalenten Schwingungsgesamtwert und der zugehörigen Einwirkungsdauer nach Richtlinie 2002/44/EG [5] – Ganzkörper-Vibration

Äquivalenter Vibrationswert $a_{we} = k \cdot a_{w,eq}$ [m/s²]	Einwirkungsdauer T_e									
	0,1 h 6 min	0,2 h 12 min	0,5 h 30 min	1 h 60 min	2 h 120 min	3 h 180 min	4 h 240 min	5 h 300 min	6 h 360 min	8 h 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	1 024
1,65	14	27	68	136	272	408	545	681	817	1 089
1,7	14	29	72	145	289	434	578	723	867	1 156
1,75	15	31	77	153	306	459	613	766	919	1 225
1,8	16	32	81	162	324	486	648	810	972	1 296
1,85	17	34	86	171	342	513	685	856	1 027	1 369
1,9	18	36	90	181	361	542	722	903	1 083	1 444
1,95	19	38	95	190	380	570	761	951	1 141	1 521
2	20	40	100	200	400	600	800	1 000	1 200	1 600
2,05	21	42	105	210	420	630	841	1 051	1 261	1 681
2,1	22	44	110	221	441	662	882	1 103	1 323	1 764
2,15	23	46	116	231	462	693	925	1 156	1 387	1 849

Äquialenter Vibrationswert $a_{we} = k \cdot a_{w,eq}$ [m/s²]	Einwirkungsdauer T_e									
	0,1 h 6 min	0,2 h 12 min	0,5 h 30 min	1 h 60 min	2 h 120 min	3 h 180 min	4 h 240 min	5 h 300 min	6 h 360 min	8 h 480 min
2,2	24	48	121	242	484	726	968	1 210	1 452	1 936
2,25	25	51	127	253	506	759	1 013	1 266	1 519	2 025
2,3	26	53	132	265	529	794	1 058	1 323	1 587	2 116
2,35	28	55	138	276	552	828	1 105	1 381	1 657	2 209
2,4	29	58	144	288	576	864	1 152	1 440	1 728	2 304
2,45	30	60	150	300	600	900	1 201	1 501	1 801	2 401
2,5	31	63	156	313	625	937	1 250	1 563	1 875	2 500

Tabelle 6:
Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber aufgrund von Schwingungsbelastung nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [5]

Schwingungsrichtung z		Schwingungsrichtungen x, y (inkl. Faktor 1,4)			
Punktwert der Gesamtschwingungsbelastung	Tagesexposition A(8)	Punktwert der Gesamtschwingungsbelastung	Tagesexposition	Expositionsbereich	Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber
$P_{E,tot} < 100$	$A(8) < 0{,}5\ m/s^2$		$A(8) < 0{,}5\ m/s^2$	Auslösewert nicht überschritten	Nur Maßnahmen bei mittelbaren Gefährdungen erforderlich. Das Minimierungsgebot nach Arbeitsschutzgesetz bleibt davon unberührt [Absenken der Risiken durch Vibrationseinwirkung auf ein Minimum (Stand der Technik) und Bedienern Informationen und Schulung zur Vibrationsminderung bereitstellen].
$P_{E,tot} = 100$	$A(8) = 0{,}5\ m/s^2$	$P_{E,tot} = 100$	$A(8) = 0{,}5\ m/s^2$	Auslösewert erreicht	Beschäftigte sind über Gesundheitsgefährdungen zu unterweisen.
$100 < P_{E,tot} < 256$	$0{,}5\ m/s^2 < A(8)$ und $A(8) < 0{,}8\ m/s^2$	$100 < P_{E,tot} < 529$	$0{,}5\ m/s^2 < A(8) < 1{,}15\ m/s^2$	Auslösewert überschritten, aber unter dem Expositionsgrenzwert	Zusätzlich zur Unterweisung ist ein Aktionsprogramm zur Verringerung der Exposition durch Vibrationen durchzuführen. Den Beschäftigten ist eine Vorsorge nach DGUV Empfehlungen „Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen“ [11] anzubieten und eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung ist sicherzustellen.
$P_{E,tot} = 256$	$A(8) = 0{,}8\ m/s^2$	$P_{E,tot} = 529$	$A(8) = 1{,}15\ m/s^2$	Expositionsgrenzwert erreicht	Regelmäßige Vorsorge nach DGUV Empfehlungen „Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen“ [11] ist zu veranlassen.

Schwingungsrichtung z		Schwingungsrichtungen x, y (inkl. Faktor 1,4)			
Punktwert der Gesamt-schwingungs-belastung	Tagesexposi-tion A(8)	Punktwert der Gesamt-schwingungs-belastung	Tagesexposi-tion	Expositions-bereich	Erforderliche Maßnahmen durch den Arbeitgeber
$P_{E,tot} = 256$	A(8) = 0,8 m/s²	$P_{E,tot} = 529$	A(8) = 1,15 m/s²	Exposi-tionsgrenzwert überschritten	Zusätzlich zur Vorsorge ist die Schwingungsbelastung unverzüg-lich unter den Grenzwert abzu-senken.

5.5 Literatur

[1] Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) vom 31. Oktober 1997. BGBl. I (1997), S. 2623 ; zul. geänd. BGBl. I (2021), S. 2245

[2] Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2110 vom 1. Juni 2005. BArbBl. (2005) Nr. 7, S. 43 ; ber. BArbBl. (2005) Nr.8/9, S. 46

[3] Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Druckschädigung des Nervus medianus im Carpaltunnel (CarpaltunnelSyndrom) durch repetitive manuelle Tätigkeiten mit Beugung und Streckung der Handgelenke, durch erhöhten Kraftaufwand der Hände oder durch Hand-ArmSchwingungen“. GMBl. (2009) Nr. 27, S. 573

[4] Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Gefäßschädigung der Hand durch stoßartige Krafteinwirkung (HypothenarHammer-Syndrom und Thenar-Hammer-Syndrom)“. GMBl. (2012) Nr. 25, S. 449

[5] Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 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 (2002) Nr. L 177, S. 13-20 ; zul. geänd. Verordnung (EU) 2019/1243, ABl. EU (2019) Nr. L 198, S. 241

[6] Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit. ABl. EG (1989) Nr. L 183, S. 1-8 ; zul. geänd. Verordnung (EG) Nr. 1137/2008, ABl. EG (2008) Nr. L 311, S. 1

[7] Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung – GesBergV) vom 31. Juli 1991. BGBl. I (1991), S. 1751; zul. geänd. BGBl. I (2021), S. 5261

[8] Zweite Verordnung zur Änderung bergrechtlicher Verordnungen vom 10. August 2005. BGBl. I, S. 2452

[9] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261; zul. geänd. BGBl. I (2021), S. 3115

[10] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – TRLV Vibrationen, Teile 1 bis 3. Ausg. 3/2015. GMBl. (2015) Nr. 25-26, S. 482 www.baua.de/trlv

[11] DGUV Empfehlungen „Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen“. In: DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen. 1. Aufl. 2022. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Gentner, Stuttgart 2022

[12] DIN EN ISO 5349: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Beuth, Berlin
Teil 1: Allgemeine Anforderungen (12/2001).
Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (12/2015)

[13] ISO 2631-1: Mechanische Schwingungen und Stöße – Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (05/1997). Beuth, Berlin 1997

[14] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Beuth, Berlin
Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen (08/2017)
Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen (03/2016)
Blatt 3: Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden (03/2017)

[15] DIN EN 14253: Mechanische Schwingungen – Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit (02/2008). Beuth, Berlin 2008

[16] DIN DEN/TR 15350: Mechanische Schwingungen – Anleitung zur Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen aus Angaben zu den benutzten Maschinen einschließlich Angaben von den Maschinenherstellern (12/2022). Beuth, Berlin 2022

[17] DIN 45679: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Ankopplungskräfte zur Beurteilung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems (02/2013). Beuth, Berlin 2013

[18] Mohr, D.: Expositionspunkte für Ganzkörper-Schwingungen. Hrsg.: Landesamt für Arbeitsschutz, Potsdam
https://lavg.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/GKV_Tafel.pdf

6 Physikalische Einwirkungen – Thermische Belastungen

6.1 Klimatische Belastungen

6.1.1 Erläuterungen

Klimatische Belastungen (Klimaempfinden) des menschlichen Körpers werden hauptsächlich durch die Klimafaktoren Luft- und Umgebungsflächentemperatur, relative Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung sowie durch individuelle Faktoren beeinflusst.

Zu den individuellen Faktoren zählt zum einen der Gesamtenergieumsatz des Menschen. Die innere Wärmeproduktion eines Menschen ist u. a. abhängig vom Stoffwechsel. Bei völliger Ruhe hat der erwachsene Mensch einen Grundumsatz von ca. 100 Watt. Der Stoffwechsel wird durch jegliche Aktivitäten erhöht. Zum Beispiel beträgt der Gesamtenergieumsatz bei mittelschwerer Arbeit an Werkzeugmaschinen 250 Watt, bei Schwerstarbeit sind Spitzenbelastungen von › 465 Watt möglich.

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.

Darüber hinaus wirken das Geschlecht, das Alter, die Jahreszeit, die Beleuchtung, Gerüche, Stresssituationen, Nahrungsaufnahme und physisches sowie psychisches Wohlbefinden auf das klimatische Empfinden ein.

Da die wichtigsten inneren Organe des Menschen nur in einem Temperaturbereich um 37 °C voll funktionsfähig sind, verfügt das Thermoregulationssystem des Menschen über Mechanismen, die für eine konstante Körperkerntemperatur sorgen. Je nach Arbeitsenergieumsatz kann sich der menschliche Körper in gewissen Grenzen wechselnden Zuständen des Umgebungsklimas anpassen. Werden diese Grenzen überschritten, gerät der Wärmehaushalt des Menschen aus dem Gleichgewicht. Dies führt 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.

Trotz einer guten Gesamtklimabewertung können auch einzelne Klima- und Belastungsfaktoren bei Über- oder Unterschreitung gewisser Grenzbereiche kurzfristiges Unbehagen oder bei längerer Einwirkung Erkrankungen hervorrufen.

6.1.2 Beanspruchungsbereiche

Das Klima am Arbeitsplatz kann in drei Beanspruchungsbereiche unterteilt werden [1; 2]:

- Behaglichkeitsbereich
- Erträglichkeitsbereich
- Ausführbarkeitsbereich

Die Unterteilung in Erträglichkeits- und Ausführbarkeitsbereich gilt sowohl für kühle bis sehr kalte als auch für warme bis sehr heiße Arbeitsumgebungen (Kältebereich sowie Warm- und Hitzebereich). 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: Wärmezu- und -abfuhr sind ausgeglichen.

Im Erträglichkeitsbereich liegen Belastungssituationen und/oder klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben bzw. vermehrter Muskeltätigkeit (Muskelzittern) und Beanspruchungen des Herz-Kreislauf-Systems führen. Bei längeren Einwirkungen ergeben sich Störungen des Klimaempfindens. Der Erträglichkeitsbereich beschreibt somit Belastungssituationen, die nicht unmittelbar zu gesundheitlichen Schäden führen, jedoch die Leistungsfähigkeit des Menschen herabsetzen. Arbeitspausen von ausreichender Zahl und Dauer, regelmäßiger Ausgleich des Flüssigkeitsverlustes (ggf. verbunden mit der Zuführung von Mineralstoffen), Wahl angemessener Kleidung usw. können die körperliche Belastung mindern, die Leistungsfähigkeit erhalten und gesundheitliche Probleme in der Regel ausschließen.

Im Ausführbarkeitsbereich liegen Beanspruchungen vor, die möglicherweise gesundheitsgefährdende Bereiche erreichen können (z. B. Körperkerntemperatur steigt an bzw. sinkt ab). Daher sind Tätigkeiten im sehr kalten Bereich oder im Hitzebereich auf das absolute Mindestmaß zu begrenzen. Personen, die sich in diesen Bereichen aufhalten, müssen in die Pflichtvorsorge nach der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge [3] bzw. den DGUV Empfehlungen „Hitzearbeiten“ [4] aufgenommen werden. In bestimmten Fällen sind bei Arbeiten unter hohen Temperaturen oder Hitzebelastungen oder in bestimmten Regionen Tropentauglichkeitsuntersuchungen erforderlich.

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	etwas warm		neutral		etwas kühl	kühl	kalt
PPD in %	99	75	25	10	5	10	25	75	99

6.1.3 Klimabewertung

Eine einfache Bewertung des Raumklimas im Behaglichkeits- und Warmbereich kann ohne großen Messaufwand mithilfe der DGUV Information 215-510 [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 Handlungsbedarf zum Raumklima besteht. Dabei handelt es sich um eine recht grobe Abschätzung. Sollten detaillierte Informationen benötigt werden, müssen Fachleute hinzugezogen werden.

6.1.3.1 Behaglichkeitsbereich

Für eine umfassende Bewertung der Behaglichkeit werden der PMV- und der PPD-Index zugrunde gelegt (PMV: predicted mean vote; deutsch: vorausgesagtes mittleres Votum; PPD: predicted percentage of dissatisfied; deutsch: vorausgesagter Anteil Unzufriedener). Diese aus empirischen Untersuchungen ermittelten Indizes werden aus den Kombinationen der Klimafaktoren und dem Wärmedurchgang der Kleidung berechnet. Bei einem Wert von PMV = 0 wird das Raumklima 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 wird der PPD-Index in drei Stufen (A, B, C) von Unzufriedenheit mit 6, 10 und 15 % eingeteilt. In der Regel sollte eine Unzufriedenheit von nicht mehr als 10 % angestrebt werden.

Der PMV- und der PPD-Index berücksichtigen den Einfluss des Raumklimas auf den gesamten Körper (mittleres Körperempfinden). Sind Teile des Körpers jedoch unterschiedlichen klimatischen Belastungen ausgesetzt, kann ein lokales Unbehagen auftreten, z. B. bei kalten oder zu warmen Fußböden. 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 Mischlüftung darf der Turbulenzgrad von 30 bis 60 % schwanken. In Räumen mit Verdrängungslüftung oder ohne maschinelle Lüftung darf er geringer sein. Entsprechend der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.6 [7] dürfen Beschäftigte keiner unzumutbaren Zugluft ausgesetzt sein. Bei einer Lufttemperatur von + 20 °C tritt bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit unter 0,15 m/s und einem Turbulenzgrad von 40 % üblicherweise keine unzumutbare Zugluft auf.

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

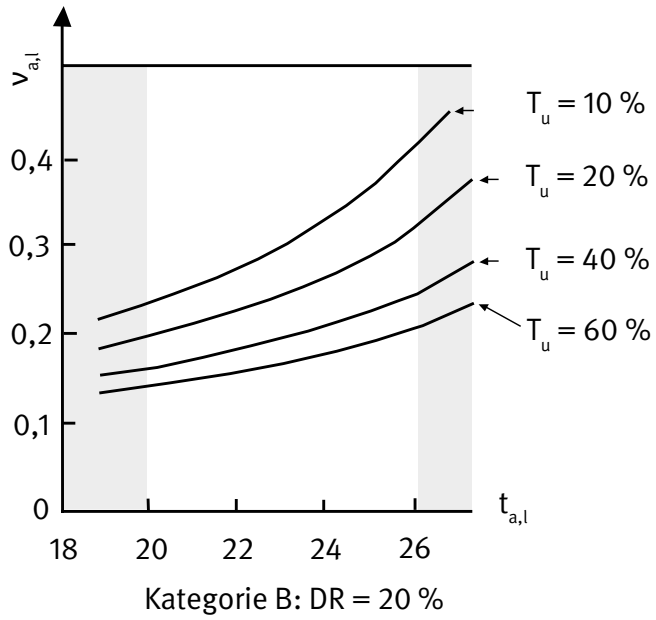
Fußbodentemperatur
Sowohl zu warme als auch zu kalte Fußböden werden als unbehaglich empfunden. Die Fußbodentemperatur soll zwischen 19 und 29 °C liegen.

Asymmetrie der Strahlungstemperatur
Differenzen bei den Temperaturen der Umschließungsflächen (z. B. kalte Fensterflächen, warme Decken) können zum lokalen Unbehagen führen. Die Temperaturdifferenz zwischen einer warmen Decke und dem Fußboden sollte maximal bei 5 °C liegen, diejenige zwischen einer kalten Wand und der gegenüberliegenden Wand maximal bei 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 16798-3 [8], in der Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen beschrieben werden, ist eine Befeuchtung und Entfeuchtung der Raumluft in der Regel nicht erforderlich. Sowohl die ASR A3.5 als auch die ASR A3.6 geben aus physiologischen Gründen maximal zulässige relative Luftfeuchten in Abhängigkeit von der Lufttemperatur an (Tabelle 2). Liegen die Werte für die relative Luftfeuchte darüber, wird das Raumklima als schwül empfunden.

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



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

Tabelle 2:
Maximal zulässige relative Luftfeuchten entsprechend ASR A3.5 [9] und ASR A3.6 [7]

Fallen betriebstechnisch oder arbeitsbedingt Feuchtelasten an, sollen nach ASR A3.6 folgende Werte nicht überschritten werden		Werden bei Lufttemperaturen über 26 °C in Arbeitsräumen Technologien zur Kühlung genutzt, die die Luftfeuchte erhöhen, dürfen nach ASR A3.5 folgende Werte nicht überschritten werden	
Lufttemperatur in °C	Luftfeuchte in %	Lufttemperatur in °C	Luftfeuchte in %
+ 20	80	+ 26	55
+ 22	70	+ 28	50
+ 24	62	+ 30	44
+ 26	55	+ 32	39
-	-	+ 35	33

Es ist umstritten, inwieweit trockene Luft den Menschen nachhaltig in seiner Gesundheit, seinem Wohlbefinden und seiner Leistungsfähigkeit beeinträchtigt. Auch die landläufige Vorstellung, dass durch zu trockene Luft die Schleimhäute austrocknen und sich dadurch Krankheitserreger leichter ansiedeln können, ist nicht eindeutig bewiesen. Im Rahmen einer aktuellen Literaturstudie wurden die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu diesem Thema ermittelt [10, 11]. Die Studie schließt an ein Review aus dem Jahr 2007 an [12]. Dabei zeigten sich für die betrachteten Aspekte des Einflusses von trockener Raumluft auf die Gesundheit von Haut, Augen und Schleimhäute der Atemwege sowie auf die Übertragung krankheitserregender Keime keine bzw. keine gesicherten Effekte. Bei Beschwerden über zu trockene Luft sind vielmehr Kombinationseffekte aus Luftfeuchte, Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit sowie Verunreinigungen der Luft, u. a. durch Staub und ausdünstende Stoffe zu berücksichtigen.

Sofern die Luftfeuchte nicht über einen längeren Zeitraum in einen Bereich von 10 bis 20 % fällt, ist eine ständige Befeuchtung nicht ratsam, zumal die befeuchtete Luft zum Teil als stickig empfunden wird. Vielmehr sollte

zunächst versucht werden, über eine Veränderung des Luftwechsels und eine niedrigere Temperatur die Luftqualität im Raum zu verbessern.

Operative Temperatur
Die Wirkung der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur wird in der Regel durch die operative Temperatur als Summenmaß beschrieben, die häufig verkürzt auch nur als Raumtemperatur bezeichnet wird. Die optimale operative Temperatur und den zulässigen Temperaturbereich als Funktion der Bekleidung und der Aktivität finden sich in [6].

Entsprechend der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.5 [9] sind während der gesamten Arbeitszeit die in Tabelle 3 aufgeführten Mindestlufttemperaturen zu gewährleisten.

Tabelle 3:
Mindestlufttemperaturen in Arbeitsräumen in Abhängigkeit von der Körperhaltung und der Arbeitsschwere nach ASR A3.5 [9]

Überwiegende Körperhaltung	Arbeitsschwere		
	leicht	mittel	schwer
Sitzen	+ 20 °C	+ 19 °C	-
Stehen, Gehen	+ 19 °C	+ 17 °C	+ 12 °C

Darüber hinaus soll nach ASR A3.5 die Lufttemperatur 26 °C nicht überschreiten. Dabei wird vorausgesetzt, dass geeignete Sonnenschutzsysteme vorhanden sind. Bei Außentemperaturen über 26 °C gilt folgende Stufenregelung:

Steigt die Lufttemperatur über 26 °C sollen in diesem Bereich zusätzliche Maßnahmen wie effektive Steuerung des Sonnenschutzes, Reduzierung thermischer Lasten und ggf. zusätzliche organisatorische Maßnahmen ergriffen werden. Liegt die Lufttemperatur über 30 °C müssen wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Beanspruchung ergriffen werden; technische und organisatorische Maßnahmen haben dabei Vorrang vor persönlichen Maßnahmen. Steigt die Lufttemperatur auf mehr als 35 °C an, so ist der Arbeitsbereich ohne technische, organisatorische und persönliche Maßnahmen nicht als Arbeitsraum geeignet und ist wie ein Hitzearbeitsbereich zu behandeln.

6.1.3.2 Kältebereich

Die Bewertung des Raumklimas im Kältebereich kann mithilfe der DIN EN 15743 [13] ohne großen Messaufwand erfolgen. Anhand von sieben Fragen lassen sich kälteinduzierte Probleme identifizieren. Darüber hinaus kann Teil 5 der DIN 33403 [14] herangezogen werden. Er beschreibt vor allem die ergonomischen und organisatorischen Aspekte der Arbeit bei tiefen Raumtemperaturen. Dies ist sinnvoll, da diese Arbeitsbereiche meist technologisch bedingt tiefe Temperaturen aufweisen. Dazu zählen z. B. die Lebensmittelproduktion, einige Bereiche in Schlachthöfen sowie Kühl- und Gefrierhäuser. Die Maßnahmen, die hier getroffen werden können, zeigen vor allem in Richtung Persönliche Schutzausrüstung und Expositionszeitbegrenzung mit entsprechenden Aufwärmphasen.

Bei Tätigkeiten mit extremer Kältebelastung (-25 °C und kälter) ist entsprechend der ArbMedVV eine arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge zu veranlassen. Dazu kann das Kapitel „Kältearbeiten“ der DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen herangezogen werden.

6.1.3.3 Warmbereich

Zur Bewertung des Raumklimas im Warmbereich kann u. a. die Norm DIN EN ISO 7243 [15] herangezogen werden. Mithilfe des einfachen Klimasummenmaßes WBGT-Index (WBGT, wet bulb globe temperature) wird die Erträglichkeit der Klimabelastung beurteilt. Dazu müssen in Räumen lediglich die natürliche Feuchttemperatur t_{nw} und die Globetemperatur t_g gemessen werden. Bei Einwirkung von Sonnenstrahlung ist zusätzlich die Lufttemperatur t_a zu bestimmen. Diese drei Temperaturen werden in einer einfachen Formel verknüpft:

Innerhalb und außerhalb von Gebäuden ohne direkte Wirkung von Sonneneinstrahlung gilt

$$WBGT = 0{,}7 \cdot t_{nw} + 0{,}3 \cdot t_g$$

Außerhalb von Gebäuden bei Einwirkung von Sonneneinstrahlung gilt

$$WBGT = 0{,}7 \cdot t_{nw} + 0{,}2 \cdot t_g + 0{,}1 \cdot t_a$$

Werden die in Tabelle 4 angegebenen Richtwerte überschritten, so müssen Maßnahmen getroffen werden, um die Wärmebelastung in geeigneter Weise zu senken. Dabei kommen als Maßnahmen z. B. eine Änderung der Schwere der körperlichen Tätigkeit oder eine Verkürzung der Expositionszeit infrage.

