



## Handbuch Gefährdungsbeurteilung - Teil 2 6 Gefährdungen durch physikalische Einwirkungen

# Inhaltsverzeichnis

6 Gefährdungen durch physikalische Einwirkungen	3
6.1 Lärm	6
6.2 Ganzkörper-Vibrationen	26
6.3 Hand-Arm-Vibrationen	37
6.4 Optische Strahlung	48
6.5 Elektromagnetische Felder	66
6.6 Ionisierende Strahlung und Strahlenschutz	86
6.7 Unter- oder Überdruck	110

## **Autoren**

### **Lärm**

- Dr.-Ing. G. Brockt
- Dr.-Ing. P. Kurtz

### **Ganzkörper-Vibrationen**

- Dipl.-Ing. Christof Barth

### **Hand-Arm-Vibration**

- Dipl.-Ing. Christof Barth

### **Optische Strahlung**

- Dr. rer. nat. Stefan Bauer
- Dipl.-Ing. (FH) Günter Ott
- Dr. rer. nat. Ljiljana Udovicic

### **Elektromagnetische Felder**

- Dr.-Ing. Peter Jeschke
- Dr. rer. nat. H. Neuschulz
- Dr.-Ing Erik Romanus

### **Ionisierende Strahlung und Strahlenschutz**

- Dr. rer. nat. Hauke Brüggemeyer

### **Unter- oder Überdruck**

- Dipl.-Ing. Christof Barth

## 6 Gefährdungen durch physikalische Einwirkungen



Gefährdungen durch physikalische Einwirkungen sind nach wie vor von zentraler Bedeutung im betrieblichen Arbeitsschutz, da sie an zahlreichen Arbeitsplätzen auftreten und/oder teilweise enormes Gefährdungspotenzial besitzen. Die Gestaltung physikalischer Einwirkungen in Arbeitsumgebungen zielt primär auf Sicherheitsaspekte wie z. B. den Schutz vor gefährlicher Laser- oder auch ionisierender Strahlung. Innerhalb sich wandelnder Arbeitswelten muss sie aber auch steigenden kognitiven Anforderungen an Beschäftigte durch eine Belastungsminimierung, wie beispielsweise im Hinblick auf extraaurale Lärmwirkungen bzw. eine Belastungsoptimierung wie etwa bezüglich der Wirkungen von Licht an Arbeitsplätzen, gerecht werden. Im Kontext der Arbeit können physikalische Einwirkungen für die jeweilige Tätigkeit technologisch notwendig sein, wie Röntgenstrahlung oder elektromagnetische Felder für bildgebende Verfahren in der Medizin, oder sie können als Begleiterscheinung bei der Arbeit auftreten, wie z. B. Maschinenlärm.

Im Sinne dieses Handbuchs umfasst das Kapitel der physikalischen Einwirkungen die Faktoren

- Lärm,
- Vibrationen,
- optische Strahlung,
- elektromagnetische Felder,
- ionisierende Strahlung sowie
- Unter- oder Überdruck

Dabei bezeichnet **Lärm** hörbaren Schall, der gesundheitsschädigend, belastend oder störend wirken und zu Gehörschäden sowie zu extraauralen Gefährdungen wie beispielsweise durch Überhören von Warnsignalen, Befindlichkeits- und Kommunikationsstörungen, einem erhöhten Risiko für das Herz-Kreislauf-System oder einer verminderten Arbeitsleistung der Beschäftigten führen kann.

Vibrationen, also mechanische Schwingungen, die bei der Arbeit auf den menschlichen Körper übertragen werden, umfassen **Ganzkörpervibrationen**, die insbesondere Rückenschmerzen und Schädigungen der Wirbelsäule verursachen, und **Hand-Arm-Vibrationen**, die zu Knochen- oder Gelenkschäden, Durchblutungsstörungen oder neurologischen Erkrankungen führen können.