6.1.3.4 Hitzebereich

Eine einfache Bewertung für den Hitzebereich kann mithilfe der DGUV Information 213-022 [16] erfolgen. Anhand weniger Fragen kann die Belastung abgeschätzt werden.

Zur umfassenden Beurteilung des Klimas im Hitzebereich werden in DIN 33403-3 [17] verschiedene Klimasummenmaße vorgeschlagen. Neben dem WBGT-Index kann u. a. die Normal-Effektivtemperatur (NET) herangezogen

werden. Da die NET die Wärmestrahlung nicht berücksichtigt, sind die in Tabelle 5 angegebenen Orientierungsbereiche allerdings nur gültig, wenn die Temperatur der umschließenden Flächen weitgehend identisch mit der Lufttemperatur ist. Überschreiten die Belastungsgrößen die jeweiligen Grenzbereiche, so sind Maßnahmen zur Minderung der Belastung erforderlich (DGUV Information 213-002 [18]. Beschäftigte, die Hitzearbeiten durchführen, müssen laut Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) in die Pflichtvorsorge aufgenommen werden. Die Beurteilung, ob eine Untersuchung zu erfolgen hat, richtet sich nach der Arbeitsmedizinischen Regel AMR 13.1 [19] und den DGUV Empfehlungen „Hitzearbeiten".

Nach AMR 13.1 erfolgt die Beurteilung anhand von typischen Arbeitsverfahren und -bereichen (z. B. Arbeiten an vorgewärmten Pfannen, Flämmen von warmen Brammen, Arbeiten an und in Behältern, Kesseln und Industrieöfen) oder verschiedener Kriterien (z. B. Lufttemperatur über 45 °C und Beschäftigungsdauer › 15 Minuten, Lufttemperatur über 30 °C mindestens vier Stunden pro Schicht und gleichzeitig hohe Luftfeuchte). Des Weiteren werden auch Arbeitsverfahren und -bereiche aufgeführt, bei denen keine Belastung mit extremer Hitze vorliegt (z. B. Tätigkeiten mit jahreszeitlich bedingter oder kurzzeitig hoher Wärmebelastung).

Zur Beurteilung von Hitzearbeit nach den DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen werden als Klimasummenmaß NET (Tabelle 6) und die Effektive Bestrahlungsstärke (Tabelle 7) verwendet. Mit der Beurteilung wird festgestellt, ob die Voraussetzungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge erfüllt sind. Die muskuläre Belastung wird in leicht, mittelschwer und schwer bis sehr schwer unterteilt (Tabelle 8).

Tabelle 4:
Richtwerte für den WBGT-Index [15]

Energieumsatz (Klasse)	Energieumsatz in W	WBGT-Richtwert für akklimatisierte Personen in °C	WBGT-Richtwert für nicht akklimatisierte Personen in °C
0 (ruhend)	115	33	32
1 (niedrig)	180	30	29
2 (mittel)	300	28	26
3 (hoch)	415	26	23
4 (sehr hoch)	520	25	20

Tabelle 5:
Orientierungsbereiche für Dauerexposition auf der Grundlage der Normal-Effektivtemperatur (NET) für akklimatisierte Personen [17]

Arbeitsenergieumsatz AU in W	Orientierungsbereich für NET in °C
AU ≤ 130	31 ‹ NET ≤ 33
130 ‹ AU ≤ 200	28 ‹ NET ≤ 31
200 ‹ AU ≤ 270	24 ‹ NET ≤ 28
270 ‹ AU ≤ 330	20 ‹ NET ≤ 24
330 ‹ AU ≤ 380	16 ‹ NET ≤ 20
380 ‹ AU ≤ 420	12 ‹ NET ≤ 16
AU › 420	NET ≤ 12

Tabelle 6:
Richtwerte der Normaleffektivtemperatur (NET) in °C zur Einstufung von Hitzearbeit in Abhängigkeit von der Expositionszeit [4]

Arbeitsenergieumsatz in W	ununterbrochene Expositionszeit in min			
	‹ 15	15 bis 30	31 bis 60	› 60
Gruppe 1	**ständig exponierte, hitzeadaptierte Beschäftigte**			
Stufe 1: 100	—	› 36	36	34
Stufe 2: 200	—	36	34	32
Stufe 3: 300	—	34	32	30
Stufe 4: › 300	35	32	30	(entfällt)
Gruppe 2	**gelegentlich exponierte, nicht hitzeadaptierte Beschäftigte**			
Stufe 1: 100	—	› 36	34	(entfällt)
Stufe 2: 200	—	34	32	(entfällt)
Stufe 3: 300	35	32	30	(entfällt)
Stufe 4: › 300	35	30	28	(entfällt)

Tabelle 7:
Richtwerte der effektiven Bestrahlungsstärke in W/m² zur Einstufung von Hitzearbeit in Abhängigkeit von der Expositonszeit [4]

Arbeitsenergieumsatz in W	ununterbrochene Expositionszeit in min			
	‹ 15	15 bis 30	31 bis 60	› 60
Gruppe 1	**ständig exponierte, hitzeadaptierte Beschäftigte**			
Stufe 1: 100	1 000	750	500	300
Stufe 2: 200	750	500	300	200
Stufe 3: 300	500	300	200	100
Stufe 4: › 300	250	200	100	(entfällt)
Gruppe 2	**gelegentlich exponierte, nicht hitzeadaptierte Beschäftigte**			
Stufe 1: 100	1 000	500	300	(entfällt)
Stufe 2: 200	750	300	200	(entfällt)
Stufe 3: 300	500	200	100	(entfällt)
Stufe 4: › 300	250	100	35	(entfällt)

Tabelle 8:
Einteilung des Arbeitsenergieumsatzes (AU) und des Gesamtenergieumsatzes (EU) nach Tätigkeitsarten [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) • Tätigkeiten mit Hand und Arm (kleine Handwerkzeuge, Inspektion, Zusammenbau oder Sortieren von leichten Gegenständen) • Tätigkeit mit Arm und Bein (Fahren eines Fahrzeuges unter üblichen Bedingungen, Betätigen eines Fußschalters oder Pedals) • Kontrollgänge, Kranführer aller Art, Fahrer von Flurförderzeugen, Elektriker für Steuer- und Regelanlagen, Tätigkeiten in Schaltwarten, Brenner in der keramischen Industrie
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) • Anfänger an Glasöfen, Betriebsschlosser, Abbrechen von Glas mittels Brecher, Eisengießer mit Hebezeug, Vulkaniseur
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, Ofenmaurer bei Heißreparaturen, Gemengeeinleger von Hand in Glashütten, Schmelzer, Eisengießer (Handguss), Handflämmer
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, schnelles Gehen mit kleinen Schritten)

6.1.4 Literatur

[1] DIN SPEC 33428: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Grundlagen zur Klimaermittlung (06/2019). Beuth, Berlin 2019

[2] DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen (03/2021). Beuth, Berlin 2021

[3] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (Arbeitsmedizinische Vorsorgeverordnung – ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008. BGBl. I (2008), S. 2768; zul. geänd. BGBl. I (2019), S. 1082

[4] DGUV Empfehlungen „Hitzearbeiten“. In: DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen. 1. Aufl. 2022. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Gentner, Stuttgart 2022

[5] DGUV Information: Beurteilung des Raumklimas (215-510). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2016

[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 (05/2006). Beuth, Berlin 2006

[7] Technische Regel für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). Ausg. 1/2012. GMBl. (2012) Nr. 22, S. 92; zul. geänd. GMBl. (2018) Nr. 24, S. 474

[8] DIN EN 16798-3: Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme (11/2017). Beuth, Berlin 2017

[9] Technische Regel für Arbeitsstätten: Raumtemperatur (ASR A3.5) Ausg. 6/2010. GMBl. (2010) Nr. 35, S. 751; zul. geänd. GMBl. (2022) Nr. 9-11, S. 198

[10] *Bux, K.; von Hahn, N.*: „Trockene Luft" – Literaturstudie zu den Auswirkungen auf die Gesundheit. BAuA Bericht (2020). https://doi.org/10.21934/baua:bericht20200624

[11] *von Hahn, N.; Bux, K.*: Trockene Luft – aktuelle Literaturrecherche zu ihren Auswirkungen auf die Gesundheit. Gefahrstoffe – Reinhaltg. Luft 80 (2020) Nr. 9, S. 361-366

[12] *von Hahn, N.*: „Trockene Luft" und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 67 (2007) Nr. 3, S. 103-107

[13] DIN EN ISO 15743: Ergonomie der thermischen Umgebung – Arbeitsplätze in der Kälte – Risikobewertung und Management (11/2008). Beuth, Berlin 2008

[14] DIN 33403-5: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen (01/1997). Beuth, Berlin 1997

[15] DIN EN ISO 7243: Ergonomie der thermischen Umgebung – Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (12/2017). Beuth, Berlin 2017

[16] DGUV Information: Beurteilung von Hitzearbeit – Tipps für Wirtschaft, Verwaltung, Dienstleistung (213-022). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2011

[17] DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße (07/2011). Beuth, Berlin 2011

[18] DGUV Information: Hitzearbeit; Erkennen – beurteilen – schützen (213-002). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2013

[19] Arbeitsmedizinische Regel: Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können (AMR 13.1). Ausg. 2/2021. GMBl. (2021) Nr. 7-8, S. 167-169

Weiterführende Literatur

DIN EN ISO 11399: Ergonomie des Umgebungsklimas – Grundlagen und Anwendung relevanter Internationaler Normen (04/2001). Beuth, Berlin 2001

DIN EN ISO 15265: Ergonomie der thermischen Umgebung – Strategie zur Risikobeurteilung zur Abwendung von Stress oder Unbehagen unter thermischen Arbeitsbedingungen (11/2004). Beuth, Berlin 2004

6.2 Berührungen heißer Oberflächen

6.2.1 Erläuterungen

Beim Berühren 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 und die Struktur der Oberfläche sowie
- die Dauer des Kontaktes zwischen der Oberfläche und der Haut.

Schwellenwerte der Oberflächentemperatur, ab der eine Verbrennung auftritt, wurden vom IFA für verschiedene Materialien und für verschiedene Kontaktzeiten ermittelt. Sie können der Norm DIN EN ISO 13732-1 [1] entnommen werden.

6.2.2 Grenzwerte

Eine rechtsverbindliche Festlegung von höchstzulässigen Temperaturen heißer Oberflächen zum Schutz vor Verbrennungen erfolgte bisher nur in einzelnen Bereichen. Zur Umsetzung der EU-Maschinenverordnung [2] im Hinblick auf Gefährdungen durch heiße Oberflächen (Nr. 1.5.5 des Anhangs III der Verordnung) wurde die Norm DIN EN ISO 13732-1 in die Liste der harmonisierten Normen [3] aufgenommen. Ihre Anwendung löst daher die Vermutung der Konformität mit der Richtlinie aus.

Darüber hinaus gibt es in einer Reihe von Produktnormen Festlegungen für maximal zulässige Oberflächentemperaturen. Teils dienen diese Festlegungen zum Schutz vor Verbrennungen bei der Berührung, 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.

6.2.3 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 zu entnehmen, wie solche Grenzwerte für verschiedene Oberflächen und verschiedene Berührungssituationen festgelegt werden können.

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

6.2.4 Literatur

[1] DIN EN ISO 13732-1: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsverfahren für menschliche Reaktionen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 1: Heiße Oberflächen (12/2008). Beuth, Berlin 2008

[2] Verordnung (EU) 2023/1230 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2023 über Maschinen und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/42/EG und der Richtlinie 73/361/EWG . ABl. EU (2023) Nr. L 165, S. 1; zul. geänd. ABl. EU (2023) Nr. L 169, S. 35

[3] Durchführungsbeschluss (EU) 2023/1586 der Kommission vom 26. Juli 2023 über die harmonisierten Normen für Maschinen zur Unterstützung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. ABl. EU (2023) Nr. L 194, S. 45

6.3 Berührungen kalter Oberflächen

6.3.1 Erläuterungen

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

- Oberflächeneigenschaften des berührten Gegenstandes,
- Temperatur der kalten Oberfläche und der Umgebung,
- Dauer des Kontaktes zwischen der Haut und der Oberfläche,
- Merkmale der Haut und 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.

6.3.2 Grenzwerte

Eine für alle Bereiche rechtsverbindliche Festlegung von niedrigstzulässigen Temperaturen kalter Oberflächen zum Schutz vor Kälteschädigungen erfolgte bisher nicht. Im Bereich der Maschinensicherheit wurde zur Umsetzung der EU-Maschinenverordnung [2] im Hinblick auf Gefährdungen durch kalte Oberflächen (Nr. 1.5.5 des Anhangs III der Verordnung) die Norm DIN EN ISO 13732-3 in die Liste der harmonisierten Normen [3] aufgenommen. Ihre Anwendung löst daher die Vermutung der Konformität mit der Richtlinie aus.

6.3.3 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 Umfangs können die Schwellenwerte hier nicht abgedruckt werden. Es wird auf DIN EN ISO 13732-3 [1] verwiesen.

6.3.4 Literatur

[1] DIN EN ISO 13732-3: Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsmethoden für Reaktionen des Menschen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 3: Kalte Oberflächen (12/2008). Beuth, Berlin 2008

[2] Verordnung (EU) 2023/1230 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2023 über Maschinen und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/42/EG und der Richtlinie 73/361/EWG. ABl. EU (2023) Nr. L 165, S. 1; zul. geänd. ABl. EU (2023) Nr. L 169, S. 35

[3] Durchführungsbeschluss (EU) 2023/1586 der Kommission vom 26. Juli 2023 über die harmonisierten Normen für Maschinen zur Unterstützung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. ABl. EU (2023) Nr. L 194, S. 45

7 Physikalische Einwirkungen – Strahlung

7.1 Ionisierende Strahlung

7.1.1 Erläuterungen

Der höherenergetische Bereich des elektromagnetischen Spektrums (größer 12 eV), wird der ionisierenden Strahlung zugeordnet. Dieser umfasst sowohl Wellen- (Röntgen-, Gammastrahlung) als auch Teilchenstrahlung (Alpha-, Beta-, Neutronenstrahlung usw.) mit einer Wellenlänge kleiner 100 nm bzw. einer Frequenz größer 3 PHz.

Grundlegend wird bei der Einwirkung ionisierender Strahlung unterschieden zwischen:

- deterministischen Strahlenschäden (dosisabhängige Schädigung vieler Zellen führt zu Hautrötungen, Haarausfall, Erbrechen, ...) und
- stochastischen Strahlenschäden (erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Schädigung weniger Zellen führt langfristig zu Krebs oder genetischen Veränderungen).

Im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] sind Grenzwerte (siehe Kapitel 7.1.2) bezüglich der Berufslebensdosis, für beruflich exponierte Personen und für die Exposition der Bevölkerung aufgeführt. Diese sind sowohl auf eine äußerliche Einwirkung, als auch auf eine innerliche Exposition durch Aufnahme des radioaktiven Stoffes anzuwenden. Es ist zu beachten, dass alle auftretenden Expositionen zu berücksichtigen sind und diese insgesamt den Dosisgrenzwert nicht überschreiten. Für die Ermittlung der effektiven Dosis müssen sowohl der Strahlungswichtungsfaktor (Strahlungsart), als auch der Gewebewichtungsfaktor (betroffenes Organ bzw. Gewebe) herangezogen werden.

7.1.2 Grenzwerte

Im StrlSchG sind allgemein gültige Grenzwerte für verschiedene Personengruppen festgelegt:

§ 77 (StrlSchG)
Grenzwert für die Berufslebensdosis

Der Grenzwert für die Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosis beruflich exponierter Personen beträgt 400 Millisievert. Die zuständige Behörde kann im Benehmen mit einem ermächtigten Arzt eine zusätzliche berufliche Exposition zulassen, wenn diese nicht mehr als 10 Millisievert effektive Dosis im Kalenderjahr beträgt und die beruflich exponierte Person einwilligt. Die Einwilligung ist schriftlich zu erteilen.

Tabelle 1:
Grenzwerte für beruflich exponierte Personen (§ 77 und § 78 des StrlSchG) [1]

	Beruflich exponierte Personen	
	über 18 Jahre	unter 18 Jahren
Effektive Dosis	20 (50)[1] mSv/Jahr	1 (6)[1] mSv/Jahr
Augenlinse	20 mSv/Jahr	15 mSv/Jahr
Lokale Hautdosis	500 mSv/Jahr	50 (150)[1] mSv/Jahr
Hände, Unterarme, Füße, Knöchel	500 mSv/Jahr	50 (150)[1] mSv/Jahr
Weitere Grenzwerte:		
Berufslebensdosis, bezogen auf alle Berufsjahre	400 mSv	–
Gebärmutterdosis bei gebärfähigen Frauen	2 mSv/Monat	–
Effektive Dosis eines ungeborenen Kindes bis zum Ende der Schwangerschaft	1 mSv	–

[1] Einzelfallregelungen siehe § 78 StrlSchG.

§ 78 (StrlSchG)
Grenzwert für beruflich exponierte Personen

(1) Der Grenzwert der effektiven Dosis beträgt für beruflich exponierte Personen 20 Millisievert im Kalenderjahr. Die zuständige Behörde kann im Einzelfall für ein einzelnes Jahr eine effektive Dosis von 50 Millisievert zulassen, wobei in fünf aufeinander folgenden Jahren insgesamt 100 Millisievert nicht überschritten werden dürfen.

(2) Der Grenzwert der Organ-Äquivalentdosis beträgt für beruflich exponierte Personen

1. *für die Augenlinse 20 Millisievert im Kalenderjahr,*
2. *für die Haut, gemittelt über jede beliebige Hautfläche von einem Quadratzentimeter, unabhängig von der exponierten Fläche, (lokale Hautdosis) 500 Millisievert im Kalenderjahr und*
3. *für die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 500 Millisievert im Kalenderjahr.*

Für die Organ-Äquivalentdosis der Augenlinse gilt Absatz 1 Satz 2 entsprechend.

(3) Für beruflich exponierte Personen unter 18 Jahren beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis 1 Millisievert im Kalenderjahr. Der Grenzwert der Organ-Äquivalentdosis beträgt

1. für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr,
2. für die lokale Hautdosis 50 Millisievert im Kalenderjahr,
3. für die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 50 Millisievert im Kalenderjahr.

Abweichend davon kann die zuständige Behörde für Auszubildende und Studierende im Alter zwischen 16 und 18 Jahren einen Grenzwert von 6 Millisievert im Kalenderjahr für die effektive Dosis und jeweils 150 Millisievert im Kalenderjahr für die Organ-Äquivalentdosis der Haut, der Hände, der Unterarme, der Füße und Knöchel zulassen, wenn dies zur Erreichung des Ausbildungszieles notwendig ist.

(4) Bei gebärfähigen Frauen beträgt der Grenzwert für die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter 2 Millisievert im Monat. Für ein ungeborenes Kind, das auf Grund der Beschäftigung der Mutter einer Exposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 Millisievert.

(5) Die Befugnis der zuständigen Behörde nach der Rechtsverordnung nach § 79 Absatz 1 Satz 2 Nummer 1, unter außergewöhnlichen, im Einzelfall zu beurteilenden Umständen zur Durchführung notwendiger spezifischer Arbeitsvorgänge Expositionen zuzulassen, die von den Grenzwerten der Absätze 1 und 2 und Absatz 4 Satz 1 abweichen, bleibt unberührt.

§ 80 (StrlSchG)
Grenzwerte für die Exposition der Bevölkerung

(1) Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der Summe der effektiven Dosen 1 Millisievert im Kalenderjahr durch Expositionen aus

1. genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Tätigkeiten nach diesem Gesetz oder dem Atomgesetz,
2. der staatlichen Verwahrung von Kernbrennstoffen nach § 5 Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes,
3. der planfeststellungsbedürftigen Errichtung, dem planfeststellungsbedürftigen Betrieb oder der planfeststellungsbedürftigen Stilllegung der in § 9a Absatz 3 des Atomgesetzes genannten Anlagen des Bundes und
4. dem Aufsuchen, Gewinnen oder Aufbereiten von radioaktiven Bodenschätzen, wenn dies der Betriebsplanpflicht nach § 51 des Bundesberggesetzes unterliegt.

(2) Der Grenzwert der Summe der Organ-Äquivalentdosen für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt

1. für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und
2. für die lokale Hautdosis 50 Millisievert im Kalenderjahr.

(3) Expositionen auf Grund nichtmedizinischer Anwendung nach § 83 Absatz 1 Nummer 2 werden bei den Grenzwerten für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht berücksichtigt.

(4) Die zuständige Behörde hat darauf hinzuwirken, dass bei mehreren zu betrachtenden genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Tätigkeiten die in den Absätzen 1 und 2 genannten Grenzwerte insgesamt eingehalten werden.

Aufbauend auf dem Strahlenschutzgesetz sind in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2], je nach exponierter Personengruppe, weitere Grenzwerte festgelegt.

§ 71 (StrlSchV)
Kategorien beruflich exponierter Personen

(1) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass beruflich exponierte Personen zur Kontrolle und ärztlichen Überwachung vor Aufnahme ihrer Tätigkeit einer der folgenden Kategorien zugeordnet werden:

1. Beruflich exponierte Personen der Kategorie A: Personen, die einer beruflichen Exposition aus Tätigkeiten ausgesetzt sind, die im Kalenderjahr zu einer effektiven Dosis von mehr als 6 Millisievert, einer höheren Organ-Äquivalentdosis als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel oder einer lokalen Hautdosis von mehr als 150 Millisievert führen kann;
2. Beruflich exponierte Personen der Kategorie B: Personen, die nicht in die Kategorie A eingestuft sind und die einer beruflichen Exposition aus Tätigkeiten ausgesetzt sind, die im Kalenderjahr zu einer effektiven Dosis von mehr als 1 Millisievert, einer höheren Organ-Äquivalentdosis als 50 Millisievert für die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel oder einer lokalen Hautdosis von mehr als 50 Millisievert führen kann.

(2) Beim anzeigebedürftigen Betrieb eines Luftfahrzeugs hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass die von ihm als fliegendes Personal eingesetzten beruflich exponierten Personen vor Aufnahme ihrer Tätigkeit den Kategorien zugeordnet werden:

1. Beruflich exponierte Personen der Kategorie A: Personen, deren Einsatz als fliegendes Personal während des Fluges zu einer effektiven Dosis durch kosmische Strahlung von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr führen kann;
2. Beruflich exponierte Personen der Kategorie B: Personen, die nicht in die Kategorie A eingestuft sind und deren Einsatz als fliegendes Personal während des Fluges zu einer effektiven Dosis durch kosmische Strahlung von mehr als 1 Millisievert im Kalenderjahr führen kann.

Der Flug umfasst auch die aufgewendete Zeit für die Positionierung nach § 13 Satz 1 der Zweiten Durchführungsverordnung zur Betriebsordnung für Luftfahrtgerät.

(3) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die Zuordnung angepasst wird, wenn abzusehen ist, dass eine Person, die in die Kategorie B eingestuft wurde, die Werte für eine Einstufung in Kategorie A erreicht.

§ 73 (StrlSchV)
Dosisbegrenzung bei Überschreitung von Grenzwerten

Wurde unter Verstoß gegen § 78 des Strahlenschutzgesetzes ein Grenzwert im Kalenderjahr überschritten, so ist eine Weiterbeschäftigung als beruflich exponierte Person nur zulässig, wenn der Strahlenschutzverantwortliche dafür sorgt, dass 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 ermächtigten Arzt Ausnahmen zulassen.

§ 74 (StrlSchV)
Besonders zugelassene Expositionen

(1) Unter außergewöhnlichen, im Einzelfall zu beurteilenden Umständen kann die zuständige Behörde zur Durchführung notwendiger spezifischer Arbeitsvorgänge berufliche Expositionen abweichend von § 78 Absatz 1, 2 und 4 Satz 1 des Strahlenschutzgesetzes zulassen. Für diese besonders zugelassene Exposition beträgt für eine Person im Berufsleben

1. der Grenzwert der effektiven Dosis 100 Millisievert,
2. der Grenzwert der Organ-Äquivalentdosis für die Augenlinse 100 Millisievert,
3. der Grenzwert der Organ-Äquivalentdosis für die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel jeweils 1 Sievert,
4. der Grenzwert der lokalen Hautdosis 1 Sievert

Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die Grenzwerte nach Satz 2 eingehalten werden.

(2) Einer besonders zugelassenen Exposition dürfen nur Freiwillige ausgesetzt werden, die beruflich exponierte Personen der Kategorie A sind. Ausgenommen von solchen Expositionen sind Auszubildende und Studierende sowie schwangere Personen und, wenn die Möglichkeit einer Inkorporation radioaktiver Stoffe oder Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann, stillende Personen.

(3) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass eine besonders zugelassene Exposition im Voraus auf ihre Rechtfertigung geprüft wird. Er hat dafür zu sorgen, dass Personen, die einer besonders zugelassenen Exposition ausgesetzt werden, über die mit den Arbeitsvorgängen und der Exposition verbundenen Risiken und über die während der Arbeitsvorgänge zu ergreifenden Schutzmaßnahmen unterrichtet werden. Der Betriebsrat oder der Personalrat, die Fachkräfte für Arbeitssicherheit, der Betriebsarzt und der ermächtigte Arzt sind zu beteiligen.

(4) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die durch eine besonders zugelassene Exposition verursachte Körperdosis unter Berücksichtigung der Expositionsbedingungen ermittelt wird. Die ermittelte Körperdosis ist in den Aufzeichnungen nach § 167 des Strahlenschutzgesetzes und in den Aufzeichnungen des ermächtigten Arztes getrennt von den übrigen Ergebnissen der Messungen und Ermittlungen der Körperdosis einzutragen. Die besonders zugelassene Exposition ist bei der Summe der in allen Kalenderjahren ermittelten effektiven Dosen nach § 77 des Strahlenschutzgesetzes zu berücksichtigen.

(5) Wurden bei einer besonders zugelassenen Exposition die Grenzwerte nach § 78 Absatz 1, 2 oder 4 Satz 1 des Strahlenschutzgesetzes überschritten, so ist diese Überschreitung allein kein Grund, die Person ohne ihr Einverständnis von ihrer bisherigen Beschäftigung auszuschließen.

Neben den bisher dargestellten Expositionssituationen, wird im Strahlenschutzgesetz auf weitere Szenarien eingegangen:

- Medizinische Forschung (Teil 2, Kapitel 2, Abschnitt 5)
- Tätigkeiten im Zusammenhang mit kosmischer Strahlung (Teil 2, Kapitel 2, Abschnitt 7)
- Tätigkeiten im Zusammenhang mit natürlich vorkommender Radioaktivität (Teil 2, Kapitel 2, Abschnitt 8)

7.1.3 Schutzmaßnahmen

Im Sinne des Strahlenschutzes muss eine unnötige Strahlenexposition vermieden werden. Ist dies nicht umsetzbar gilt das Minimierungsgebot, das anhand vier einfacher Regeln eingehalten werden kann (4 A des Strahlenschutzes):

- Aktivität minimieren (nur für radioaktive Quellen möglich)
- Aufenthaltsdauer begrenzen
- Abstand zur Quelle erhöhen
- Abschirmungen verwenden

§ 52 (StrlSchV)
Einrichtung von Strahlenschutzbereichen

(1) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass bei den nachfolgenden Tätigkeiten Strahlenschutzbereiche nach Absatz 2 Satz 1 eingerichtet werden, wenn die Exposition von Personen einen der Grenzwerte für Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 80 Absatz 1 und 2 des Strahlenschutzgesetzes überschreiten kann:

1. *Tätigkeiten, die einer Genehmigung nach § 12 Absatz 1 des Strahlenschutzgesetzes bedürfen,*
2. *Tätigkeiten, die einer Genehmigung nach §§ 6, 7, 9 oder 9b des Atomgesetzes oder eines Planfeststellungsbeschlusses nach § 9b des Atomgesetzes bedürfen, oder*
3. *Tätigkeiten, die anzeigepflichtig nach §§ 17 oder 19 des Strahlenschutzgesetzes sind.*

Strahlenschutzbereiche sind bei diesen Tätigkeiten auch einzurichten, wenn zu erwarten ist, dass die nicht festhaftende, flächenspezifische Aktivität von Oberflächen in einem Bereich die Werte der Strahlenschutzverordnung Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 5 überschreitet.

(2) Strahlenschutzbereiche sind einzurichten als

1. *Überwachungsbereich, wenn in betrieblichen Bereichen, die nicht zum Kontrollbereich gehören, Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder eine Organ-Äquivalentdosis von mehr als 50 Millisievert für die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel oder eine lokale Hautdosis von mehr als 50 Millisievert erhalten können,*
2. *Kontrollbereich, wenn Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert oder eine Organ-Äquivalentdosis von mehr als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel oder eine lokale Hautdosis von mehr als 150 Millisievert erhalten können, und*
3. *Sperrbereich, wenn in einem Bereich die Ortsdosisleistung höher als 3 Millisievert durch Stunde sein kann; ein Sperrbereich ist Teil des Kontrollbereichs.*

Maßgebend bei der Festlegung der Grenze von Kontrollbereich oder Überwachungsbereich ist eine Aufenthaltszeit von 40 Stunden je Woche und 50 Wochen im Kalenderjahr, soweit keine anderen begründeten Angaben über die Aufenthaltszeit vorliegen. Die zuständige Behörde kann bestimmen, dass weitere Bereiche als Strahlenschutzbereiche zu behandeln sind, wenn dies zum Schutz Einzelner oder der Allgemeinheit erforderlich ist. Satz 1 Nummer 3 findet keine Anwendung beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen zum Zwecke der Untersuchung von Menschen und der Untersuchung von Tieren in der Tierheilkunde.

(3) Bereiche, in denen nur Röntgeneinrichtungen oder Störstrahler betrieben werden, gelten nur während der Einschaltzeit als Strahlenschutzbereiche. Beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung oder Bestrahlungsvorrichtungen kann die zuständige Behörde zulassen, dass Bereiche nur während der Einschaltzeit dieser Anlagen oder Vorrichtungen als Kontrollbereiche oder Sperrbereiche gelten, wenn dadurch Einzelne oder die Allgemeinheit nicht gefährdet werden.

Beim Umgang mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen, kann die zuständige Behörde die Einrichtung von Strahlenschutzbereichen nach § 52 (StrlSchV) anordnen. Dieser Sachverhalt ist über den Paragraphen 59 der StrlSchV geregelt.

§ 53 (StrlSchV)
Abgrenzung, Kennzeichnung und Sicherung von Strahlenschutzbereichen

(1) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass Kontrollbereiche nach § 52 Absatz 2 Satz 1 Nummer 2 abgegrenzt und und zusätzlich zur Kennzeichnung nach § 91 Absatz 1 deutlich sichtbar und dauerhaft mit dem Zusatz „Kontrollbereich" gekennzeichnet werden. Die zuständige Behörde kann Ausnahmen von Satz 1 gestatten, wenn dadurch Einzelne oder die Allgemeinheit nicht gefährdet werden.

(2) Im Falle von Kontrollbereichen, in denen ausschließlich Röntgeneinrichtungen oder genehmigungsbedürftige Störstrahler betrieben werden, hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass diese Bereiche während der Einschaltzeit und der Betriebsbereitschaft mindestens mit den Worten „Kein Zutritt – Röntgen" gekennzeichnet werden. Die dauerhafte Kennzeichnung nach Absatz 1 Satz 1 und § 91 Absatz 1 ist entbehrlich.

(3) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass Sperrbereiche nach § 52 Absatz 2 Satz 1 Nummer 3 abgegrenzt und zusätzlich zur Kennzeichnung nach § 91 Absatz 1 deutlich sichtbar und dauerhaft mindestens mit dem Zusatz „Sperrbereich – Kein Zutritt" gekennzeichnet werden. Er hat dafür zu sorgen, dass die Sperrbereiche so abgesichert werden, dass Personen, auch mit einzelnen Körperteilen, nicht unkontrolliert hineingelangen können. Die zuständige Behörde kann Ausnahmen von den Sätzen 1 und 2 gestatten, wenn dadurch Einzelne oder die Allgemeinheit nicht gefährdet werden.

(4) Sperrbereiche, die innerhalb eines Teiles eines Röntgen- oder Bestrahlungsraumes eingerichtet sind, müssen abweichend von Absatz 3 nicht gesondert gekennzeichnet oder abgegrenzt werden, wenn sich in dem Röntgen- oder Bestrahlungsraum während der Einschaltzeit der Röntgeneinrichtung, der Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung oder der Bestrahlungsvorrichtung nur die folgenden Personen aufhalten können:

1. *Personen, an denen ionisierende Strahlung angewendet wird,*
2. *Betreuungs- oder Begleitpersonen oder*
3. *Personen, die ionisierende Strahlung anwenden und deren Aufenthalt in unmittelbarer Nähe der zu behandelnden Person erforderlich ist.*

(5) Beim ortsveränderlichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und beim ortsveränderlichen Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen, Störstrahlern oder Bestrahlungsvorrichtungen hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass ein einzurichtender Kontrollbereich so abgegrenzt und gekennzeichnet wird, dass unbeteiligte Personen diesen nicht unbeabsichtigt betreten können. Kann ausgeschlossen werden, dass unbeteiligte Personen den Kontrollbereich unbeabsichtigt betreten können, ist die Abgrenzung nicht erforderlich. Eine zusätzliche Abgrenzung oder Kennzeichnung von Sperrbereichen innerhalb des Kontrollbereichs ist nicht erforderlich.

§ 75 (StrlSchV)
Sonstige Schutzvorkehrungen

(1) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass der Schutz beruflich exponierter Personen vor äußerer und innerer Exposition vorrangig durch bauliche und technische Vorrichtungen oder durch geeignete Arbeitsverfahren sichergestellt wird.

(2) Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass offene radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen nur solange und in solchen Aktivitäten vorhanden sind, wie das Arbeitsverfahren es erfordert.

(3) Beim anzeigebedürftigen Betrieb eines Luftfahrzeugs hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass der Pflicht zur Dosisreduzierung insbesondere bei der Aufstellung von Arbeitsplänen Rechnung getragen wird. Absatz 1 findet keine Anwendung.

§ 76 (StrlSchV)
Besondere Regelungen zum Schutz des raumfahrenden Personals

Beim anzeigebedürftigen Betrieb eines Raumfahrzeugs ist abweichend von den §§ 64 und 65 die Körperdosis, die das raumfahrende Personal während des Einsatzes durch kosmische Strahlung erhält, durch ein für die besonderen Expositionsbedingungen geeignetes Verfahren zu ermitteln. § 64 Absatz 3 Satz 1 gilt entsprechend. Die §§ 45, 46, 63, 71, 72 oder 69 gelten nur, soweit die zuständige Behörde die dort genannten Maßnahmen zum Schutz des eingesetzten raumfahrenden Personals entsprechend anordnet. § 81 findet keine Anwendung.

Im Teil 3 der StrlSchV sind folgende Vorgaben zum Strahlenschutz bei Notfallexpositionssituationen aufgeführt:

- § 150 - Dosimetrie bei Einsatzkräften
- § 151 - Besondere ärztliche Überwachung von Einsatzkräften
- § 152 - Hilfeleistung und Beratung von Behörden, Hilfsorganisationen und Einsatzkräften bei einem Notfall.

Der Teil 4 der StrlSchV berücksichtigt den Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen:

- Kapitel 1 - Schutz vor Radon
- Kapitel 2 - Schutz vor Radioaktivität in Bauprodukten
- Kapitel 3 - Radioaktive Altlasten
- Kapitel 4 - Sonstige bestehende Expositionssituationen

Ist eine berufliche Strahlenexposition nicht vermeidbar, kann das Führen eines Strahlenpasses notwendig werden. Dies ist in der StrlSchV über den Paragraphen 158 - Weitere Anforderungen des beruflichen Strahlenschutzes geregelt.

Eine Medizinische Vorsorge ist nur unter bestimmten Voraussetzungen verpflichtend und ist in den Paragraphen 77 bis 81 der StrlSchV aufgeführt.

Ein besonderes Augenmerk muss auf die Beschäftigung von Schwangeren und stillenden Personen gelegt werden (siehe § 69 StrlSchV und Mutterschutzgesetz MuSchG [3]).

7.1.4 Literatur

[1] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017. BGBl. I (2017), S. 1966; zul. geänd. BGBl. I (2021), S. 1194

[2] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 29. November 2018. BGBl. I (2018), S. 2034; zul. geänd. BGBl. I (2024), Nr. 132

[3] Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium (Mutterschutzgesetz – MuSchG) vom 23. Mai 2017. BGBl. I (2017), S. 1228; zul. geänd. BGBl. I (2019), S. 2652

7.2 Inkohärente optische Strahlung (ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung)

7.2.1 Erläuterungen

Optische Strahlung ist eine elektromagnetische Wellenstrahlung. Eine Unterteilung der optischen Strahlung ergibt sich aufgrund der Wellenlänge λ in:

Ultraviolettstrahlung:	100 nm ‹ λ ‹ 400 nm
sichtbare Strahlung:	400 nm ‹ λ ‹ 780 nm
Infrarotstrahlung:	780 nm ‹ λ ‹ 1 mm

Eine weitere Einteilung unterscheidet optische Strahlung nach ihrer Kohärenzeigenschaft in:

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

Bei der Einwirkung 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.

Grenzwerte für inkohärente und kohärente optische Strahlung sind in der EU-Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ [1] festgelegt. Sie wurde 2010 durch die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV [2] in nationales Recht umgesetzt. Die Grenzwerte der EU-Richtlinie werden über die Verordnung in Deutschland rechtsverbindlich. Durch die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS IOS) [3] werden die Anforderungen der OStrV konkretisiert. Diese Technischen Regeln geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitsplatzhygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung wieder. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der OStrV erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Gemäß Kapitel 4.14 des Teils Allgemeines der TROS IOS liegt eine mögliche Gefährdung nach § 1 Absatz 1 OStrV vor, wenn eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte nach Abschnitt 5 der TROS IOS, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ durch inkohärente optische Strahlung nicht ausgeschlossen werden kann. Es ist zu beachten, dass diese in Abschnitt 5 des Teils 2 der TROS IOS enthaltenen Expositionsgrenzwerte teilweise von den Grenzwertdefinitionen in der EU-Richtlinie abweichen oder diese ergänzen.

7.2.2 Ultraviolette Strahlung

7.2.2.1 Wirkungen

Ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) ist elektromagnetische Wellenstrahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 nm. Die Einwirkung von UV-Strahlung auf den Menschen kann zu Schädigungen des Auges und der Haut führen. Eine kurzfristige Einwirkung sehr hoher Intensität kann im Auge eine Bindehaut- und Hornhautentzündung

und auf der Haut ein Erythem (Sonnenbrand) hervorrufen. Eine langfristige, chronische UV-Einwirkung kann im Auge eine Linsentrübung verursachen sowie eine Alterung der Haut und das Entstehen von Hautkrebs bewirken.

7.2.2.2 Grenzwerte

Die im Folgenden aufgelisteten Expositionsgrenzwerte wurden der Richtlinie 2006/25/EG [1] entnommen. Die Richtlinie enthält einen Grenzwert zum Schutz von Augen und Haut vor kurz- und langfristigen Schäden durch UV-Strahlung sowie einen Grenzwert für starke UV-A-Strahlenexpositionen zum Schutz der Augen vor langfristigen Schäden. Bei der Ermittlung der Strahlenexpositionen, die mit den Expositionsgrenzwerten verglichen werden sollen, sind für die Definition der Messgrößen die Basis-Berechnungsformeln (a) und (b) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG anzuwenden.

Expositionsgrenzwert für Einwirkungen auf die Augen und die Haut im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm

Aus den gemessenen oder berechneten Werten der spektralen Bestrahlungsstärke ist nach Gleichung (a) im Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG die effektive Bestrahlung H_{eff} im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm zu berechnen. Hierbei sind die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ der Tabelle 1 zu entnehmen. Der Expositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung H_{eff} durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen und die Haut im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm beträgt:

$H_{eff} = 30\ J \cdot m^{-2}$

Er gilt als maximal zulässiger Tageswert für eine achtstündige Arbeitsschicht.

In Abbildung 1 ist die Funktion $S(\lambda)$ grafisch dargestellt:

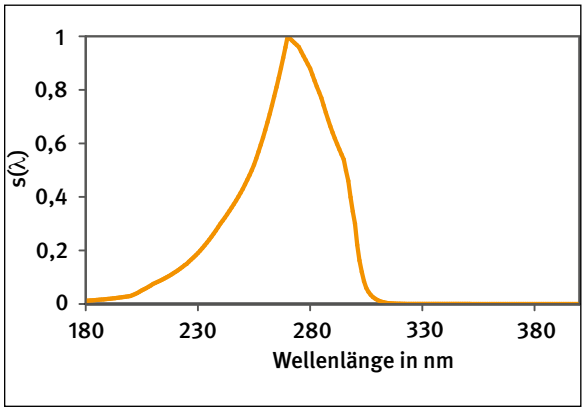


Abbildung 1:
Spektrale Wichtungsfunktion S (λ)

Tabelle 1:
Relative spektrale Wirksamkeit S (λ) für Einwirkungen auf die Augen und die Haut im Wellenlängenbereich zwischen 180 und 400 nm (entnommen der Tabelle 1.2 des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1])

λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)
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		

λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)	λ in nm	S (λ)
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		
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		

Expositionsgrenzwert für Einwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm

Zum Schutz der Augen vor Trübungen der Augenlinsen durch langfristige Einwirkungen gilt zusätzlich ein Expositionsgrenzwert der Bestrahlung H_{UVA} im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm. Die Bestrahlung H_{UVA} ist nach Gleichung (b) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1] im Bereich von $\lambda_1 = 315$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm zu ermitteln. Der Expositionsgrenzwert für die Bestrahlung durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm beträgt:

$H_{UVA} = 10\,000\ J \cdot m^{-2}$

Er gilt als maximal zulässiger Tageswert für eine achtstündige Arbeitsschicht.

Expositionsgrenzwert für den Wellenlängenbereich zwischen 100 und 180 nm

UV-Strahlung mit Wellenlängen ‹ 180 nm wird in der Luft sehr stark absorbiert. Daher kommen praktisch kaum Expositionen von Personen gegenüber dieser Strahlung vor. Die Richtlinie 2006/25/EG [1] enthält auch keine Expositionsgrenzwerte für den Wellenlängenbereich von 100 bis 180 nm. Soll dennoch die Gefährdung durch Strahlung von 100 bis 180 nm Wellenlänge bewertet werden, so kann dazu gemäß Kapitel 6.1 des Teils Allgemeines der TROS IOS [3] vorgegangen werden. Demnach wird die effektive Bestrahlung H_{eff} nicht nur für den Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm, sondern für den Bereich von 100 nm bis 400 nm ermittelt. Dazu wird bei allen Wellenlängen ‹ 180 nm für S(λ) der gleiche Wert von 0,012 eingesetzt, der dem Wert bei 180 nm entspricht. Die so ermittelte effektive Bestrahlung H_{eff} wird mit dem Expositionsgrenzwert verglichen.

7.2.2.3 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.

7.2.3 Sichtbare und Infrarot-Strahlung

7.2.3.1 Wirkungen

Sichtbare Strahlung (Licht) ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm. Als Infrarot-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 zu einer fotochemischen Schädigung (sog. Blaulichtgefährdung oder Fotoretinitis) der Netzhaut kommen.

Die Einwirkung sehr intensiver Infrarot-Strahlung auf das Auge kann theoretisch unmittelbar zu einer Trübung der Augenlinse führen. In der Praxis kommt dies aufgrund der Wärmeempfindung mit nachfolgender Abwendungsreaktion jedoch nicht vor. Dagegen werden Linsentrübungen

(Katarakte) durch Infrarot-Strahleneinwirkungen über lange Zeiträume (10 bis 30 Jahre) beobachtet.

Eine weitere Schädigungsmöglichkeit bei der kurzfristigen Einwirkung intensiver Wärmestrahlung (Licht und Infrarot-Strahlung) 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“).

7.2.3.2 Grenzwerte

Die im Folgenden aufgelisteten Expositionsgrenzwerte wurden der Richtlinie 2006/25/EG [1] entnommen. Bei der Ermittlung der Strahlenexpositionen, die mit den Expositionsgrenzwerten verglichen werden sollen, sind für die Messgrößen die Basis-Berechnungsformeln (c) bis (o) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG anzuwenden.