Strahlung beschreibt die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und Teilchen im Raum. In Abhängigkeit ihres Potenzials, Ionisationsvorgänge an Atomen und Molekülen in Materie hervorzurufen, wird im elektromagnetischen Spektrum ionisierende von nicht-ionisierender Strahlung (optische Strahlung und elektromagnetische Felder) unterschieden. Strahlung kann sowohl mit technologischen Verfahren erzeugt werden, z. B. Röntgen- oder Laserstrahlung, als auch auf natürliche Weise vorhanden sein, z. B. ionisierende Strahlung durch Radionuklide in der Umwelt oder die Sonnenstrahlung. Die Abbildung 6.1 gibt einen Überblick über das elektromagnetische Spektrum und zeigt exemplarisch technische Anwendungen.

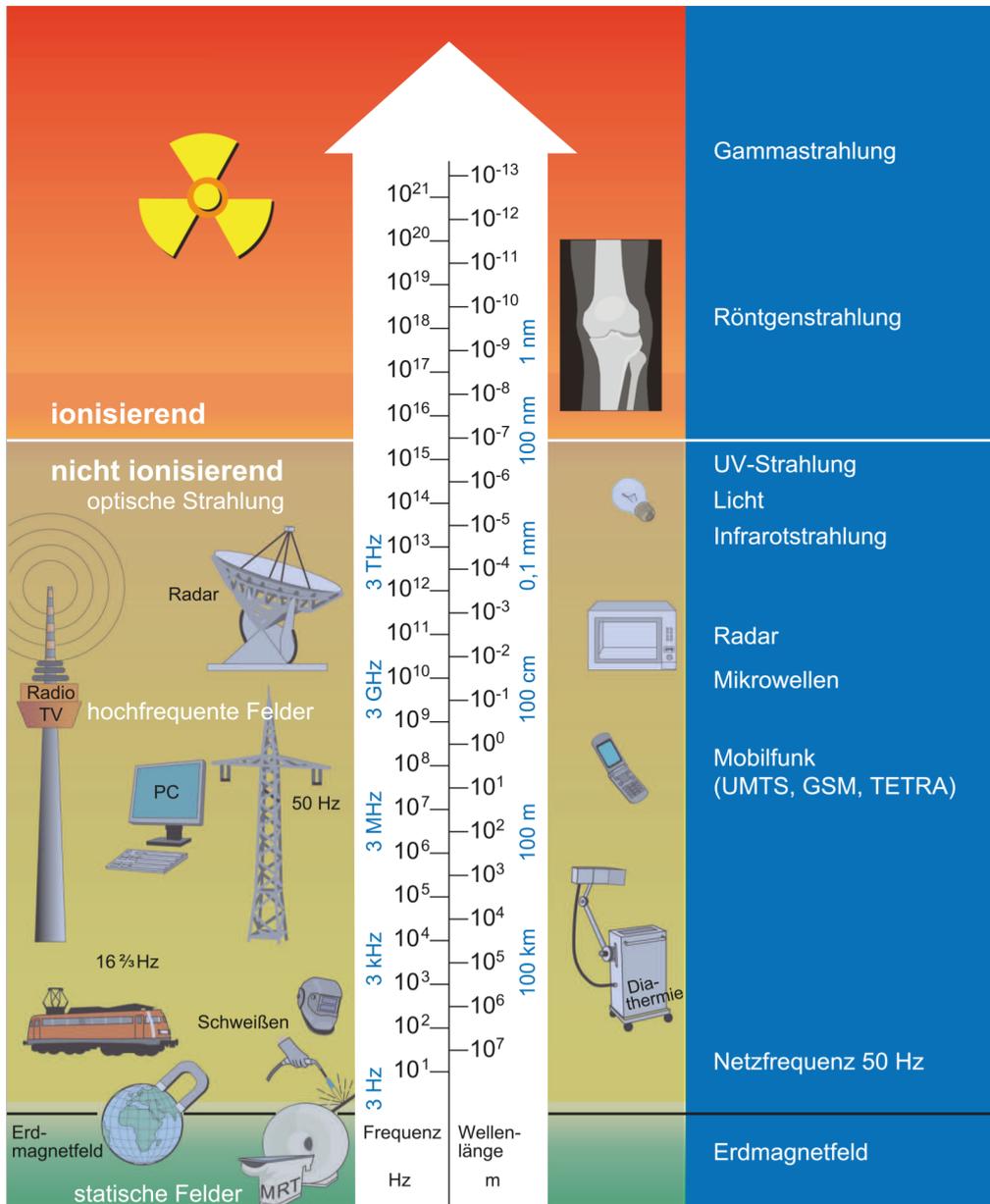


Abb. 6.1 Überblick über das elektromagnetische Spektrum und exemplarische technische Anwendungen