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor der fotochemischen Schädigung der Netzhaut des Auges durch Blaulicht (Fotoretinitis, Blaulichtgefährdung) im Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 300$ nm und $\lambda_2 = 700$ nm

Zunächst ist die Winkelausdehnung α, unter der die Strahlenquelle beobachtet wird, zu bestimmen. Je nach Winkelausdehnung α der Quelle sind die folgenden Expositionsgrenzwerte (a) oder (b) anzuwenden:

(a) Winkelausdehnung der Quelle $\alpha \geq 11$ mrad

Um die effektive Strahldichte L_B einer Quelle für die Blaulichtgefährdung im Wellenlängenbereich zwischen 300 und 700 nm zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (c, d) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG anzuwenden. Die Werte der Funktion B(λ) sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die Blaulicht-Strahldichte L_B bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung der Quelle $\alpha \geq 11$ mrad:

$L_B = \frac{10^6}{t}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ für $t \leq 10\,000$ s

$L_B = 100\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ für $t > 10\,000$ s

(b) Winkelausdehnung der Quelle $\alpha < 11$ mrad

Um die Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B für die Blaulichtgefährdung im Wellenlängenbereich zwischen 300 und 700 nm zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (e, f) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG anzuwenden. Die Werte der Funktion B(λ) sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung der Quelle $\alpha < 11$ mrad:

$E_B = \frac{100}{t}\ W \cdot m^{-2}$ für $t \leq 10\,000$ s

$E_B = 0{,}01\ W \cdot m^{-2}$ für $t > 10\,000$ s

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor Verbrennungen der Netzhaut des Auges für den Wellenlängenbereich von 380 bis 1400 nm

Zunächst ist die Winkelausdehnung α, unter der die Strahlenquelle beobachtet wird, zu ermitteln. Um die effektive Strahldichte L_R (380 bis 1400 nm) einer Strahlenquelle für die thermische Netzhautgefährdung zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (g) bis (i) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG [1] für den Wellenlängenbereich zwischen 380 und 1 400 nm anzuwenden. Die Werte der Funktion R(λ) sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2:
Wichtungsfunktionen B(λ) für die Blaulichtgefährdung und R(λ) für die thermische Gefährdung der Netzhaut im Wellenlängenbereich von 380 bis 1 400 nm (entnommen der Tabelle 1.3 des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1])

B (λ), R (λ) [dimensionslos], 380 bis 1 400 nm		
λ in nm	B (λ)	R (λ)
300 ≤ λ < 380	0,01	–
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

B (λ), R (λ) [dimensionslos], 380 bis 1 400 nm		
λ in nm	B (λ)	R (λ)
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
500 < λ ≤ 600	$10^{0,02\cdot(450-l)}$	1
600 < λ ≤ 700	0,001	1
700 < v ≤ 1 050	–	$10^{0,002\cdot(700-\lambda)}$
1050 < λ ≤ 1 150	–	0,2
1150 < λ ≤ 1 200	–	$0,2\cdot10^{0,02\cdot(1\,150-\lambda)}$
1200 < λ ≤ 1 400	–	0,02

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die thermisch gewichtete Strahldichte L_R (380 bis 1400 nm) bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung α der Quelle:

$$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } t > 10\ s$$

$$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } 10\ \mu s < t \leq 10\ s$$

$$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } t < 10\ \mu s$$

Dabei hängen die Werte des Korrekturfaktors C_a folgendermaßen von der Winkelausdehnung α der Quelle ab:

$C_\alpha = 1,7$ bei $\alpha \leq 1,7$ mrad

$C_\alpha = \alpha$ bei $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad

$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100$ mrad

Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor Verbrennungen der Netzhaut des Auges für den Wellenlängenbereich von 780 bis 1400 nm

Zum Schutz der Netzhaut vor Verbrennungen sind in der Richtlinie 2006/25/EG [1] neben den Grenzwerten für sichtbare und infrarote Strahlenexpositionen auch Grenzwerte allein für den IR-A-Bereich mit Wellenlängen zwischen 780 und 1400 nm festgelegt. Die Anwendung dieser Grenzwerte ist vor allem dann von Bedeutung, wenn die Strahlung keinen starken sichtbaren Anteil enthält, der Abwendungsreaktionen anregen kann.

Zunächst ist die Winkelausdehnung α, unter der die Strahlenquelle beobachtet wird, zu ermitteln. Um die effektive Strahldichte L_R (780 bis 1400 nm) einer Strahlenquelle für die thermische Netzhautgefährdung zu bestimmen, ist die Wichtungsformel (j) bis (l) aus Anhang I der Richtlinie 2006/25/EG [1] für den Wellenlängenbereich zwischen 780 und 1400 nm anzuwenden. Die Werte der Funktion R(λ) sind Tabelle 2 zu entnehmen. Bei der Messung von L_R (780 bis 1400 nm) ist ein Messfeld von 11 mrad einzuhalten.

Es gelten folgende Expositionsgrenzwerte für die thermisch gewichtete Strahldichte L_R (780 bis 1400 nm) bei einer Einwirkungsdauer t in s und einer Winkelausdehnung α der Quelle:

$$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } t > 10\ s$$

$$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } 10\ \mu s \leq t \leq 10\ s$$

$$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \qquad \text{für } t < 10\ \mu s$$

Dabei hängen die Werte des Korrekturfaktors C_α folgendermaßen von der Winkelausdehnung α der Quelle ab:

$C_\alpha = 11$ bei $\alpha \leq 11$ mrad

$C_\alpha = \alpha$ bei $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad

$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100$ mrad

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

Dieser Grenzwert wurde zum Schutz der Hornhaut des Auges vor Verbrennungen und der Augenlinse vor Trübungen festgelegt. Die Bestrahlungsstärke E_{IR} ist nach Gleichung (m, n) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1] im Bereich von $\lambda_1 = 780$ nm bis $\lambda_2 = 3000$ nm zu ermitteln. Der Expositionsgrenzwert für die Bestrahlungsstärke E_{IR} für Strahleinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 780$ nm bis $\lambda_2 = 3000$ nm beträgt:

$E_{IR} = 18\,000 \cdot t^{-0,75}\ W \cdot m^{-2}$ für $t \leq 1\,000$ s

$E_{IR} = 100\ W \cdot m^{-2}$ für $t > 1\,000$ s

Anmerkung 1:
Gemäß Kapitel 6.2 des Teils 2 der TROS IOS fehlen in der EU-Richtlinie Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlungsexpositionen im Wellenlängenbereich von 3 000 nm bis 1 mm. Besonders bei thermischen Strahlungsquellen, wie Halogenglühlampen, Metallschmelzen oder Glasschmelzen, können auch Wellenlängen über 3 000 bis etwa 20 000 nm wesentlich zu einer thermischen Belastung von Augen und Haut beitragen. Es ist daher zum Schutz von Hornhaut und Bindehaut der Augen vor Verbrennungen erforderlich, bei der Gefährdungsbeurteilung nicht nur die Bestrahlungsstärke E_{IR} im Wellenlängenbereich 780 bis 3 000 nm zu ermitteln, sondern vielmehr die Bestrahlungsstärke E_{IR} für den Wellenlängenbereich von 780 bis 20 000 nm zu ermitteln und mit den bis 3 000 nm festgelegten Expositionsgrenzwerten zu vergleichen. Bei thermischen Strahlungsquellen mit Temperaturen im Bereich von 800 bis ca. 3 000 °C reicht die Einbeziehung der Wellenlängen bis 20 000 nm aus, da Strahlung bei größeren Wellenlängen nicht mehr gefährdend zur Belastung der Augen beiträgt.

Anmerkung 2:
Die Zusammenfassung der Expositionsgrenzwerte in der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz vor Verbrennungen der Hornhaut bei kurzfristiger Einwirkung einerseits und zum Schutz der Augenlinse bei jahrelanger Einwirkung andererseits ist umstritten. Bei Expositionszeiten über 1 000 s, aber weit unter 8 h, erscheint der Wert von 100 W/m² als zu restriktiv. In Tabelle A2.1 n) des Teils 2 der TROS IOS ist deshalb für Expositionsdauern von über 1 000 s ein Grenzwert für die Bestrahlung von $H_{IR} = 3 \cdot 10^6$ J/m² festgelegt.

Expositionsgrenzwert zum Schutz der Haut vor Verbrennungen im Wellenlängenbereich von 380 bis 3 000 nm

Die Bestrahlung H im Bereich von l_1 = 380 nm bis l_2 = 3 000 nm ist nach Gleichung (o) des Anhangs I der Richtlinie 2006/25/EG [1] zu bestimmen. Für Einwirkungsdauern bis zu 10 s beträgt der Expositionsgrenzwert der Bestrahlung H_{skin} durch Strahleneinwirkungen auf die Haut im Wellenlängenbereich von 380 bis 3 000 nm:

$$H_{skin} = 20\,000 \cdot t^{0,25}\ J \cdot m^{-2}$$

Anmerkung:
In Kapitel 6.3 des Teils 2 der TROS IOS [3] wird Folgendes festgestellt:

(1) Es fehlen Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlungsexpositionen der Haut im Wellenlängenbereich von 3 000 nm bis 1 mm für Expositionszeiten über 10 s.

(2) Das Auftreten einer Hautverbrennung wird durch die Höhe der aktuellen Bestrahlungsstärke E_{Haut} und nicht zwangsläufig durch die Bestrahlung H_{Haut} bestimmt.

Der Expositionsgrenzwert zum Schutz vor Verbrennungen der Haut durch IR-Strahlungsexpositionen ist daher für den Wellenlängenbereich von 380 bis 20 000 nm und Expositionsdauern bis zu 1 000 s gemäß Tabelle 3 in Kapitel 6.3 des Teils 2 der TROS IOS folgendermaßen zu bestimmen:

$$E_{Haut}[W/m^2] = 20\,000 \cdot t^{-0,75} \qquad (\text{bei } t < 10\ s)$$

$$E_{Haut}[W/m^2] = 7\,700 \cdot t^{-0,34} \qquad (\text{bei } 10\ s \le t < 1\,000\ s)$$

7.2.3.3 Messung und Bewertung von sichtbarer und infraroter Strahlung

Um beurteilen zu können, ob von sichtbarer oder infraroter Strahlung Gefährdungen ausgehen, ist es oft notwendig, die Strahlenexpositionen exponierter 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.

7.2.4 Literatur

[1] 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). ABl. EU (2006) Nr. L 114, S. 38-39; zul. geänd. Verordnung (EU) 2019/1243, ABl. EU (2019) Nr. L 198, S. 241

[2] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV) vom 19. Juli 2010. BGBl. I (2010), S. 960; zul. geänd. BGBl. I (2017), S. 3584

[3] Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS): Inkohärente Optische Strahlung (TROS IOS). https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TROS/TROS.html

[4] DIN EN 14255-1: Messung und Beurteilung von personen-bezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung (06/2005). 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 (03/2006). Beuth, Berlin 2006

7.3 Laserstrahlung

7.3.1 Erläuterungen

Laserstrahlung ist kohärente optische Strahlung, die meist bei einer einzelnen Wellenlänge im ultravioletten, im sichtbaren oder im infraroten Spektralbereich emittiert wird (siehe Abschnitt 7.2.1). Kohärenz heißt, dass die Entstehung der Strahlung auf atomarer Ebene koordiniert abläuft und sich die Strahlungsanteile, die von einzelnen Atomen oder Molekülen ausgesandt werden, zu einer Gesamtstrahlung überlagern. Hierdurch kann eine sehr intensive Strahlung erzeugt werden.

7.3.2 Wirkungen

Die möglichen Schädigungen durch Laserstrahlung sind die gleichen, wie sie für inkohärente ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung beschrieben werden (siehe Abschnitt 7.2). 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. Hierdurch kann es vor allem zu akuten Augen- und Hautschäden wie Verbrennungen kommen.

7.3.3 Grenzwerte

Grenzwerte für inkohärente und kohärente optische Strahlung sind in der EU-Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ [1] festgelegt. Sie wurde 2010 durch die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV [2] in nationales Recht umgesetzt. Die Grenzwerte der EU-Richtlinie werden über die Verordnung in Deutschland rechtsverbindlich. Durch die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Laserstrahlung) [3] werden die Anforderungen der OStrV konkretisiert. Diese Technischen Regeln geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitsplatzhygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Laserstrahlung wieder. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der OStrV erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Gemäß Kapitel 4.13 des Teils „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung beschreibt der Expositionsgrenzwert das maximale Ausmaß der Laserstrahlung, dem das Auge oder die Haut ausgesetzt werden kann, ohne dass damit akute Gesundheitsschädigungen gemäß Tabelle A3.1 der Anlage 3 dieser TROS verbunden sind. Es ist zu beachten, dass die in Anlage 4 Abschnitt A4.1 des Teils 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ aufgeführten Expositionsgrenzwerte teilweise von den Grenzwertdefinitionen in der EU-Richtlinie abweichen oder diese ergänzen.

Die in diesem Abschnitt aufgelisteten Expositionsgrenzwerte sind der Richtlinie 2006/25/EG entnommen, wobei die Nummerierung der Tabellen 2.1 bis 2.6 aus Gründen der Klarheit der Nummerierung in der Richtlinie folgt. Die Richtlinie 2006/25/EG enthält zu Beginn des Anhangs II Formeln und Definitionen für Messgrößen, in denen die Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung ausgedrückt werden. In Tabelle 2.1 ordnet sie dann Wellenlängenbereiche, die Gefährdungen für Augen und Haut und die Tabellennummern mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten einander zu.

Tabelle 2.1:
Strahlungsgefährdungen für Augen und Haut (Tabelle 2.1 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG)

Wellenlänge λ in nm	Strahlungsbereich	Betroffenes Organ	Gefährdung	Tabelle für den Expositionsgrenzwert
180 bis 400	UV	Auge	Fotochemische Schädigung und thermische Schädigung	2.2, 2.3
180 bis 400	UV	Haut	Erythem	2.4
400 bis 700	sichtbar	Auge	Netzhautschädigung	2.2
400 bis 600	sichtbar	Auge	Fotochemische Schädigung	2.3
400 bis 700	sichtbar	Haut	Thermische Schädigung	2.4
700 bis 1 400	IR-A	Auge	Thermische Schädigung	2.2, 2.3
700 bis 1 400	IR-A	Haut	Thermische Schädigung	2.4
1 400 bis 2 600	IR-B	Auge	Thermische Schädigung	2.2
2 600 bis 10^6	IR-C	Auge	Thermische Schädigung	2.2
1 400 bis 10^6	IR-B, IR-C	Auge	Thermische Schädigung	2.3
1 400 bis 10^6	IR-B, IR-C	Haut	Thermische Schädigung	2.4

Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlen – kurze Expositionsdauer (t ‹ 10 s)

Die Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für kurze Expositionsdauern (t ‹ 10 s) sind Tabelle 2.2 zu entnehmen.

Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung – lange Expositionsdauer (t › 10 s)

Die Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für lange Expositionsdauern (t › 10 s) sind Tabelle 2.3 zu entnehmen.

Tabelle 2.2:
Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für kurze Expositionsdauer (t < 10 s); entspricht der Tabelle 2.2 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG [1]

Wellenlänge [a] in nm		Öffnung	Dauer in s						
			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 10^{-3}	10^{-3} bis 10^{1}
UV-C	180 bis 280	1 mm für t < 0,3 s; $1{,}5 \cdot t^{0,175}$ für 0,3 < t < 10 s	$E = 3 \cdot 10^{10} \cdot [W\,m^{-2}]$[4]		$H = 30\ [Jm^{-2}]$				
UV-B	280 bis 302								
	303				$H = 40\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}6 \cdot 10^{-9}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	304				$H = 60\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}3 \cdot 10^{-8}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	305				$H = 100\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}0 \cdot 10^{-7}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	306				$H = 160\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 6{,}7 \cdot 10^{-7}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	307				$H = 250\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 4{,}0 \cdot 10^{-6}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	308				$H = 400\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 2{,}6 \cdot 10^{-5}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	309				$H = 630\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}6 \cdot 10^{-4}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	310				$H = 10^{3}\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}0 \cdot 10^{-3}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	311				$H = 1{,}6 \cdot 10^{3}\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 6{,}7 \cdot 10^{-3}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	312				$H = 2{,}5 \cdot 10^{3}\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 4{,}0 \cdot 10^{-2}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	313				$H = 4{,}0 \cdot 10^{3}\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 2{,}6 \cdot 10^{-1}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
	314				$H = 6{,}3 \cdot 10^{3}\ [Jm^{-2}]$: wenn $t < 1{,}6 \cdot 10^{0}$, dann $H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$[d]				
UV-A	315 bis 400				$H = 5{,}6 \cdot 10^{3} t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$				
Sichtbar und IR-A	400 bis 700	7 mm	$H = 1{,}5 \cdot 10^{-4} C_E\ [Jm^{-2}]$	$H = 2{,}7 \cdot 10^{4} t^{0,75} C_E\ [Jm^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_E\ [Jm^{-2}]$		$H = 18 \cdot t^{0,75} C_E\ [Jm^{-2}]$		
	700 bis 1 050		$H = 1{,}5 \cdot 10^{-4} C_A C_E\ [Jm^{-2}]$	$H = 2{,}7 \cdot 10^{4} t^{0,75} C_A C_E\ [Jm^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_A C_E\ [Jm^{-2}]$		$H = 18 \cdot t^{0,75} C_A C_E\ [Jm^{-2}]$		
	1 050 bis 1 400		$H = 1{,}5 \cdot 10^{-3} C_C C_E\ [Jm^{-2}]$	$H = 2{,}7 \cdot 10^{5} t^{0,75} C_C C_E\ [Jm^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-2} C_C C_E\ [Jm^{-2}]$			$H = 90 \cdot t^{0,75} C_C C_E\ [Jm^{-2}]$	
IR-B und IR-C	1 400 bis 1 500	s. Fußnote [b]	$E = 10^{12}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 10^{3}\ [Jm^{-2}]$				$H = 5{,}6 \cdot 10^{3} \cdot t^{0,25}$
	1 500 bis 1 800		$E = 10^{13}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 10^{4}\ [Jm^{-2}]$				
	1 800 bis 2 600		$E = 10^{12}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 10^{3}\ [Jm^{-2}]$				$H = 5{,}6 \cdot 10^{3} \cdot t^{0,25}$
	2 600 bis 10^{6}		$E = 10^{11}\ [W\,m^{-2}]$[c]		$H = 100\ [Jm^{-2}]$	$H = 5{,}6 \cdot 10^{3} \cdot t^{0,25}\ [Jm^{-2}]$			

Anmerkungen zu Tabelle 2.2:

a) Wird die Wellenlänge des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

b) Wenn $1\,400 \le \lambda < 10^{5}$ nm: Durchmesser der Messblende = 1 mm bei $t \le 0{,}3$ s und $1{,}5 \cdot t^{0,375}$ mm bei 0,3 s < t < 10s; wenn $10^{5} \le \lambda \le 10^{6}$ nm: Durchmesser der Messblende = 11 mm

c) Mangels Daten für diese Impulslängen empfiehlt die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) die Anwendung des Grenzwertes für 1 ns.

d) Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einzelne Laserimpulse. Bei mehrfachen Laserimpulsen müssen die Laserimpulsdauern von Impulsen, die innerhalb eines Intervalls T_{min} (siehe Tabelle 2.6 liegen, aufaddiert werden, und der daraus resultierende Zeitwert muss in der Formel $5{,}6 \cdot t^{0,25}$ für t eingesetzt werden.

Tabelle 2.3:
Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlung für lange Expositionsdauern (t › 10 s); entspricht der Tabelle 2.3 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG [1]

Wellenlänge[a] in mm		Öffnung	Dauer in s		
			10^1 bis 10^2	10^2 bis 10^4	10^4 bis $3 \cdot 10^4$
UV-C	180 bis 280	3,5 mm	$H = 30$ [J m^{-2}]		
UV-B	280 bis 302		$H = 30$ [J m^{-2}]		
	303		$H = 40$ [J m^{-2}]		
	304		$H = 60$ [J m^{-2}]		
	305		$H = 100$ [J m^{-2}]		
	306		$H = 160$ [J m^{-2}]		
	307		$H = 250$ [J m^{-2}]		
	308		$H = 400$ [J m^{-2}]		
	309		$H = 630$ [J m^{-2}]		
	310		$H = 1{,}0 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	311		$H = 1{,}6 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	312		$H = 2{,}5 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	313		$H = 4{,}0 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
	314		$H = 6{,}3 \cdot 10^3$ [J m^{-2}]		
UV-A	315 bis 400		$H = 10^4$ [J m^{-2}]		
Sichtbar 400 bis 700	400 bis 600 Fotochemisch[b] Netzhautschädigung	7 mm	$H = 100\ C_B$ [J m^{-2}] (γ = 11 mrad)[d]	$E = 1\ C_B$ [W m^{-2}]; ($\gamma = 1{,}1\ t^{0,5}$ mrad)[d]	$E = 1\ C_B$ [W m^{-2}]; (α = 110 mrad)[d]
	400 bis 700 Thermisch[b] Netzhautschädigung		wenn α ‹ 1,5 mrad wenn α › 1,5 mrad und $t \le T_2$ wenn α › 1,5 mradund t › T_2	dann E = 10 [W m^{-2}] dann $H = 18\ C_E\ t^{0,75}$ [J m^{-2}] dann $E = 18\ C_E\ T_2^{-0,25}$ [W m^{-2}]	
IR-A	700 bis 1 400	7 mm	wenn α ‹ 1,5 mrad wenn α › 1,5 mrad und $t \le T_2$ wenn α › 1,5 mradund t › T_2	dann $E = 10\ C_A\ C_C$ [W m^{-2}] dann $H = 18\ C_A\ C_C\ C_E\ t^{0,75}$ [J m^{-2}] dann $E = 18\ C_A\ C_C\ C_E\ T_2^{-0,25}$ [W m^{-2}] (maximal 1000 Wm^{-2})	
IR-B und IR-C	1 400 bis 10^6	siehe[c]	$E = 1\,000$ [W m^{-2}]		

Anmerkungen zu Tabelle 2.3:

a) Wird die Wellenlänge oder eine andere Beschaffenheit des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

b) Bei kleinen Quellen mit einer Winkelausdehnung von 1,5 mrad oder weniger sind die beiden Grenzwerte für sichtbare Strahlung E von 400 bis 600 nm zu reduzieren auf die thermischen Grenzwerte für 10 s ≤ t ‹ T_1 und auf die fotochemischen Grenzwerte für längere Zeiten. Zu T_1 und T_2 siehe Tabelle 2.5 der Richtlinie 2006/25/EG oder Tabelle 4 in diesem Dokument. Der Grenzwert für fotochemische Netzhautgefährdung kann auch ausgedrückt werden als Integral der Strahldichte über die Zeit $G = 10^6\ C_B$ [J·m^{-2}·sr^{-1}], wobei Folgendes gilt: t › 10 s bis zu t = 10 000 s und $L = 100\ C_B$ [W·m^{-2}·sr^{-1}] bei t › 10 000 s. Zur Messung von G und L ist γ_m als Mittelung des Gesichtsfeldes zu verwenden. Die offizielle Grenze zwischen sichtbar und Infrarot ist 780 nm (entsprechend der Definition der CIE). Die Spalte mit den Bezeichnungen für die Wellenlängenbänder dient lediglich der besseren Übersicht. (Die Bezeichnung G wird von CEN verwendet, die Bezeichnung L_t von der CIE und die Bezeichnung L_P von der IEC und dem CENELEC.)

c) Für die Wellenlänge 1 400 bis 10^5 nm: Durchmesser der Messblende = 3,5 mm; für die Wellenlänge 10^5 bis 10^6 nm: Durchmesser der Messblende = 11 mm

d) Für Messungen des Expositionsgrenzwertes ist γ wie folgt zu berücksichtigen: Wenn γ (Winkelausdehnung einer Quelle) › γ (Grenzempfangswinkel, in eckigen Klammern in der entsprechenden Spalte angegeben), dann sollte das Messgesichtsfeld γ_m den Wert γ erhalten. (Bei Verwendung eines größeren Messgesichtsfeldes würde die Gefährdung zu hoch angesetzt.)
Wenn α ‹ γ, dann muss das Messgesichtsfeld γ_m groß genug sein, um die Quelle einzuschließen; es ist ansonsten jedoch nicht beschränkt und kann größer sein als γ.

Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen

Die Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen sind Tabelle 2.4 zu entnehmen.