**Optische Strahlung** bei der Arbeit kann von künstlichen oder natürlichen Quellen ausgehen. Entsprechend ihrer Wellenlänge wird optische Strahlung in ultraviolette (UV), sichtbare und infrarote (IR) Strahlung eingeteilt. Der für Menschen sichtbare Teil des Spektrums wird als Licht bezeichnet. Gefährdungen durch optische Strahlung bestehen vor allem in Schädigungen der Augen und der Haut. In den letzten Jahren sind Gefährdungen durch solare UV-Strahlung für Beschäftigte im Freien verstärkt in den Blickpunkt gerückt.

**Elektromagnetische Felder** werden anhand ihrer Frequenz in hochfrequente, niederfrequente und statische Felder unterschieden. Die Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Beschäftigte werden durch thermische Effekte bestimmt. Bei statischen und niederfrequenten Feldern treten vor allem Reizwirkungen auf Sinnes-, Nerven- und Muskelzellen auf. Neben den direkten Wirkungen sind die indirekten Wirkungen, wie z. B. Projektionwirkung und Kontaktströme sowie mögliche Einflüsse auf aktive und passive Körperhilfsmittel, wie Herzschrittmacher, zu beachten.

Zur **ionisierenden Strahlung** zählen Alpha-, Beta und Gammastrahlung, Neutronenstrahlung und Röntgenstrahlung. Die mit der Strahlung transportierte Energie wird in der Zelle absorbiert, Moleküle können ionisiert, Molekülbindungen aufgebrochen werden. Gefährdungen oder gesundheitliche Schäden infolge von Strahlungsexposition hängen vom Ausmaß der Absorption der jeweiligen Strahlung und von der Art des betroffenen Gewebes im Körper ab. Strahlenschutzmaßnahmen zielen immer darauf ab, deterministische Strahlenschäden zu vermeiden und ein

stochastisches Risiko zu reduzieren. Beschäftigte, die bei ihrer Tätigkeit gegenüber ionisierender Strahlung aus künstlichen oder natürlichen Quellen exponiert werden, unterliegen in Deutschland der Strahlenschutzüberwachung.

**Unter- oder Überdruck** beeinflussen die Aufnahme bzw. Abgabe von Atemgasen. Unterdruck in Höhenlagen, Flugzeugen oder Unterdruckkammern schränkt die Sauerstoffversorgung ein und kann insbesondere bei gleichzeitiger körperlicher Beanspruchung zu physiologischen Störungen bis zu schwerer Höhenkrankheit und tödlichen Lungen- und Hirnödemen führen. Bei Überdruck beim Tauchen und im Spezialtiefbau unter Wasser reichern sich Atemgase im Körper an, die bei zu schneller Druckabnahme lebensgefährliche physiologische Störungen und Schädigung von Knochen- und Muskelgewebe, der Kreislauffunktionen, des Zentralnervensystems und der Atemorgane hervorrufen können.

**Autor**

– Dr.-Ing Erik Romanus

## 6.1 Lärm

Lärm ist hörbarer Schall (z. B. Maschinengeräusch, Ton, Knall, störender Sprachschall), der die Gesundheit schädigen sowie das körperliche und/oder seelische Wohlbefinden des Menschen beeinträchtigen kann.

Die Einwirkung von Lärm führt zu Belästigungen, Beeinträchtigungen oder Schädigungen. Dies können insbesondere Gehörschäden oder auch nicht gehörschädigende Wirkungen und Gefährdungen wie beispielsweise das Überhören von Warnsignalen, Befindlichkeits- und Kommunikationsstörungen, ein erhöhtes Risiko für das Herz-Kreislauf-System sowie eine verminderte Arbeitsleistung der Beschäftigten sein.