Die im Abschnitt 4.3.3 genannten Expositionsgrenzwerte und die in den nachfolgenden Abschnitten 4.3.4 und 4.3.5 genannten Hilfen und Empfehlungen sollten nur so lange herangezogen werden, bis die TROS Laserstrahlung rechtsverbindlich veröffentlicht wurde. Nach deren Veröffentlichung wird empfohlen, die Ausführungen in der TROS Laserstrahlung zu berücksichtigen und speziell die im Anhang 4 des Teils 2 der TROS Laserstrahlung aufgeführten Expositionsgrenzwerte zu verwenden. Die dort enthaltenen Grenzwerte weichen zum Teil von den Definitionen der Richtlinie [1] ab.

Tabelle 2.4:
Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen; entspricht der Tabelle 2.4 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG

Wellenlänge[a] in nm		Öffnung	Dauer in s					
			‹ 10^{-9}	10^{-9} bis 10^{-7}	10^{-7} bis 10^{-3}	10^{-3} bis 10^{1}	10^{1} bis 10^{3}	10^{3} bis $3{\cdot}10^{4}$
UV (A, B, C)	180 bis 400	3,5 mm	$E = 3 \cdot 10^{10}$ [W m^{-2}]	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
Sichtbar und IR-A	400 bis 700	3,5 mm	$E = 2 \cdot 10^{11}$ [W m^{-2}]	$H = 200\ C_A$ [J m^{-2}]	$H = 1{,}1 \cdot 10^{4}\ C_A\ t^{0{,}25}$ [J m^{-2}]		$E = 2 \cdot 10^{3}\ C_A$ [W m^{-2}]	
	700 bis 1 400		$E = 2 \cdot 10^{11}\ C_A$ [W m^{-2}]					
IR-B und IR-C	1 400 bis 1 500		$E = 10^{12}$ [W m^{-2}]	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
	1 500 bis 1 800		$E = 10^{13}$ [W m^{-2}]					
	1 800 bis 2 600		$E = 10^{12}$ [W m^{-2}]					
	2 600 bis 10^6		$E = 10^{11}$ [W m^{-2}]					

Anmerkungen zu Tabelle 2.4:

a) Wird die Wellenlänge oder eine andere Beschaffenheit des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter

Werte für die Korrekturfaktoren und Parameter, die in die Tabellen zur Berechnung der Grenzwerte einzusetzen sind, enthält Tabelle 2.5.

Tabelle 2.5:
Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter. Entspricht der Tabelle 2.5 des Anhangs II der Richtlinie 2006/25/EG [1]

Parameter nach ICNIRP	Gültiger Spektralbereich in nm	Wert
C_A	$\lambda < 700$ 700 bis 1 050 1 050 bis 1 400	$C_A = 1{,}0$ $C_A = 10^{0{,}002}(\lambda - 700)$ $C_A = 5{,}0$
C_B	400 bis 450 450 bis 700	$C_B = 1{,}0$ $C_B = 10^{0{,}02}(\lambda - 450)$
C_C	700 bis 1 150 1 150 bis 1 200 1 200 bis 1 400	$C_C = 1{,}0$ $C = 10^{0{,}018}(\lambda - 1150)$ $C_C = 8{,}0$
T_1	$\lambda < 450$ 450 bis 500 $\lambda > 500$	$T_1 = 10$ s $T_1 = 10 \cdot [10^{0{,}02}\ (\lambda - 450)]$ s $T_1 = 100$ s
Parameter nach ICNIRP	**Biologische Wirkung**	**Wert**
α_{min}	Alle thermischen Wirkungen	$\alpha_{min} = 1{,}5$ mrad
Parameter nach ICNIRP	**Gültiger Winkelbereich in mrad**	**Wert**
C_E	$\alpha < \alpha_{min}$ $\alpha_{min} < \alpha < 100$ $\alpha > 100$	$C_E = 1{,}0$ $C_E = \alpha/\alpha_{min}$ $C_E = \alpha^2/(\alpha_{min} \cdot \alpha_{max})$ mrad bei $\alpha_{max} = 100$ mrad
T_2	$\alpha < 1{,}5$ $1{,}5 < \alpha < 100$ $\alpha > 100$	$T_2 = 10$ s $T_2 = 10 \cdot [10^{(\alpha - 1{,}5)\ /\ 98{,}5}]$ s $T_2 = 100$ s
Parameter nach ICNIRP	**Gültiger Expositionsdauer in s**	**Wert**
γ	$t \leq 100$ $100 < t < 10^4$ $t > 10^4$	$\gamma = 11$ [mrad] $\gamma = 1{,}1\ t^{0{,}5}$ [mrad] $\gamma = 110$ [mrad]

ICNIRP: International Commission on Non-Jonizing Radiation Protection; Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung

Wiederholt gepulste oder modulierte Laserstrahlung

Jede der drei folgenden allgemeinen Regeln ist bei allen wiederholten Expositionen anzuwenden, die bei wiederholt gepulster oder modulierter Laserstrahlung auftreten:

1. Die Exposition gegenüber jedem einzelnen Impuls einer Impulsfolge darf den Expositionsgrenzwert für einen Einzelimpuls dieser Impulsdauer nicht überschreiten.

2. Die Exposition gegenüber einer Impulsgruppe (oder einer Untergruppe von Impulsen in einer Impulsfolge) innerhalb des Zeitraums t darf den Expositionsgrenzwert für die Zeit t nicht überschreiten.

3. Die Exposition gegenüber jedem einzelnen Impuls in einer Impulsgruppe darf den Expositionsgrenzwert für den Einzelimpuls, multipliziert mit einem für die kumulierte thermische Wirkung geltenden Korrekturfaktor $C_p = N^{-0,25}$ nicht überschreiten (wobei N die Zahl der Impulse ist). Diese Regel gilt nur für Expositionsgrenzwerte zum Schutz gegen thermische Schädigung, wobei alle in weniger als T_{min} (Tabelle 2.6) erzeugten Impulse als einzelner Impuls behandelt werden.

Tabelle 2.6:
Zeiten T_{min}, unterhalb derer die Impulsgruppen als einzelner Impuls betrachtet werden

Gültiger Spektralbereich in nm	T_{min}
$315 < \lambda \leq 400$	10^{-9} s (= 1 ns)
$400 < \lambda \leq 1\,050$	$18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 µs)
$1\,050 < \lambda \leq 1\,400$	$50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 µs)
$1\,400 < \lambda \leq 1500$	10^{-3} s (= 1 ms)
$1500 < \lambda \leq 1800$	10 s
$1800 < \lambda \leq 2\,600$	10^{-3} s (= 1 ms)
$2\,600 < \lambda \leq 106$	10^{-7} s (= 100 ns)

7.3.4 Weitere Hilfen

Die Richtlinie 2006/25/EG [1] enthält Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung in Tabellenform und damit in einer sehr knappen Darstellung. Zur praktischen Anwendung der Grenzwerte sind in der Regel weitere Informationen nötig. Eine Hilfe können hier die TROS Laserstrahlung [3] und die DIN EN 60825-1 [4] bieten, in denen weitere Details, z. B. zu den Themen gepulste Strahlung, additive Wirkung mehrerer Wellenlängen, Größe von Messblenden und richtungsveränderliche Laserstrahlung beschrieben sind.

7.3.5 Empfehlungen

Die Anlage II der Richtlinie 2006/25/EG [1] enthält für Laserstrahlung einige Grenzwerte, die zum Teil erheblich höher liegen als für inkohärente optische Strahlung in Anlage I. Dazu gehören z. B. Grenzwerte für Augen und Haut im Wellenlängenbereich über 700 nm für lange Expositionszeiten bis zu 30 000 s. Sofern die Laserstrahlung längere Zeit größere Hautareale bestrahlt, wird empfohlen, verminderte Expositionsgrenzwerte anzuwenden. Die DGUV Vorschrift 11 empfiehlt eine Verringerung des Grenzwertes von $E = 1\,000$ W/m² auf $E = 100$ W/m² im Wellenlängenbereich von 1400 nm bis 10^6 nm, wenn mehr als 0,1 m² Hautfläche bestrahlt wird. Grundsätzlich sind zwar die Grenzwerte der Richtlinie 2006/25/EG über die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) [2] rechtsverbindlich, sofern aber die DGUV Vorschrift 11 niedrigere Grenzwertempfehlungen (MZB-Werte) enthält, wird empfohlen, zur Vorsicht diese anzuwenden.

7.3.6 Literatur

[1] 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). ABl. EU (2006) Nr. L 114, S. 38-39; zul. geänd. Verordnung (EU) 2019/1243, ABl. EU (2019) Nr. L 198, S. 241

[2] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV) vom 19. Juli 2010. BGBl. I (2010) Nr. 38, S. 960; zul. geänd. BGBl. I (2017), S. 3584

[3] Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS) Laserstrahlung.
https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TROS/TROS.html

[4] DIN EN 60825-1: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (7/2022). Beuth, Berlin 2022

7.4 Elektromagnetische Felder

7.4.1 Einleitung

Elektromagnetische Felder im Sinne des Arbeitsschutzes sind statische elektrische, statische magnetische sowie zeitveränderliche elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder mit Frequenzen von 0 Hz bis 300 GHz.

Wie auch die optische Strahlung zählen die elektromagnetischen Felder zur nicht-ionisierenden Strahlung.

Grenzwerte zum Schutz vor Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern an Arbeitsplätzen waren bis 2016 allein in der DGUV Vorschrift 15 „Elektromagnetische Felder“ [1] festgelegt. Diese wird durch die DGUV Regel 103-013 „Elektromagnetische Felder“ [2] näher erläutert. Am 15. November 2016 trat die Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV) in Kraft [3]. Sie setzt die Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) [4] in deutsches Recht um. Als Handlungshilfe für die praktische Umsetzung der EMFV wurden zum 14.02.2023 die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (TREMF) veröffentlicht. Diese sind in drei Teile gegliedert (NF – 0 Hz bis 10 MHz, HF – 100 kHz bis 300 GHz und MR – Magnetresonanzverfahren) und konkretisieren und erläutern die EMFV [5, 6, 7]. Die Einhaltung der TREMF löst Vermutungswirkung aus, so dass die Anforderungen der übergeordneten EMF Verordnung erfüllt werden.

Mit der Veröffentlichung der TREMF wurde der Prozess zur Zurückziehung der DGUV Vorschrift 15 in Gang gesetzt. Die Zurückziehung muss von jedem Unfallversicherungsträger einzeln erfolgen, sodass der Prozess zur Zurückziehung sich über einen größeren Zeitraum erstecken kann. In dieser Übergangsphase sind die staatlichen Regelungen (EMFV & TREMF) sowie die DGUV Vorschrift 15 und die DGUV Regel 103-013 gleichzeitig gültig. Trotz der Übergangsphase empfiehlt es sich, zukünftig die Bewertung von elektromagnetischen Feldern nach den Anforderungen der EMFV und den TREMF durchzuführen.

Sobald die DGUV Vorschrift 15 und DGUV Regel 103-013 zurückgezogen sind, ist eine Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilungen mit Bezug auf die geänderten Bewertungsgrundlage (EMFV) erforderlich.

Die DGUV Information 203-038 “Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandschweißeinrichtungen“ [8] und DGUV Information 203-043 „Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder“ [9] sind Handlungshilfen für spezielle Anwendungsbereiche und werden aktuell auf das Schutzkonzept der EMFV angepasst. Insbesondere für die Bewertung von nicht-sinusförmigen Magnetfeldern wurde die Methode der gewichteten Spitzenwerte (Weighted Peak Method – WPM) als neuer Standard festgelegt.

Die Grenzwerteliste enthält nun ausschließlich die Werte der EMFV und der TREMF.

7.4.2 Wirkungen

7.4.2.1 Direkte Wirkungen

Durch die Anwesenheit einer Person in einem elektromagnetischen Feld können in ihrem Körper unmittelbar Wirkungen hervorgerufen werden, die als direkte Wirkungen bezeichnet werden.

Zu den direkten Wirkungen zählen:

1. thermische Wirkungen (Erwärmung) aufgrund von Energieabsorption aus elektromagnetischen Feldern im menschlichen Gewebe oder durch induzierte Körperströme in Extremitäten und

2. nichtthermische Wirkungen durch die Stimulation von Muskeln, Nerven oder Sinnesorganen. Diese Wirkungen können kognitive Funktionen oder die körperliche Gesundheit exponierter Beschäftigter nachteilig beeinflussen, durch die Stimulation von Sinnesorganen zu vorübergehenden Symptomen wie Schwindelgefühl oder Magnetophosphenen führen und damit das sichere Arbeiten von Beschäftigten gefährden.

7.4.2.2 Indirekte Wirkungen

Gefährdungen können auch von Gegenständen ausgehen, die einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt sind, woraus möglicherweise eine Gefährdung für die Gesundheit und Sicherheit von Beschäftigten resultiert. In diesem Zusammenhang spricht man von indirekten Wirkungen.

Insbesondere betrifft dies Gefährdungen durch

1. Einwirkungen auf medizinische Vorrichtungen oder Geräte, einschließlich Herzschrittmachern sowie andere aktive oder passive Implantate oder am Körper getragene medizinische Geräte;

2. die Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern;

3. die Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren);

4. Brände oder Explosionen durch die Entzündung von brennbaren Materialien aufgrund von Funkenbildung sowie

5. Kontaktströme.

7.4.3 Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen der EMFV

Um Gefährdungen durch direkte und indirekte Wirkungen infolge der Einwirkung von elektromagnetischen Feldern zu vermeiden, werden im Anhang der EMFV Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen festgelegt.

Sowohl die Expositionsgrenzwerte als auch die Auslöseschwellen beziehen sich nur auf Kurzzeitwirkungen von elektromagnetischen Feldern und gelten für sinusförmige Felder einer Frequenz.

7.4.3.1 Expositionsgrenzwerte

Expositionsgrenzwerte sind maximal zulässige Werte, die aufgrund von wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungen auf den menschlichen Körper festgelegt wurden und deren Einhaltung im Allgemeinen nicht direkt durch Messungen am Arbeitsplatz überprüfbar ist. Mit Bezug auf mögliche direkte Wirkungen sind folgende Expositionsgrenzwerte zu unterscheiden:

1. Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen; dies sind diejenigen Grenzwerte, bei deren Überschreitung gesundheitsschädliche Gewebeerwärmung oder Stimulation von Nerven- oder Muskelgewebe auftreten können.

2. Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen; dies sind diejenigen Grenzwerte, bei deren Überschreitung reversible Stimulationen von Sinneszellen oder geringfügige Veränderungen von Hirnfunktionen auftreten können (Magnetophosphene, Schwindel, Übelkeit, metallischer Geschmack, Mikrowellenhören).

7.4.3.2 Auslöseschwellen

Auslöseschwellen sind festgelegte Werte von direkt messbaren physikalischen Größen. Bei Auslöseschwellen, die von Expositionsgrenzwerten abgeleitet sind, bedeutet die Einhaltung dieser Auslöseschwellen, dass die entsprechenden Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden. Bei Exposition oberhalb dieser Auslöseschwellen sind Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten zu ergreifen, es sei denn, dass die relevanten Expositionsgrenzwerte nachweislich eingehalten sind. Ein solcher Nachweis ist zumeist mit einem erhöhten Aufwand verbunden und erfordert erweiterte Fachkenntnisse hinsichtlich analytischer und/oder numerischer Berechnungs- und Simulationsverfahren. Bei Auslöseschwellen, die nicht von Expositionsgrenzwerten abgeleitet sind, sind bei Überschreitung dieser Auslöseschwellen direkt Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten durchzuführen. Im Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 MHz ist zwischen unteren und oberen Auslöseschwellen zu unterscheiden:

1. bei elektrischen Feldern bezeichnen die Ausdrücke untere Auslöseschwelle und obere Auslöseschwelle die Werte, ab deren Überschreitung spezifische Maßnahmen zur Vermeidung von direkten und indirekten Wirkungen durch Entladungen oder Kontaktströme zu ergreifen sind, und

2. bei magnetischen Feldern ist die untere Auslöseschwelle vom Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen und die obere Auslöseschwelle vom Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen abgeleitet.

7.4.4 Tabellen der Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen

Nachfolgend sind die durch die EMFV gesetzlich vorgegebenen Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte aufgeführt.

7.4.4.1 Frequenzbereich 0 Hz bis 10 MHz (nichtthermische Wirkungen)

Tabelle 1: Expositionsgrenzwerte für die magnetische Flussdichte B von statischen Magnetfeldern

Maximalwert der magnetischen Flussdichte B (T)		
Sensorische Wirkungen (normale Arbeitsbedingungen)	Sensorische Wirkungen (lokale Exposition von Gliedmaßen)	Gesundheitliche Wirkungen (kontrollierte Arbeitsbedingungen)
2	8	8

Anmerkung 1: Die Expositionsgrenzwerte in Tabelle 1 sind räumliche Maximalwerte für statische Magnetfelder zur Begrenzung der Wirkungen bei Beschäftigten, die in dem statischen Magnetfeld tätig werden. Wirkungen können insbesondere bei Bewegungen in den Bereichen mit hohen räumlichen Magnetfeldgradienten auftreten.

Anmerkung 2: Bei Tätigkeiten in einem statischen Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte B bis 2 T sind die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen nach Tabelle 4 für normale Arbeitsbedingungen im Frequenzbereich bis 10 Hz eingehalten.

Anmerkung 3: Ist bei Tätigkeiten in einem statischen Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte B bis 8 T die Exposition nur auf die Gliedmaßen beschränkt, so sind die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen nach Tabelle 4 im Frequenzbereich bis 10 Hz eingehalten.

Anmerkung 4: Bei Tätigkeiten in einem statischen Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte B bis 8 T sind die Expositionsgrenzwerte für sensorische und gesundheitliche Wirkungen nach Tabelle 3 im Frequenzbereich bis 10 Hz nur für kontrollierte Arbeitsbedingungen eingehalten.

Tabelle 2: Expositionsgrenzwert für die elektrische Feldstärke E_e von statischen elektrischen Feldern

Maximalwert der externen elektrischen Feldstärke E_e (V/m)
$2{,}82 \cdot 10^4$

Anmerkung: Der Expositionsgrenzwert in Tabelle 2 der elektrischen Feldstärke ist ein räumlicher Maximalwert für statische elektrische Felder zur Begrenzung der Wirkungen bei Beschäftigten, die in dem statischen elektrischen Feld tätig werden.

Tabelle 3: Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke E_i für gesundheitliche Wirkungen im Frequenzbereich bis 10 MHz

Frequenzbereich	Spitzenwert der internen elektrischen Feldstärke E_i (V/m)
0 Hz < f < 3 kHz	1,1
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	0,38 · 10-3 · f

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz)

Anmerkung 2: Die Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke für gesundheitliche Wirkungen sind räumliche Maximalwerte im Körper von Beschäftigten.

Tabelle 4: Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke E_i für sensorische Wirkungen im Frequenzbereich bis 400 Hz

Frequenzbereich	Spitzenwert der internen elektrischen Feldstärke E_i (V/m)
0 Hz < f < 25 Hz	0,07
25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz	$2{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot f$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke für sensorische Wirkungen in Tabelle 4 sind räumliche Maximalwerte im Kopf von Beschäftigten.

Tabelle 5: Expositionsgrenzwerte für kontinuierliche Kontaktströme I_k bei greifendem Kontakt

Frequenz	Spitzenwert des stationären zeitveränderlichen Kontaktstroms I_K (mA)
Bis 3 kHz	5
3 kHz ≤ f < 45 kHz	f / 600
45 kHz ≤ f < 100 kHz	75
100 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	75

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hz.
Anmerkung 2: Durch den greifenden Kontakt wird die Kontaktfläche größer als bei berührendem Kontakt.

Tabelle 6: Expositionsgrenzwerte für den Entladungspuls eines Kontaktstroms

Maximale Entladungsenergie W (mJ)	Maximale übertragene Ladung Q (µC)
350	50

Tabelle 7: Auslöseschwellen für zeitveränderliche externe elektrische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke E_e (V/m)	
	Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle
0 Hz ≤ f < 25 Hz	$2{,}82 \cdot 10^4$	$2{,}82 \cdot 10^4$
25 Hz ≤ f < 50 Hz	$7{,}07 \cdot 10^5 / f$	$2{,}82 \cdot 10^4$
50 Hz ≤ f < 1,635 kHz	$7{,}07 \cdot 10^5 / f$	$1{,}41 \cdot 10^6 / f$
1,635 kHz ≤ f < 3 kHz	$7{,}07 \cdot 10^5 / f$	$8{,}62 \cdot 10^2$
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	$2{,}36 \cdot 10^2$	$8{,}62 \cdot 10^2$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).
Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar.
Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden.

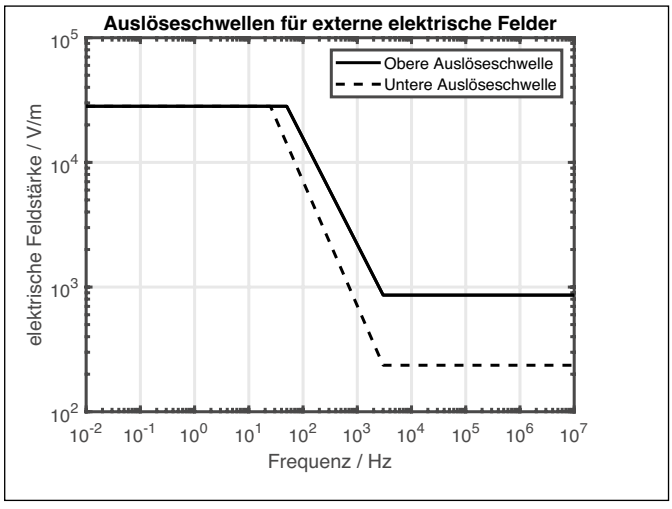


Abbildung 1:
Darstellung der Auslöseschwellen für externe elektrische Felder aus Tabelle 7

Tabelle 8: Auslöseschwellen für zeitveränderliche magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

Frequenzbereich	Spitzenwert der magnetischen Flussdichte B (T)		
	Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle	Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen
0 Hz ≤ f < 0,0175 Hz	2	2	8
0,0175 Hz ≤ f < 0,1575 Hz	$35 \cdot 10^{-3} / f$	2	8
0,1575 Hz ≤ f < 0,21 Hz	$35 \cdot 10^{-3} / f$	2	1,26 / f
0,21 Hz ≤ f < 25 Hz	$35 \cdot 10^{-3} / f$	0,42 / f	1,26 / f
25 Hz ≤ f < 300 Hz	$1,4 \cdot 10^{-3}$	0,42 / f	1,26 / f
300 Hz ≤ f < 3 kHz	0,42 / f	0,42 / f	1,26 / f
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	$0,14 \cdot 10^{-3}$	$0,14 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot 10^{-3}$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).
Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber magnetischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar.
Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden.

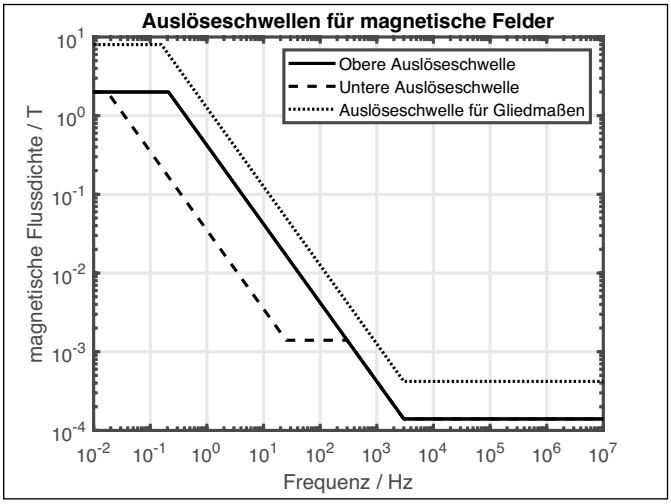


Abbildung 2:
Darstellung der Auslöseschwellen für magnetische Felder aus Tabelle 8

Tabelle 9: Auslöseschwellen für Kontaktströme I_K bei berührendem Kontakt

Frequenz	Spitzenwert des stationären zeitveränderlichen Kontaktstroms I_K (mA)
Bis 3 kHz	1
3 kHz ≤ f < 45 kHz	f / 3000
45 kHz ≤ f < 100 kHz	15
100 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	15

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hz.

Tabelle 10:
Auslöseschwellen der magnetischen Flussdichte B bei statischen Magnetfeldern für die Beeinflussung von implantierten aktiven oder am Körper getragenen medizinischen Geräten, z. B. Herzschrittmacher

Magnetische Flussdichte B (mT)	
Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle
0,5	1

Tabelle 11:
Auslöseschwellen der magnetischen Flussdichte B für die Projektilwirkung von ferromagnetischen Gegenständen im Streufeld von Anlagen mit hohen statischen Magnetfeldern (› 100 mT)

Magnetische Flussdichte B (mT)		
Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle	
	aktiv geschirmte Magnete	sonstige Magnete
3	30	60

7.4.4.2 Frequenzbereich 100 kHz bis 300 GHz (thermische Wirkung)

Tabelle 12:
Expositionsgrenzwerte der spezifischen Absorptionsrate SAR für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 6 GHz

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen	Spezifische Absorptionsrate SAR (W/kg)
Ganzkörpermittelwert der SAR	0,4
Lokale SAR-Wärmebelastung für Kopf und Rumpf	10
Lokale SAR-Wärmebelastung für Gliedmaßen	20

Anmerkung 1: Die SAR-Werte sind über ein Sechs-Minuten-Intervall zu mitteln.
Anmkerung 2: Lokale SAR-Werte sind über 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes zu mitteln.

Tabelle 13:
Expositionsgrenzwert der Leistungsdichte S für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 6 GHz bis 300 GHz

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwert der Leistungsdichte S (W/m^2)
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	50

Anmerkung 1: Die Leistungsdichte wird über jedes Flächenelement von 20 cm^2 gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm^2, darf das 20fache des Wertes von 50 W/m^2 also 1 kW/m^2 nicht überschreiten. Leistungsdichten im Frequenzbereich von 6 GHz bis 10 GHz werden über Sechs-Minuten-Intervalle gemittelt. Oberhalb von 10 GHz wird die Leistungsdichte über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68/f^{1,05}$-Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist).

Tabelle 14:
Expositionsgrenzwert der lokalen spezifischen Energieabsorption SA für sensorische Wirkungen bei Exposition gegenüber gepulsten elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 0,3 GHz bis 6 GHz (Mikrowellenhören)

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwert der lokalen spezifischen Energieabsorption SA (mJ/kg)
0,3 GHz ≤ f ≤ 6 GHz	10

Anmerkung 1: Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SA beträgt 10 g.
Anmerkung 2: Die sensorische Wirkung des Mikrowellenhörens kann nur bei Pulsbreiten kleiner als 30 µs auftreten.

Tabelle 15:
Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz

Frequenzbereich	Effektivwert der elektrischen Feldstärke E (V/m)	Effektivwert der magnetischen Feldstärke H (A/m)	Mittelwert der Leistungsdichte S (W/m²)
100 kHz ≤ f < 1 MHz	614	$1{,}63 \cdot 10^6 / f$	—
1 MHz ≤ f < 10 MHz	$614 \cdot 10^6 / f$	$1{,}63 \cdot 10^6 / f$	—
10 MHz ≤ f < 400 MHz	61,4	0,163	10
400 MHz ≤ f < 2 GHz	$3{,}07 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$8{,}14 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{f}$	$25 \cdot 10^{-9} \cdot f$
2 GHz ≤ f < 300 GHz	137,3	0,364	50

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).
Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen (E), (H) und (S) werden bis 10 GHz über ein Sechs-Minuten-Intervall gemittelt. Über 10 GHz werden die Auslöseschwellen für (E), (H) und (S) über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68/f^{1{,}05}$-Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist).
Anmerkung 3: Die Leistungsdichte wird über ein beliebiges exponiertes Flächenelement von 20 cm^2 gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm^2, sollte das 20-fache des Wertes von 50 W/m^2, also 1 kW/m^2 nicht überschreiten.
Anmerkung 4: Bei Hochfrequenzpulsen im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz berechnen sich die Spitzenwerte für die elektrischen Feldstärken durch Interpolation des 1,5-fachen Wertes der Auslöseschwelle bei 100 kHz und des 32-fachen WErtes bei 10 MHz in Tabelle 15. Bei Frequenzen über 10 MHz überschreitet die über die Impulsbreite gemittelte Leistungsdichte Seq nicht das Tausendfache der Auslöseschwellen oder die Feldstärken nicht das 32-fache der entsprechenden Auslöseschwellen.
Anmerkung 5: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- und Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden.

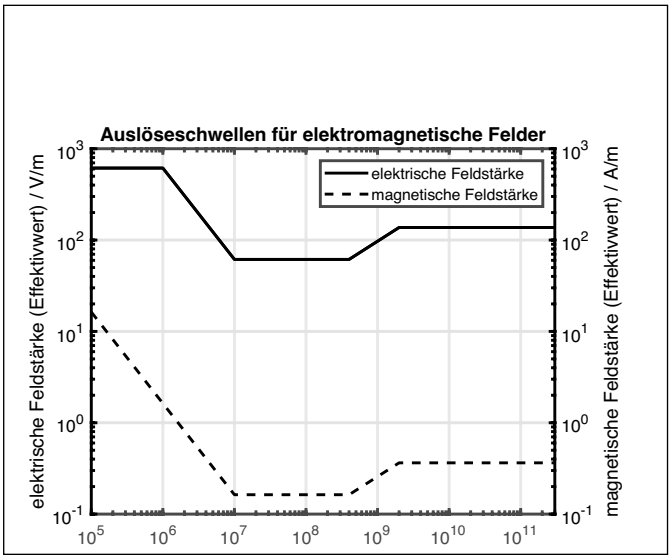


Abbildung 3:
Darstellung der Auslöseschwellen für elektromagnetische Felder aus Tabelle 15

Tabelle 16:
Auslöseschwellen für stationäre Kontaktströme I_K und induzierte Ströme durch die Gliedmaßen I_G im Frequenzbereich von 100 kHz bis 110 MHz

Frequenzbereich	Effektivwert des stationären zeitveränderlichen Kontaktstroms I_K (mA)	Effektivwert des induzierten Stroms durch eine beliebige Gliedmaße I_G (mA)
100 kHz ≤ f < 10 MHz	40	—
10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz	40	100

Anmerkung: Die Auslöseschwellen I_K und I_G werden jeweils über ein Sechs-Minuten-Intervall gemittelt.

Tabelle 17:
Expositionsgrenzwerte für kontinuierliche Kontaktströme I_K bei greifendem Kontakt

Frequenz	Spitzenwert des stationären zeitveränderlichen Kontaktstroms I_K (mA)
bis 3 kHz	5
3 kHz ≤ f < 45 kHz	f / 600
45 kHz ≤ f < 100 kHz	75
100 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	75

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hz.
Anmerkung 2: Durch den greifenden Kontakt wird die Kontaktfläche größer als bei berührendem Kontakt.

7.4.5 Hinweise zur Bewertung der Exposition durch elektromagnetische Felder bei der Arbeit

Für den Fall der grundlegenden Situation einer Exposition durch ein sinusförmiges Feld einer einzelnen Frequenz f, kann eine Bewertung der Expositionssituation über den Vergleich eines ermittelten Messwerts mit den Expositionsgrenzen oder Auslöseschwellen aus Kapitel 7.4.4.1 bzw. 7.4.4.2 durchgeführt werden.

Dabei ist zu beachten, dass sich die Gültigkeitsbereiche der Tabellen aus Kapitel 7.4.4.1 (Frequenzbereich 0 Hz bis 10 MHz) und Kapitel 7.4.4.2 (Frequenzbereich 100 kHz bis 300 GHz) überschneiden. In dem sogenannten Übergangsbereich von 100 kHz und 10 MHz können sowohl thermische als auch nicht-thermische Wirkungen auftreten. Es muss in diesem Fall sichergestellt werden, dass alle relevanten Werte eingehalten werden.

In der Praxis treten darüber hinaus häufig Expositionsszenarien auf, bei denen ein einfacher Vergleich nicht ausreichend ist. Um in diesen Situationen zu einer regelkonformen Bewertung zu kommen, ist eine spezielle Fachkunde notwendig.

Insbesondere betrifft dies die in Kapitel 7.4.5.1 und 7.4.5.2 kurz beschriebenen Fälle.

7.4.5.1 Bewertung nicht-sinusförmiger Felder

Bei einer Vielzahl industrieller Anwendungen werden nicht-sinusförmige Stromformen verwendet. So kommt es z. B. beim Widerstandsschweißen bedingt durch den Einsatz nicht-sinusförmiger Schweißstromformen hauptsächlich zur Emission von nicht-sinusförmigen Magnetfeldern.

Um die Exposition durch solche Felder zu bewerten, können gemäß der EMFV Verfahren zur Bewertung im Zeitbereich nach dem Stand der Technik wie die Methode der gewichteten Spitzenwerte (WPM) angewendet werden. Die Zeitbereichsbewertungsmethode (ZBM), welche in der DGUV-Vorschrift 15 beschrieben ist, ist nicht mit der EMFV konform und kann daher nicht mehr angewendet werden.

Die WPM wird z. B. im Band 1 des nicht-verbindlichen Leitfadens der Europäischen Kommission zur EMF-Richtlinie 2013/35/EU beschrieben [11]. Weiterhin wird aktuell die DGUV Information 203-038 [8] überarbeitet und an die WPM angepasst. Das IFA bietet eine frei verfügbare Softwareanwendung [10] an, mit der nicht-sinusförmige Felder nach WPM bewertet werden können. Die Anwendung der WPM erfordert entsprechende Fachkenntnis.

7.4.5.2 Bewertung der Exposition für Beschäftigte mit aktiven oder passiven medizinischen Implantaten

Die EMFV fordert, dass mögliche Gefährdungen von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten gesondert berücksichtigt werden. Dies betrifft vor allem Beschäftigte mit aktiven oder passiven medizinischen Implantaten, wie z. B. Herzschrittmachern (HSM), implantierbaren Kardioverter-Defibrillatoren (IKD) oder Stents. Da die EMFV diesbezüglich nur wenige Informationen bereitstellt (siehe Tabelle 10) hat das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) den Forschungsbericht 451 [12] herausgegeben. Dieser enthält Schwellenwerte, die für eine Gefährdungsbeurteilung von Beschäftigten mit aktiven oder passiven medizinischen Implantaten herangezogen werden können. Die Tabellenwerte wurden unter der Annahme der ungünstigsten Voraussetzungen ermittelt und berücksichtigten keine individuellen Voraussetzungen wie das Implantatmodell oder dessen Einstellungsparameter (z. B. die Wahrnehmungsempfindlichkeit). Die Schwellenwerte wurden in die TREMF [5, 6] übernommen und sind damit Stand der Technik (Tabellen 18 bis 21).

Mit einer entsprechenden Fachkunde können individuelle Parameter im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden. Dies führt oftmals zu einer günstigeren Bewertung der Exposition und weniger strengen Maßnahmen.

Tabelle 18:
Schwellenwerte der externen elektrischen Feldstärke, die noch zu keiner unzulässigen Beeinflussung des aktiven Körperhilfsmittels (Implantat) führen

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke [V/m]
0 Hz < f ≤ 15,9 Hz	28 300
15,9 Hz < f ≤ 1000 Hz	$4{,}5 \cdot 10^5 / \frac{f}{Hz}$
1 kHz < f ≤ 3 kHz	$450 \cdot \frac{f}{kHz}$
3 kHz < f ≤ 25 kHz	1 350
25 kHz < f ≤ 167 kHz	$55 \cdot \frac{f}{kHz}$
167 kHz < f ≤ 300 kHz	9 185
300 kHz < f ≤ 1 MHz	$2{,}77 \cdot 10^6 / \frac{f}{kHz}$
1 MHz < f ≤ 5,33 MHz	2 770
5,33 MHz < f ≤ 10 MHz	$6{,}16 \cdot 10^4 / \left(\frac{f}{MHz}\right)^{1{,}85}$
10 MHz < f ≤ 16,9 MHz	$6{,}16 \cdot 10^5 / \left(\frac{f}{MHz}\right)^{2{,}85}$
16,9 MHz < f ≤ 200 MHz	195
200 MHz < f ≤ 400 MHz	$3{,}36 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{f}{MHz}\right)^{2{,}94}$
400 MHz < f ≤ 1,5 GHz	1 500
1,5 GHz < f ≤ 2,5 GHz	$446 \cdot \left(\frac{f}{GHz}\right)^3$

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hz.

Tabelle 19:
Schwellenwerte der externen magnetischen Feldstärke, die noch zu keiner unzulässigen Beeinflussung des aktiven Körperhilfsmittels (Implantat) führen

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen magnetischen Feldstärke [A/m]
0 Hz < f ≤ 9,97 Hz	555
9,97 Hz < f ≤ 1000 Hz	$\frac{5\,555}{\left(\frac{f}{Hz}\right)}$
1 kHz < f ≤ 3 kHz	$5{,}55 \cdot \left(\frac{f}{kHz}\right)$
3 kHz < f ≤ 167 kHz	16,7
167 kHz < f ≤ 1 MHz	$\frac{2\,778}{\left(\frac{f}{kHz}\right)}$
1 MHz < f ≤ 5,33 MHz	2,78
5,33 MHz < f ≤ 10 MHz	$\frac{14{,}8}{\left(\frac{f}{MHz}\right)}$
10 MHz < f ≤ 16,9 MHz	$\frac{148}{\left(\frac{f}{MHz}\right)^2}$
16,9 MHz < f ≤ 200 MHz	0,52
200 MHz < f ≤ 400 MHz	$8{,}9 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{f}{MHz}\right)^{2{,}94}$
400 MHz < f ≤ 1,5 GHz	4
1,5 GHz < f ≤ 2,5 GHz	$1{,}18 \cdot \left(\frac{f}{GHz}\right)^3$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hz.
Anmerkung 2: Die magnetische Feldstärke H [A/m] kann über die Beziehung $B = \mu_0 \cdot H$ in die magnetische Flussdichte B [T] umgerechnet werden.

Die Konstante $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$ wird als magnetische Feldkonstante bezeichnet.

Tabelle 20:
Schwellenwerte der externen elektrischen Feldstärke, die die Sicherheit von Beschäftigten mit passiven Körperhilfsmitteln gewährleisten

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke [V/m]
0 Hz < f ≤ 53,3 Hz	28 300
53,3 Hz < f ≤ 1000 Hz	$1{,}51 \cdot 10^6 / \left(\frac{f}{Hz}\right)$
1 kHz < f ≤ 576 kHz	1 510
576 kHz < f ≤ 10 MHz	$8{,}68 \cdot 10^5 / \left(\frac{f}{kHz}\right)$
10 MHz < f ≤ 400 MHz	86,8
400 MHz < f ≤ 2 GHz	$4{,}34 \cdot \sqrt{\frac{f}{MHz}}$
2 GHz < f ≤ 300 GHz	194

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hz.

Tabelle 21:
Schwellenwerte der externen magnetischen Feldstärke, die die Sicherheit von Beschäftigten mit passiven Körperhilfsmitteln gewährleisten

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen magnetischen Feldstärke [A/m]
0 Hz < f ≤ 1,6 Hz	47 750
1,6 Hz < f ≤ 1000 Hz	$76\,400 / \left(\frac{f}{Hz}\right)$
1 kHz < f ≤ 91 kHz	76,4
91 kHz < f ≤ 30 MHz	$6{,}93 / \left(\frac{f}{MHz}\right)$
30 MHz < f ≤ 400 MHz	0,231
400 MHz < f ≤ 2 GHz	$11{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{f}{MHz}}$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hz.
Anmerkung 2: Die magnetische Feldstärke H [A/m] kann über die Beziehung $B = \mu_0 \cdot H$ in die magnetische Flussdichte B [T] umgerechnet werden.

Die Konstante $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$ wird als magnetische Feldkonstante bezeichnet.

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen magnetischen Feldstärke [A/m]
2 GHz < f ≤ 300 GHz	0,515

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hz.
Anmerkung 2: Die magnetische Feldstärke H [A/m] kann über die Beziehung $B = \mu_0 \cdot H$ in die magnetische Flussdichte B [T] umgerechnet werden.

Die Konstante $\mu_o = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$ wird als magnetische Feldkonstante bezeichnet.

7.4.5.3 Bewertung von Arbeitsbereichen, die auch der Öffentlichkeit zugänglich sind

In bestimmten Situationen kann es vorkommen, dass Arbeitsbereiche auch der Öffentlichkeit zugänglich sind. Dies ist z. B. im Einzelhandel der Fall. Wird hier eine Bewertung der Exposition durch elektromagnetische Felder bei der Arbeit durchgeführt, sollte auch der Schutz der Öffentlichkeit sichergestellt sein. Hierzu können die zulässigen Werte der 26. BImSchV [13] (Anwendungsbereich in §1 beachten!) oder der EU-Ratsempfehlung zum Schutz der Bevölkerung bei Einwirken elektromagnetischer Felder (1999/519/EG) [14] herangezogen werden.

7.4.6 Weitergehende Informationen

In den Technischen Regeln werden praktische Berechnungsbeispiele gegeben und Tabellen zur Verfügung gestellt, die es ermöglichen, für häufig vorkommende Expositionssituationen, wie z. B. einen Büroarbeitsplatz, mit geringem Aufwand zu einer Gefährdungsbeurteilung zu kommen.

Weitere Informationen und Erläuterungen können auch den weiteren Bänden des unverbindlichen Leitfadens der Europäischen Kommission zur EMF-Richtlinie 2013/35/EU entnommen werden [15, 16].

Die Website des Sachgebietes Elektromagnetische Felder des IFA unter https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/strahlung/elektromagnetische-felder/index.jsp stellt weitere nützliche Informationen sowie Kontaktdaten für Ansprechpartner zur Verfügung.

7.4.7 Literatur

[1] DGUV Vorschrift: Elektromagnetische Felder (15). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2001
DGUV Vorschrift: Elektromagnetische Felder (16). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2002

[2] DGUV Regel: Elektromagnetische Felder (103-013). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2006
DGUV Regel: Elektromagnetische Felder (103-014). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2002

[3] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV) vom 15. November 2016. BGBl. I (2016), S. 2531; zul. geänd. BGBl. I (2019), S. 554

[4] Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder). ABl. EU (2013) Nr. L 179, S. 1-21

[5] Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern: Statische und zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz (TREMF NF). GMBl. (2023) Nr. 3-12, S. 50

[6] Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern: Elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (TREMF HF). GMBl. (2023) Nr. 3-12, S. 140

[7] Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern: Magnetresonanzverfahren (TREMF MR). GMBl. (2023) Nr. 3-12, S. 235

[8] DGUV Information: Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen (203-038). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Köln 2006

[9] DGUV Information: Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder (203-043). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2009

[10] Software für die Bewertung magnetischer Felder (BEMF), Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/elektromagnetische-felder/software-bewertung-magnetischer-felder/index.jsp

[11] Nicht verbindlicher Leitfaden mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 2013/35/EU Elektromagnetische Felder. Band 1: Praktischer Leitfaden. Hrsg.: Europäische Kommission, Brüssel 2015

[12] *Heinrich, H., Börner, F.*: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (Forschungsbereicht 451). Hrsg.: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Berlin 2015

[13] Sechsundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetsiche Felder – 26. BImSchV) vom 14. August 2013. BGBl. I (2013), S. 3266

[14] 1999/519/EG: Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz). ABl. EG (1999) Nr. L 199, S. 59-70

[15] Nicht verbindlicher Leitfaden mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 2013/35/EU Elektromagnetische Felder. Band 2: Fallstudien: Hrsg.: Europäische Kommission, Brüssel 2015

[16] Nicht verbindlicher Leitfaden mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 2013/35/EU Elektromagnetische Felder. Band 3: Leitfaden für KMU. Hrsg.: Europäische Kommission, Brüssel 2015

8 Physikalische Einwirkungen – Elektrizität

8.1 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 DIN IEC/TS 60479-1 [1] dargestellt. Danach hängt die Wirkung des elektrischen Stroms beim Fluss durch den menschlichen Körper von der Höhe des Stroms, der Einwirkungsdauer, der Impedanz des menschlichen Körpers, der Frequenz und der Schwingungsform des Vorgangs ab. Für eine Bewertung werden hier gleiche physiologische Auswirkungen auf den Menschen, die durch einen Berührungsstromkreis hervorgerufen werden, zu Zeit/Stromstärke-Bereichen zusammengefasst. Diese Bereiche können für eine erste Einschätzung der Gefahren oder Auswirkungen auf den menschlichen Körper herangezogen werden.

8.2 Grenzwerte

Rechtsverbindliche Grenzwerte für die Einwirkung des elektrischen Stroms wurden bisher nicht festgelegt.

8.3 Empfehlungen

National und international befassen sich verschiedene Gremien mit der entsprechenden Normung. Für den deutschen Bereich wird auf die DIN-VDE-Bestimmungen wie DIN IEC/TS 60479-1 [1] und DIN VDE 0100-729 [2] hingewiesen.

8.3.1 Wirkung von sinusförmigen Wechselspannungen auf den menschlichen Körper (15 Hz bis 100 Hz)

In DIN IEC/TS 60479-1 werden folgende Bereiche bei der Wirkung von Wechselströmen (15 Hz bis 100 Hz) auf den menschlichen Körper unterschieden:

Zeit/Stromstärke Bereich	Bereichsgrenze	Physiologische Wirkung
AC-1	Bis zu 0,5 mA (Grenzlinie a [1])	Wahrnehmung möglich. Keine Schreckreaktion
AC-2	Über 0,5 mA bis Grenzlinie b [1]	Wahrnehmung und unwillkürliche Muskelkontraktion
AC-3	Grenzlinie b bis Grenzlinie c_1 [1]	Starke unwillkürliche Muskelkontraktion. Schwierigkeiten beim Atmen
AC-4	Über Grenzlinie c_1 [1]	Es können Herz- oder Atemstillstand, sowie Verbrennungen oder andere Zellschädigungen auftreten

[1] Die Grenzlinien sind in Abbildung 1 dargestellt

Der Zeit/Stromstärke Bereich AC-4 wird dann in drei Bereiche (AC-4.1 bis AC-4.3) unterteilt, wobei die Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern mit ansteigender Stromstärke und Durchströmungsdauer zunimmt (Abbildung 1).