Lärm gehört zu den häufigsten Gefährdungen am Arbeitsplatz. In Deutschland sind vier bis fünf Millionen Arbeitnehmer gehörfährdendem Lärm ausgesetzt. Dementsprechend ist die Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit (BK-Nr. 2301) mit fast 7 000 Fällen (Stand 2021) die am häufigsten von der DGUV anerkannte Berufskrankheit.

Damit ist Lärm einer der wesentlichen Belastungsfaktoren am Arbeitsplatz.

## 6.1.1 Art der Gefährdungen und ihre Wirkungen

### Lärmschwerhörigkeit und akuter Gehörschaden

Die auffälligsten Lärmwirkungen sind (VDI 2058 Blatt 2)

- die allmählich eintretende Lärmschwerhörigkeit durch langjährige Lärmexposition als chronische, irreparable Schädigung, die als Berufskrankheit Nummer 2301 anerkannt werden kann. Die Entwicklung bleibender Hörminderungen als Vorstufe der chronischen Schädigung ist bei langjähriger Exposition mit A-Schalldruckpegeln ab etwa 80 dB möglich.
- der akute Gehörschaden durch Einwirkung sehr hoher Schallimpulse, der meist als Unfallfolge gewertet wird. Ein Schadenseintritt ist bereits möglich bei einmaliger, kurzer Geräuscheinwirkung mit einem C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel ab etwa 135 dB.

Lärm verursacht aber nicht nur Gehörschäden, sondern gefährdet generell die Gesundheit und erschwert die Arbeit in Betrieb und Büro (VDI 2058 Blatt 3).

### Unfallrisiko

Es besteht ein erhöhtes Unfallrisiko infolge des Überhörens von Signalen und Warnrufen oder infolge von Fehlverhalten als Schreckreaktion auf unerwartete Geräuscheinwirkung.

### Beeinträchtigung von Gesundheit und Arbeitsleistung

Die Arbeitsleistung wird reduziert und die Gesundheit kann beeinträchtigt werden (VDI 2058 Blatt 3)

- durch Erhöhung der Beanspruchung des Organismus, insbesondere bei Tätigkeiten mit hohen geistigen Anforderungen z. B. gekennzeichnet durch hohe Konzentration, Aufmerksamkeit und Gedächtnisleistung,
- durch Störung der sprachlichen Kommunikation, z. B. bei Besprechungen am Arbeitsplatz, im Betrieb oder bei Lehrtätigkeiten,
- bei kombinierter Belastung, z. B. auf mobilen Maschinen zusammen mit Ganzkörperschwingungen, Hitze, Kälte, Zugluft u. a.,
- durch negative Beeinflussung physiologischer und psychischer Regulationsmechanismen, die zu erhöhtem Stress-Hormonspiegel, Verengung der peripheren Blutgefäße bzw. zu Verärgerung, Nervosität und Ähnlichem führt und die auf Dauer das Risiko für Erkrankungen z. B. des Herz-Kreislauf-Systems erhöhen kann.

### 6.1.2 Ermittlung und Beurteilung

Das Ausmaß der genannten Gesundheitsbeeinträchtigungen wird hauptsächlich durch die Parameter Schalldruckpegel, Frequenzcharakteristik (z. B. hervortretender Ton), zeitliche Struktur (z. B. Impulshaltigkeit) sowie durch die Schalleinwirkdauer bestimmt und hängt auch von der physischen und psychischen Konstitution der betroffenen Personen ab.

Zur sachgerechten Planung von Lärminderungsmaßnahmen ist es zweckmäßig, den Lärm in die Bereiche Emission, Immission und Exposition aufzuteilen. So beschreibt

- die Emission die Schallerzeugung und -abstrahlung,
- die Immission die Schalleinwirkung auf einen Ort im Raum und
- die Exposition die Schalleinwirkung auf den Menschen.