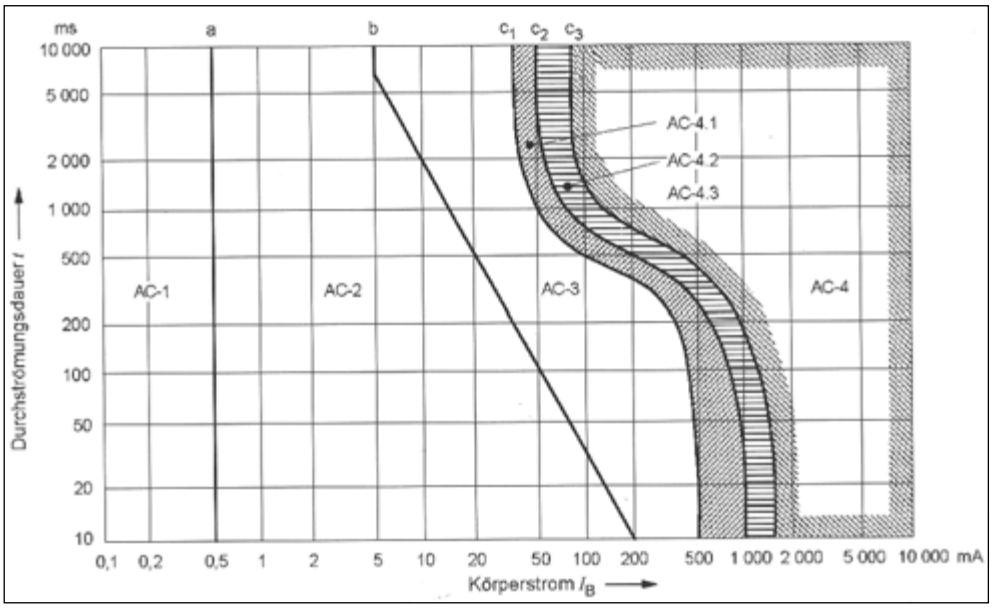


Abbildung 1:
Konventionelle Zeit/Stromstärke-Bereiche mit Wirkung von Wechselströmen (15 Hz bis 100 Hz) auf Personen bei einem Stromweg von der linken Hand zu den Füßen [1]

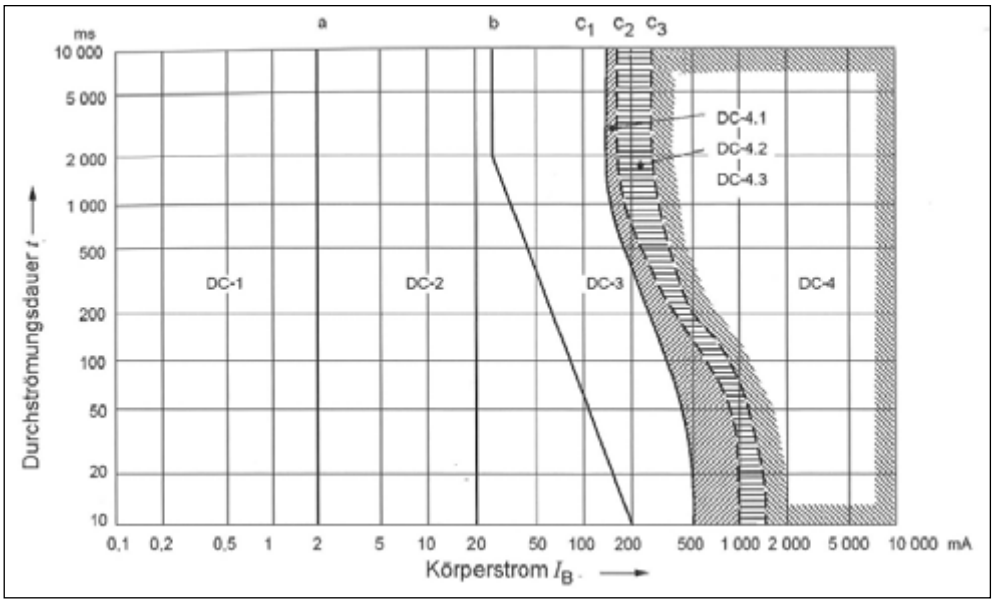


Abbildung 2:
Konventionelle Zeit/Stromstärke-Bereiche mit Wirkung von Gleichströmen auf Personen [1]

Für sinusförmige Wechselspannungen im Bereich von 15 bis 100 Hz werden in DIN IEC/TS 60479-1 verschiedene Schwellwerte unabhängig von der Durchströmungsdauer beschrieben. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Schwellen dargestellt.

Schwellen	Stromstärke in mA
Wahrnehmbarkeitsschwelle	‹ 0,5
Reaktionsschwelle	0,5 - 5
Loslassschwelle	› 5

Da die sehr detaillierten Regelungen und die unterschiedlichsten Durchströmungspfade durch den menschlichen Körper den Rahmen dieses Reports sprengen würden, wird im Weiteren auf die einschlägigen Bestimmungen, z. B. [1] und [2], verwiesen.

8.3.2 Wirkung von Gleichspannung auf den menschlichen Körper

In DIN IEC/TS 60479-1 werden folgende Bereiche bei der Wirkung von Gleichstrom auf den menschlichen Körper unterschieden:

Zeit/Stromstärke Bereich	Bereichsgrenze	Physiologische Wirkung
DC-1	Bis zu 2 mA (Grenzlinie a [1])	Leicht stechende Empfindung beim Ein- und Ausschalten
DC-2	Über 2 mA bis Grenzlinie b [1]	Unwillkürliche Muskelkontraktion
DC-3	Grenzlinie b bis Grenzlinie c_1 [1]	Starke unwillkürliche Muskelkontraktion. Schwierigkeiten beim Atmen
DC-4	Über Grenzlinie c_1 [1]	Es können Herz- oder Atemstillstand, sowie Verbrennungen oder andere Zellschädigungen auftreten

[1] Die Grenzlinien sind in Abbildung 2 dargestellt

Der Zeit/Stromstärke Bereich DC-4 wird in drei Bereiche (DC-4.1 bis DC-4.3) unterteilt, wobei die Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern mit ansteigender Stromstärke und Durchströmungsdauer zunimmt (siehe Abbildung 2).

Für Gleichströme wird in DIN IEC/TS 60479-1 die Wahrnehmbarkeitsschwelle mit etwa 2 mA angegeben. Im Gegensatz zu Wechselspannungen lassen sich bei Gleichströmen keine festen Schwellwerte für die Reaktions- oder Loslassschwelle angeben. Nur der Beginn oder das Unterbrechen des Stromflusses können zu Muskelkontraktionen führen.

Da die sehr detaillierten Regelungen und die unterschiedlichsten Durchströmungspfade den Rahmen dieses Reports sprengen würden, wird im Weiteren auf die einschlägigen Bestimmungen, z. B. [1] und [2], verwiesen.

8.4 Literatur

[1] DIN IEC/TS 60479-1: Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 1: Allgemeine Aspekte (05/2007). Beuth, Berlin 2007

[2] DIN VDE 0100-729: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-729: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Bedienungsgänge und Wartungsgänge (02/2010). Beuth, Berlin 2010

Die Tabellen und Abbildungen sind Auszüge aus DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1) für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 22.019 des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.. Für weitere Wiedergaben oder Auflagen ist eine gesonderte Genehmigung erforderlich. Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE VERLAG GmbH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin, www.vde-verlag.de, und der Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin erhältlich sind.

9 Physikalische Einwirkungen – Biomechanische Belastungen

9.1 Belastung des Muskel-Skelett-Systems beim Heben, Halten, Tragen, Ziehen oder Schieben von Lasten

9.1.1 Einführung und Erläuterungen

Im eigentlichen Sinne bedeutet Belastung, dass eine Sache Gewicht hat, auf uns einwirkt und für uns spürbar ist. Das betrifft alle Einflüsse, denen wir im Leben ausgesetzt sind. Insbesondere körperliche Belastungen gehören zum Leben dazu und wir sind von Natur aus so ausgestattet, dass wir damit gut umgehen können, solange uns eine zu hohe Belastung nicht überfordert und wir uns der Überbeanspruchung rechtzeitig entziehen können.

In der Arbeitswelt wird angestrebt, physische Belastungen am Arbeitsplatz hinsichtlich Höhe und Einwirkungsdauer zu optimieren. Überforderung durch körperliche Arbeitsbelastung am Muskel-Skelett-System sind dabei ebenso zu vermeiden wie Unterforderung [1].

Als gesetzliche Grundlage dient die „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV)“ [2].

Das Zusammenkommen von Belastungsfaktoren durch manuelle Handhabung von Lasten auf unsere individuelle Beanspruchbarkeit ist zu bewerten. Diese Bewertung hat der Arbeitgeber im Rahmen einer Angebotsvorsorge entsprechend der „Verordnung über die Arbeitsmedizinische Vorsorge (ArbMedVV)“ [3] bei Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen zu ermöglichen. Die Umsetzung dieser Vorsorgeuntersuchung konkretisiert die Arbeitsmedizinische Regel „AMR 13.2“ [4] mit dem Titel „Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen mit Gesundheitsgefährdungen für das Muskel-Skelett-System“. Damit stellt sich die Frage, wann die Bedingungen am zu bewertenden Arbeitsplatz „Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen“ entsprechen.

Zur Beurteilung physischer Belastungen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes MEGAPHYS der BAuA und der DGUV vorhandene Methoden verschiedener Komplexitätsstufen (spezielles Screening, Experten-Screening und messtechnische Analyse) weiterentwickelt, um den Anforderungen einer sachgerechten Gefährdungsbeurteilung gerecht zu werden [5; 6]. Die Verfahren basieren auf einem gemeinsamen Bewertungsmodell, das die möglichen Wirkungen von Belastungsarten auf Zielregionen beschreibt. Das gemeinsame Risikokonzept ermöglicht eine Zuordnung von vier Belastungshöhen (gering – mäßig erhöht – wesentlich erhöht – hoch) zur Wahrscheinlichkeit einer Überbeanspruchung mit möglichen negativen Folgen für die Gesundheit. Unter Berücksichtigung dieses Risikokonzepts orientieren sich auch die in der Grenzwertliste genannten Richtwerte an Hinweisen auf mögliche wesentlich erhöhte Belastungen. Die Richtwerte sind dabei angelehnt an die DGUV Checkliste zur orientierenden Gefährdungsbeurteilung bei Belastungen des Muskel- und Skelettsystems, die ebenfalls basierend auf MEGAPHYS-Erkenntnissen weiterentwickelt wurde [7]. Die Richtwerte folgen damit den Bewertungsgrundlagen, die sowohl den Screeningverfahren, z. B. Leitmerkmalmethoden, als auch den biomechanischen und arbeitsphysiologischen messtechnischen Verfahren zugrunde liegen. Darüber hinaus sind auch Schwellen für die Anerkennung von Berufskrankheiten berücksichtigt worden.

9.1.2 Richtwerte

Die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen Richtwerte berücksichtigen biomechanische, energetische und muskuläre Engpässe. Die Lastgewichts-Häufigkeits-Kombinationen ergeben Dosiswerte für Bandscheibenkompressionskräfte, die unterhalb der Auslöseschwelle für relevante LWS-Belastungen nach der Deutschen Wirbelsäulenstudie liegen [8]. Auch der Arbeitsenergieumsatz erreicht bei den angegebenen Kombinationen von Last und Häufigkeit keine kritische Höhe gemäß der klassischen Arbeitsschwereeinteilung für dynamische Ganzkörperarbeit [9]. Bei Anwendung der Leitmerkmalmethoden liegen die genannten Belastungskonstellationen unter der Schwelle von 50 Punkten („wesentlich erhöhte Belastung“ ab 50 bis 100 LMM-Punkte).

Somit kann als gesichert angesehen werden, dass bei Unterschreitung der Richtwerte zu Last und Häufigkeit eine Gefährdung bei normal beanspruchbaren Personen ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 1:
Richtwerte beim manuellen Heben, Halten und Tragen

	Last/Gewicht	Häufigkeit	
		Frauen	Männer
Heben	5 bis 10 kg	100 x	150 x
	>10 bis 15 kg	50 x	100 x
	>15 bis 20 kg		50 x
Halten oder Tragen mit einer Dauer von ca. 5s*	5 bis 10 kg	60 x	80 x
	>10 bis 15 kg	30 x	60 x
	>15 bis 20 kg		30 x

*bei längeren Halte-/Tragedauern reduzieren sich die max. Häufigkeiten entsprechend

Liegen Lasthandhabungen mit Häufigkeiten knapp unter den genannten Grenzen in zwei oder mehreren Lastbereichen vor, sollten die Richtwerte als überschritten bewertet werden. Dasselbe gilt bei Lasten knapp unter 5 kg und deutlich höheren Häufigkeiten, regelmäßig schwereren Lasten, ungünstigen Körperhaltungen und hohen Anteilen einhändiger Lasthandhabung.

Im Unterschied zum Heben, Halten und Tragen müssen zum Ziehen und Schieben Körperkräfte aufgebracht werden, die in der horizontalen Ebene wirken. Dazu muss der Mensch den Körper in Kraftrichtung neigen und/oder den Schwung des Körpers (Impuls) ausnutzen [10]. Bei näherer Betrachtung wird zwischen Initialkräften (oder Beschleunigungskräften) und Konstantkräften unterschieden. Initialkräfte haben häufig einen höheren Betrag als Konstantkräfte, treten allerdings nur kurz auf und sind weniger reproduzierbar und damit schlechter vergleichbar als Konstantkräfte. Bei standardisierten Aufgaben, z. B. „Schieben eines Einkaufswagens“ oder „Ziehen einer Mülltonne“ ergeben sich bei idealen Umgebungsbedingungen stabile physikalische Abhängigkeiten zwischen den zu betrachtenden Kraftarten, so dass hier für die Ermittlung von Richtwerten nur die Kräfte betrachtet werden sollen, die zur Fortführung der Bewegung aufgebracht werden müssen. Es handelt sich hier somit um Konstantkräfte, nicht um Initialkräfte. Der Vorteil dieser Betrachtung ist, dass bei Abweichungen der idealen Bedingungen, wie z. B. einer schiefen Ebene oder defekten Rollen, die aufgewendeten höheren Kräfte auch erfasst und damit berücksichtigt werden.

Die in Tabelle 2 dargestellten Richtwerte wurden hergeleitet auf der Basis von messtechnisch ermittelten Expositionsdaten bei beruflichen Zieh- und Schiebetätigkeiten (vgl. u. a. [11–14] sowie basierend auf maximal mögliche Kraftaufwendungen beim Menschen vgl. [15–18]).

Tabelle 2:
Richtwerte beim Ziehen und Schieben

	Frauen	Männer
Ziehen und Schieben bis zu 40 mal pro Arbeitstag oder Gesamtstrecke < 500m	50 N	100 N

Bei Überschreitung der Richtwerte oder bei ungünstiger Beschaffenheit des Fahrwegs, zu kleinen/feststehenden/defekten Rollen, ungünstiger Griffposition oder sehr hohen Initialkräften sollte die Gefährdungsanalyse mit einem geeigneten Verfahren (z. B. Leitmerkmalmethoden oder messtechnische Analyse) durchgeführt werden.

Für besonders schutzbedürftigen Personen gemäß ArbSchG § 4 Nr. 6 (z. B. Jugendliche, ältere Beschäftigte, Beschäftigte mit Vorerkrankungen) kann bei den genannten Richtwerten bereits ein Risiko vorliegen, so dass hier immer eine spezifische Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden muss.

9.1.3 Grenzwerte nach dem Mutterschutzgesetz

Werdende Mütter dürfen nach dem Mutterschutzgesetz [19] u. a. Arbeiten nicht durchführen, bei denen

- regelmäßig Lasten von mehr als 5 kg Gewicht oder
- gelegentlich Lasten von mehr als 10 kg Gewicht

ohne mechanische Hilfsmittel von Hand gehoben oder befördert werden müssen.

9.1.4 Literatur

[1] *Hartmann, B.; Spallek, M.; Ellegast, R.P.*: Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen: Ursachen – Prävention – Ergonomie – Rehabilitation. ecomed Medizin, Landsberg am Lech 2021

[2] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV) vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841, 1842); zul. geänd. BGBl. I (2020), S. 1328

[3] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008. BGBl. I (2018), S. 2768; zul. geänd. BGBl. I (2019), S. 1082

[4] Arbeitsmedizinische Regel: Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen mit Gesundheitsgefährdungen für das Muskel-Skelett-System (AMR 13.2). GMBI. (2022) Nr. 7, S. 154

[5] MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz – Band 1. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Berlin 2019

[6] MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz – Band 2. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2020

[7] DGUV Information: Muskel-Skelett-Belastungen – erkennen und beurteilen (208-033). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2022

[8] *Bolm-Audorff, U.; Bergmann, A.; Ditchen, D.* et al.: Abschlussbericht zur Deutschen Wirbelsäulenstudie – DWS. (2007), S. 190

[9] *Lehmann, G.; Rohmert, W.; Rutenfranz, J.*: Praktische Arbeitsphysiologie. Thieme, Stuttgart 1983

[10] *Steinberg, U.*: Ziehen und Schieben ohne Schaden. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2012

[11] *Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R.; Laurig, W.*: 'The Dortmunder' – Biomechanical Model for Quantification and Assessment of the Load on the Lumbar Spine. SAE Trans. (2001) Nr. 110, S. 2163–2171

[12] *Glitsch, U.; Ottersbach, H.-J.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Feldges, W.*: Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz. Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften, BIA, Sankt Augustin 2004

[13] *Post, M.; Ellegast, R.; Kohn, M.*: Technische Unterstützung der manuellen Gepäckverarbeitung im Flughafenbetrieb – Ausgewählte Aspekte des Projekts TAQP. 4. Fachgespräch Ergonomie 2010. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), IFA, Sankt Augustin, 2011, S. 87–92

[14] *Brütting, M.; Hermanns, I.; Nienhaus, A.; Ellegast, R.*: Muskel-Skelett-Belastungen beim Schieben und Ziehen von Krankenbetten und Rollstühlen. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Ergonomie 2017, Nr. 67, S. 64–77

[15] *Rohmert, W.*: Zur Theorie der Erholungspausen bei dynamischer Arbeit. Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie 1960, Nr. 18, S. 191–212

[16] DIN 33411-5: Körperkräfte des Menschen – Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte (03/2023). Beuth, Berlin 2023

[17] ISO 11228-2: Ergonomie – Manuelle Handhabung – Teil 2: Ziehen und Schieben. Beuth, Berlin 2007

[18] *Wakula, J.; Berg, K.; Schaub, K.; Bruder, R.; Glitsch, U.; Ellegast, R.*: Der montagespezifische Kraftatlas. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., BGIA, Sankt Augustin, 2009

[19] Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium (Mutterschutzgesetz – MuSchG) vom 23. Mai 2017. BGBl. I (2017), S. 1228; zul. geänd. BGBl. I (2019), S. 2652

9.2 Quetschen von Körperteilen

9.2.1 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 Papierschneidemaschinen oder bei kraftbetriebenen Fahrsystemen, wie z. B. fahrerlosen Transportfahrzeugen, die mit einem Auffahrschutz ausgestattet sein müssen. Handbetätigte Einrichtungen und Konstruktionsteile, die ebenfalls hohe Quetschkräfte 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.

9.2.2 Grenzwerte

Die Norm DIN EN 12453 [1] enthält Festlegungen im Hinblick auf die dynamische Spitzenkraft und die Klemmkraft an kraftbetätigten Toren (Tabelle 1).

Die Einwirkdauer des dynamischen Spitzenkraftimpulses darf dabei höchstens 0,75 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, S. 229) in DIN EN 16005 [2] festgelegt (Tabelle 2, S. 226).

Tabelle 1:
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 m² mit keiner Seite weniger als 100 mm
	in Öffnungsweiten von 50 bis 500 mm	in Öffnungsweiten › 500 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

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.

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 EN 16005 [2] festgelegten Schließkraftmessmethode zu verstehen.

Für Aufzugtüren gilt nach DIN EN 81-20 [3] an den Hauptschließkanten:

$F_K \leq 150$ N, $F_S \leq 150$ N.

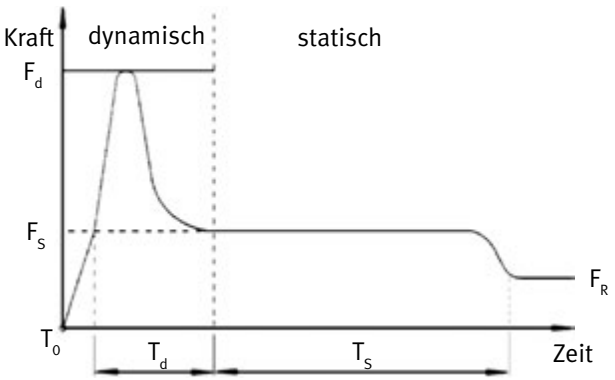


Abbildung 1:
Prinzipdarstellung der Schließkraft in Abhängigkeit von der Zeit

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

Tabelle 2:
Zulässige Schließkräfte

Türtyp	Zulässige Spitzenkräfte in N			
	Spalt zwischen Schließkanten und Gegenschließkanten[1]			zwischen ebenen Flächen[2]
	< 200 mm	300 mm	≥ 500 mm	Abstand ≥ 500 mm
Schiebetür	400	700	1 400	—
Drehflügeltür, 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 m² oder der Länge einer Kante von > 0,05 m besitzen.
Anmerkung: Die oben angegebenen Werte sind Maximalwerte, die innerhalb einer Zeit von maximal 0,75 s (T_d < 0,75 s) zulässig sind. Die Kraftwerte geben nach Mewes/Mauser (2003) [4] ein Energieniveau wieder, welches maximal 2 J als Obergrenze zulässt.

9.2.3 Literatur

[1] DIN EN 12453: Tore – Nutzungssicherheit kraftbetätigter Tore – Anforderungen und Prüfverfahren (11/2017). Beuth, Berlin 2017

[2] DIN EN 16005: Kraftbetätigte Türen – Nutzungssicherheit – Anforderungen und Prüfverfahren (01/2013). Beuth, Berlin 2013

[3] DIN EN 81-20: Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen - Aufzüge für den Personen- und Gütertransport – Teil 20: Personen- und Lastenaufzüge (06/2020). Beuth, Berlin 2020

[4] Mewes, D.; Mauser, F.: Safeguarding Crushing Points by Limitation of Forces, International Journal of Occupational Safety an Ergonomics (JOSE) 2003, Vol. 2, 177-191

9.3 Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration

Derzeit in Überarbeitung, daher alle Angaben vorläufig zur Orientierung.

9.3.1 Einführung und Erläuterungen

Bei der Zusammenarbeit von Menschen und kollaborierenden Robotern, ist nach DIN EN ISO 10218 – Teil 2 [1] im Absicherungsmodus „Kraft- und Leistungsbegrenzung (PFL)“ ein direkter Kontakt zwischen Mensch und Maschine möglich. Als zulässiges maximales Belastungsniveau dient die Schmerzeintrittsschwelle des Menschen, so können Verletzungen weitestgehend vermieden werden. An 29 Körperstellen (Abbildung 1 und Tabelle 1) sind in Probandenstudien, mit Personen im erwerbsfähigen Alter, empirische Untersuchungen durchgeführt worden [2-8]. Als Grenzwert fungiert das 75. Perzentil der Schmerzeintrittsschwelle. Gefahren entstehen, besonders wenn das kontaktierte Körperteil räumlich beschränkt ist, also in Wirkrichtung der Kontaktkraft durch ein Hindernis blockiert wird und nicht ausweichen kann [7].

Dabei ist ein erster Aspekt die Klassifizierung der Oberflächenform der Kontaktfläche [9]:

- Flächiger Kontakt, auch als stumpfer Kontakt bezeichnet: Die Kraft wird dabei gleichmäßig auf die Kontaktfläche verteilt.
- Kantiger Kontakt, auch als halbscharfer Kontakt bezeichnet: Innerhalb der Kontaktfläche kann es zu einer lokalen Spannungsüberhöhung kommen.

Die Grenzwerte setzten sich daher aus einer maximalen Kraft (F) und einem maximal zulässigen Spitzendruck (P) zusammen.

Ein generelles Verbot gilt für spitze, scharfe und schneidende Konturen, da ihre Oberflächenform, die den Menschen berührt, bereits bei geringen Kräften die Oberhaut durchdringen kann.

Einen zweiten Aspekt neben der Kontur der Kontaktfläche stellt die Klassifizierung nach der Art der zeitlichen Belastung dar:

- Dynamischer Stoß: Eine sich, in einem kurzen Zeitabschnitt, aufgrund von wirkenden Kräften, stark ändernde Belastung, die in den ersten Zehntelsekunden eines Kontaktes zwischen Mensch und Maschine auftritt.
- Quasi-statisch: Zeitlich nicht oder sich nur langsam ändernder Zustand, der auftritt, wenn ein anhaltender geklemmter Zustand verbleibt.

Neben der klemmenden Gefährdung, kann es auch zu einem Anstoßen von Körperteilen im freien Raum kommen, bei dem das kontaktierte Körperteil in Wirkrichtung der Kontaktkraft ausweichen kann. Dieses meist als transienter oder freier Stoß bezeichnete Ereignis, wird, um schwere Verletzungen zu verhindern, durch einen Sicherheitsfakor (S_{lim}) limitiert. Der Faktor berücksichtigt auch Trägheitseigenschaften und Bewegungsverhalten der betreffenden Körperbereiche. Bei einer vorhersehbaren Fehlanwendung muss immer davon ausgegangen werden, dass es zu einem fixierten dynamischen Stoß (crushing) kommen kann. Dieser Fall muss in der Risikobeurteilung berücksichtigt werden.

Abbildung 1:
Lokalisation der 29 untersuchten Körperstellen

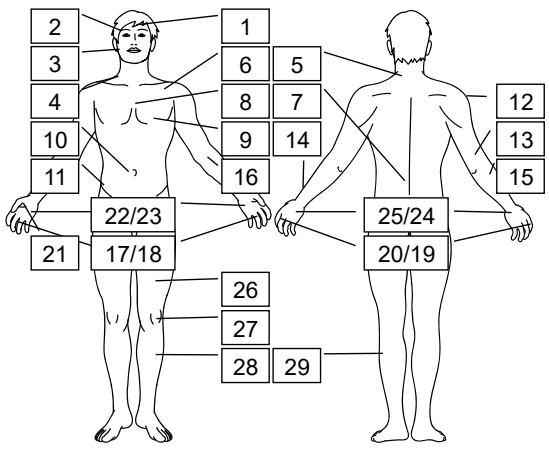


Tabelle 1:
Aufteilung der 29 Körperstellen in Körperregionen und -bereiche

Nr.	Spezifische Lokalisation	Körperregion	Körperbereich
1	Stirnmitte	Schädel/Stirn	Kopf und Nacken
2	Schläfe		
3	Kaumuskel	Gesicht	
4	Halsmuskel	Hals (Seiten/Nacken)	
5	7. Halswirbel		
6	Schultergelenk	Rücken/Schulter	Rumpf
7	5. Lendenwirbel		
8	Brustbein	Brust	
9	Brustmuskel		
10	Bauchmuskel	Bauch	
11	Beckenknochen	Becken	
12	Deltamuskel	Oberarm/Ellenbogen	Obere Extremitäten
13	Oberarmknochen		
14	Speichenknochen	Unterarm/Handgelenk	
15	Unterarmmuskel		
16	Armnerv	Oberarm/Ellenbogen	
17	Zeigefingerbeere d	Hand/Finger	Hand & Finger
18	Zeigefingerbeere nd		
19	Zeigefingerendgelenk d		
20	Zeigefingerendgelenk nd		
21	Daumenballen		
22	Handinnenfläche d		
23	Handinnenfläche nd		
24	Handrücken d		
25	Handrücken nd		
26	Oberschenkelmuskel	Oberschenkel/Knie	Untere Extremitäten
27	Kniescheibe		
28	Schienbeinkante	Unterschenkel	
29	Wadenmuskel		

d = dominante Körperseite, nd = nicht dominante Körperseite

9.3.2.1 Beurteilungsmaßstäbe

Eine Liste vorläufiger Grenzwerte findet sich in der DIN ISO/TS 15066 „Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter“ [10] unter Anhang A.3.2 Biomechanische Grenzwerte. Aufgrund neuer Forschungsergebnisse können die vorläufigen Grenzwerte ergänzt werden. Die Forschungsergebnisse sind als Orientierungswerte im folgenden Abschnitt angegeben (Hinweis: Abschnitte A.3.4 und A.3.5 der Norm sind teilweise fehlerhaft, daher wird deren Anwendung nicht empfohlen.).

9.3.2.2 Orientierungswerte

Die teilweise aus Literaturstudien stammenden vorläufigen Grenzwerte (ISO/TS 15066) können mit weiteren empirisch ermittelten Daten erweitert werden. Tabelle 2 gibt zur Orientierung Ergebnisse aktueller Studien wieder.

Tabelle 2:
75. Perzentil der Kraft-Schmerzeintrittsschwellen an den 29 Körperstellen (vgl. Abbildung 1) für Personen im erwerbsfähigen Alter (vgl. [4])

Orientierungswerte		Geklemmt [1,2]			
		Statisch		Dynamisch	
Nr.	Körperstelle	Kantig [N]**	Stumpf [N]	Kantig [N]**	Stumpf [N]
1	Stirnmitte	70	100	80	130
2	Schläfe	40	70	50	80
3	Kaumuskel	30	50	40	70
4	Halsmuskel	40	60	50*	80*
5	7. Halswirbel	40	50	60	80
6	Schultergelenk	50	70	70	110
7	5. Lendenwirbel	50	100	160	200
8	Brustbein	70	90	70	110
9	Brustmuskel	50	60	60	120
10	Bauchmuskel	30	60	50	80
11	Beckenknochen	80	100	150	150
12	Deltamuskel	60	100	90	130
13	Oberarmknochen	50	70	110	160
14	Speichenknochen	70	110	120	190
15	Unterarmmuskel	60	100	120	170
16	Armnerv	60	90	90	150
17	Zeigefingerbeere d	90	170	240	~~450~~
18	Zeigefingerbeere nd	70	160	220	~~410~~
19	Zeigefingerendgelenk d	60	160	170	~~450~~
20	Zeigefingerendgelenk nd	60	170	170	~~400~~
21	Daumenballen	70	130	160	260
22	Handinnenfläche d	70	190	240	480
23	Handinnenfläche nd	70	160	210	360
24	Handrücken d	60	150	140	320
25	Handrücken nd	60	140	110	250
26	Oberschenkelmuskel	80	160	150	220
27	Kniescheibe	110	170	170	310
28	Schienbeinkante	70	150	160	270
29	Wadenmuskel	80	150	170	280

*Abschätzung, **Angaben hier in Newton, d = dominate Körperseite, nd = nicht dominate Körperseite, (gerundet auf 10N)
[1] Flächige feste formangepasste Gegenlagerung mittels Vakuumkissen
[2] Der Ausschluss von Flexionsfrakturen, beispielsweise im Bereich der Finger, ist nicht zulässig.
Kantig: Kontaktkörper FQ10 (14 x 14 mm mit 2 mm Radius, Aluminium)
Stumpf: Kontaktkörper FZ30 (Zylinderstirnfläche mit 30 mm Durchmesser aus deformierbarem Schaumstoff)
Alle Angaben gelten nicht für spitze oder scharfe Gegenstände und nicht an Scherstellen.

Abbildung 2 zeigt für den in den Studien verwendeten kantigen Kontaktkörper (FQ10), wie sich Kraft und Druck an den verschiedenen Körperstellen verhalten. Das Quadrat gibt das 75. Perzentil für Kraft und Druck bei dynamischer Belastung an und ist entsprechend der Körperstelle nummeriert. An Körperstellen (1, 5, 11, 19, 20, 24, 25, 27, 28) mit einer dünnen Hautschicht über einer festen Struktur kommt es zu deutlichen Spannungsspitzen, während die übrigen Körperstellen (2, 3, 6-10, 12-18, 21-23, 26, 29) mit höherem Weichgewebeanteil die Kraft über eine größere Fläche verteilen. Die einzelnen Messpunkte sind grau hinterlegt. Ein Spitzendruck kann hier in grober Näherung abgeschätzt werden, wenn für den kantigen Kontaktkörper eine Fläche von ca. 0,85 cm² verwendet wird (gestrichelte Linie).

Für den kantigen Kontakt kann eine Flächenpressung berechnet werden, indem eine Fläche von ca. 1,25 cm² zugrunde gelegt wird. Dies entspricht der max. effektiv wirkenden Fläche des in den Studien verwendeten Kontaktkörpers (untere gepunktete Linie).

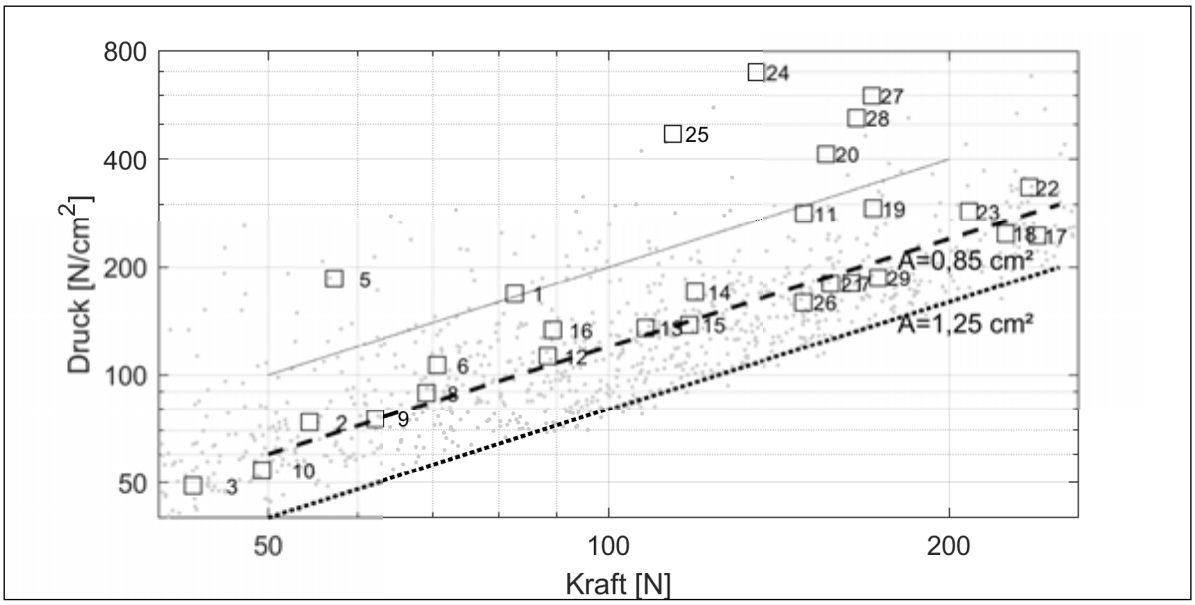


Abbildung 2:
Gemessener Druck über aufgebrachter Kraft bei kantigem dynamischem Kontakt

9.3.3 Messverfahren

Zu den dynamischen Grenzwerten sind Biomechanische Korridore ermittelt worden [11] aus denen Steifigkeiten (Kraft-Deformations-Verhalten) der verschiedenen Körperstellen abgeleitet werden. Diese sind notwendig, um eine messtechnische Überprüfung mit einem biofidelen Kraft-Druck-Messgerät durchzuführen [12]. Hierzu wurden die verschiedenen Körperstellen in 5 Cluster aufgeteilt, die in Tabelle 3 wiedergeben werden. Das biomechanische Verhalten des Menschen muss besonders bei geregelten Systemen, wie einem kollaborierenden Roboter, für eine korrekte Bewertung berücksichtigt werden. Die Messgeräte bestehen aus einer eingebauten Feder mit einer Steifigkeit (CC2) und einer Auflage (CC1), die durch eine Shore Härte A (SH A) und die Aufbauhöhe charakterisiert werden. Eine detaillierte Beschreibung des Messgeräteaufbaus ist mit der ISO/PAS 5672 [13] international genormt. Unterstützt wird die Anwendung durch nationale Informationsschriften und Arbeitshilfen der Berufsgenossenschaften [14, 15, 16].

9.3.4 Umrechnungshilfe / vereinfachte Empfehlung

Das IFA hat zur einfachen Beurteilung eine energiebasierte Umrechnungstabelle erstellt, mit der eine Optimierung der Grenzwerte auf die exakte Messgeräte Steifigkeit erreicht wird. Diese erleichtert die Anwendung in der betrieblichen Praxis (vgl. IFA-Praxishilfe für die Risikobeurteilung bei Arbeitsplätzen mit Cobots [16]). Die kritischen Prüfpunkte für die Hand- und Armregion sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 3:
5 Cluster und die zugehörigen Messgerätekonfigurationen inkl. Zuweisung der Körperstellen bei stumpfer dynamischer Belastung [11]

Cluster	Messgerät: CC2-Steifigkeit + Auflage-CC1	Körperstellen: dynamisch + stumpf
I	150 N/mm + 7 mm SH70A	1, 11, 17, 18, 19, 20, 27, 28
II	75 N/mm + 7 mm SH70A	22, 23, 24, 25
III	40 N/mm + 7 mm SH70A	2, 7, 8, 14, 21
IV	25 N/mm + 7 mm SH70A	3, 5, 6, 13, 15, 26, 29
V	10 N/mm + 7 mm SH70A	9, 10, 12

Tabelle 4:
Aus der Umrechnungstabelle abgeleitet empfohlene Prüfpunkte für die Regionen „Hand & Finger“ und „Obere Extremitäten“

Körperregion		(dynamisch + stumpf)	(dynamisch + kantig)	
	Messgerät	Maximalkraft	Spitzendruck (bezogen auf eine Auflösung von 1mm²)	Flächenpressung
Hand & Finger	75 N/mm + 7 mm SH70A	250 N	205 N/cm²	145 N/cm²
Obere Extremitäten	25 N/mm + 7 mm SH70A	150 N	145 N/cm²	105 N/cm²

Bei einer Detektionsschwelle des Roboters von 50 N. Werte sind auf 5 N bzw. 5 N/cm² gerundet

9.3.5 Ergänzende Hinweise

Zur Vermeidung von Verletzungen sollte zusätzlich Folgendes beachtet werden:

- Alle Messungen haben gegen ein fest fixiertes Messgerät zu erfolgen. Für den transienten bzw. freien Stoß beschreibt die ISO/PAS 5672 [13] ein entsprechendes Umrechnungsverfahren. Ergänzend zu Abschnitt 6.3 der ISO/PAS 5672 sollte ein

  $$S_{lim} \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.7$$

  nicht unterschritten werden. So wird im Falle eines „crushings“ nur maximal die doppelte Energie auf das Körperteil aufgebracht als beim Schmerzeintritt, was nachweislich bereits zu Hautverletzungen führen kann [17, 18]. Zur Vermeidung von Frakturen im Bereich der Finger ist die Anwendung dort auf $S_{lim} = 1$ limitiert.

- Beim transienten oder freien Stoß ist analog zur Norm DIN EN 16005 [19] für kraftbetätigte Türen (siehe Abschnitt 4.6.4.1 und Anhang F.2) zu empfehlen, bei Abständen über 500 mm und stumpfer Kontaktgeometrie die maximale kinetische Energie auf 1,69 J (z. B. 300 N mit 25 N/mm Messgerät) bzw. 2 J (entspricht 1400 N mit 500 N/mm Messgerät) zu begrenzen. Bei einer Messung mit 25 N/mm Messgerät + 7mm SH70A Auflage sollten daher 300 N unterschritten werden.

  Bei kantigem Kontakt und weniger als 500 mm Abstand sollten 0,5 J (entspricht 700 N mit 500 N/mm Messgerät) nicht überschritten werden. Bei einer Messung mit 25 N/mm Messgerät + 7mm SH70A Auflage sollten entsprechend 150 N nicht überschritten werden.

  Statisch sind jeweils 150 N einzuhalten. Alle Messungen sind gegen ein fest fixiertes Messgerät auszuführen. Damit wird das Risiko einer Verletzung im Falle eines „crushings“ gemindert. (vgl. [20, 21]).

- Besondere Gefahrenstellen, wie Scherstellen oder spitze Gegenstände können Anpassungen der reduzierten Geschwindigkeit (z. B. wenn der Abstand zwischen Roboterwerkzeug und Hindernis kleiner als 200 mm ist) erfordern, welche die kinetische Energie auf 0,08 J (DIN EN 71-1 [22]) bis max. 0,16 J (analog DIN 16005 [19], 400 N bei 500 N/mm Messgerät) sowie eine statische Kraft von 50 N (ISO 10218-2 [1]) bzw. 67 N (DIN EN 16005) reduziert. Bei einer Messung mit 25 N/mm Messgerät + 7mm SH70A Auflage sollten

entsprechend ca. 50 N bis max. 85 N eingehalten werden.

Zudem können sich weitere organisatorische oder persönliche Maßnahmen (z. B. Handschuhe) ergeben oder konstruktive Anpassungen erforderlich sein, insbesondere bei scharfen, schneidenden Konturen.

9.3.6 Literatur

[1] DIN EN ISO 10218-2: Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration (Entwurf 03/2021). Beuth, Berlin 2021

[2] Kollaborierende Roboter – Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Projekt FP 0317). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin https://www.dguv.de/ifa/forschung/projektverzeichnis/ff-fp0317.jsp

[3] Anschlussuntersuchungen zur BGHM-Studie „Kollaborierende Roboter: Ermittlung von Schmerzeintrittsschwellen an der Mensch-Maschine-Schnittstelle“ (Projekt FP 0411). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin https://www.dguv.de/ifa/forschung/projektverzeichnis/ff-fp0411.jsp

[4] Mensch-Roboter-Kollaboration – Partielle Ergänzungsuntersuchungen zur Eignung für Übernahme in das DGUV-Schriftenwerk sowie Normung (Projekt FP 0430). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin https://www.dguv.de/ifa/forschung/projektverzeichnis/ff-fp0430.jsp

[5] *Melia, M.; Schmidt, M.; Geissler, B.; König, J.; Krahn, U.; Ottersbach, H.-J.; Letzel, S.; Muttray, A.*: Measuring mechanical pain: The refinement and standardization of pressure pain threshold measurements Behav Res 47 (2015), S. 216–227 DOI 10.3758/s13428-014-0453-3

[6] *Melia, M.; Geissler, B.; König, J.; Ottersbach, H.J.; Umbreit, M.; Letzel, S.; Muttray, A.*: Pressure pain thresholds: Subject factors and the meaning of peak pressures. European Journal of Pain 23 (2019) Nr. 1, S. 167-182 doi: 10.1002/ejp.1298

[7] *Behrens, R.*: Biomechanische Grenzwerte für die sichere Mensch-Roboter-Kollaboration. Springer, 2019 doi: 10.1007/978-3-658-26996-8

[8] *Behrens, R.* et al: A Statistical Model to Determine Biomechanical Limits for Physically Safe Interactions With Collaborative Robots, Front. Robot. AI, 03.02.2022

[9] *Elkmann N., Behrens R., Hägele M., Schneider U., Oberer-Treitz S.*: Biologisierte Robotik und Biomechatronik. In: Neugebauer R. (eds) Biologische Transformation. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2019 https://doi.org/10.1007/978-3-662-58243-5_11

[10] DIN ISO/TS 15066: Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter (04/2017). Beuth, Berlin 2017

[11] *Behrens, R., Zimmermann, J.*: Bestimmung biomechanischer Korridore zur Bewertung von mechanischen Gefährdungen und Ableitung von Steifigkeitsparametern für zukünftige Messmittel. IFA Report 02/2022. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2022

[12] *Huelke, M.; Ottersbach, H.-J.*: How to approve Collaborating Robots – The IFA force pressure measurement system. 7. International Conference on Safety of Industrial Automated Systems – SIAS 2012, 11.-12. Oktober 2012, Montreal/Kanada – Vortrag. Hrsg.: IRSST - Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montreal/Kanada 2012

[13] ISO/PAS 5672: Robotics — Collaborative applications — Test methods for measuring forces and pressures in human-robot contacts (11/2023). Beuth, Berlin, 2023

[14] DGUV-Information: Kollaborierende Robotersysteme – Planung von Anlagen mit der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung“ (FB HM-080). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Mainz 2017

[15] Arbeitshilfen BG-ETEM Berufsgenossenschaft ETEM (Hg.) (2018): Messspezifikation für Kraft- und Druckmessungen an Applikationen von kollaborierenden Robotersystemen

[16] Praxishilfe für die Risikobeurteilung bei Arbeitsplätzen mit Cobots: Umrechnung biomechanischer Grenzwerte, Version 0.4.beta 11_11_2022: https://dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-maschinenschutz/risikobeurteilung-von-cobots-arbeitsplaetzen-umrechnungshilfe/index.jsp (abgerufen am 12.12.2022)

[17] *Behrens, R.* et al: A statistical model to predict the occurrence of blunt impact injuries on the human hand-arm system in Journal of Biomechanics 151 (2023) 111517

[18] *Lanzl, F.; Peldschus, S.; Zimmermann, J.*: Vorstudie zur Entstehung von Weichgewebeverletzungen in Fallturmversuchen. IFA Report 04/2023. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2023

[19] DIN EN 16005 Kraftbetätigte Türen – Nutzungssicherheit – Anforderungen und Prüfverfahren (01/2013). Beuth, Berlin 2013

[20] *Mewes D., Mauser F.*: Safeguarding Crushing Pionts by Limitation of Forces, International Journal of Occupational Safety and ergonomics (JOSE), 9 (2003) Nr. 2, S. 177-191
DOI: 10.1080/10803548.2003.11076562

[21] KAN-Studie 4: Quetschstellen – Arbeitsgrundlagen für die Normung 06/1996

[22] DIN EN 71-1: Sicherheit von Spielzeug – Teil 1: Mechanische und physikalische Eigenschaften (12-2018). Beuth, Berlin 2018

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e. V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: +49 30 130010
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de