#### Geräuschemission

Als Geräuschemission wird die Luftschallabstrahlung einer Maschine oder anderer Geräuschquellen bezeichnet. Die Kenngrößen der Geräuschemission werden unter genormten Aufstell- und Betriebsbedingungen ohne Schalleinflüsse von anderen Quellen und ohne Reflexionsschall von Wänden und anderen Oberflächen in der Umgebung (siehe Abb. 6.1-1) ermittelt. Die Geräuschemission ist damit unabhängig von der Umgebung und daher ein quellenneigenes Merkmal. Ihre Kenngrößen sind

- der Schalleistungspegel  $L_{WA}$  und
- der Emissionsschalldruckpegel  $L_{pA}$ .

#### Geräuschimmission

Die Geräuschimmission ist die Summe aller Schalleinwirkungen am betrachteten Raumpunkt, z. B. an einem Arbeitsplatz in einer Werkhalle.

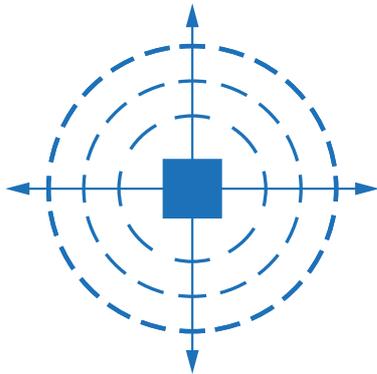
Die Intensität der Geräuschimmission hängt ab

- von der Höhe der Geräuschabstrahlung (Geräuschemission) der eingesetzten Arbeitsmittel (z. B. Maschinen), Arbeitsverfahren, Zusatzausrüstungen, wie Absauganlagen u. ä. Schallquellen,
- von den akustischen Eigenschaften des Raumes, z. B. beschrieben durch die Schallpegelabnahme mit der Entfernung von der Schallquelle (siehe Abschnitt Arbeitsschutzmaßnahmen Schalltechnische Gestaltung von Arbeitsräumen),
- vom Abstand der Quelle(n) zum betrachteten Raumpunkt (Arbeitsplatz),
- von der Anzahl der wirksamen Quellen.

Die Höhe der Geräuschimmission wird im Allgemeinen durch den energieäquivalenten Schalldruckpegel  $L_{pAeq}$  beschrieben. Der  $L_{pAeq}$  ist der zeitliche Mittelwert des Schalldrucks über einen definierten Zeitraum.

#### Geräuschexposition

Die Geräuschexposition beschreibt die Schallbelastung von Arbeitnehmern. Sie ist abhängig von der Intensität der Geräuschimmission und der Einwirkdauer und damit eine personenbezogene Größe. Die Geräuschexposition wird üblicherweise als energieäquivalenter Schalldruckpegel  $L_{pAeq}$  normiert auf eine achtstündige Arbeitsschicht, ermittelt und als Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h}$  (ISO 1999, DIN EN ISO 9612) gekennzeichnet. Der Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h}$  ist die wichtigste Kenngröße der EG-Richtlinie 2003/10/EG zur Vermeidung von Gefährdungen durch Lärm am Arbeitsplatz und ihrer nationalen Umsetzung, der [Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung \(LärmVibrationsArbSchV\)](#).

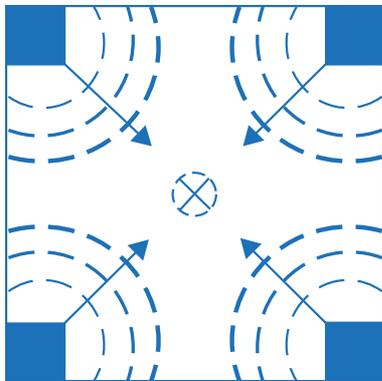


### Emission

- maschinenbezogen
- Betrieb nach Norm
- ohne Reflexionsschall
- ohne Fremdgeräusch

#### Kerngrößen:

- Schallpegel  $L_{WA}$
- Emissionschalldruckpegel  $L_{pA}$
- „Emissions“-Spitzenschalldruck  $L_{pC, peak}$

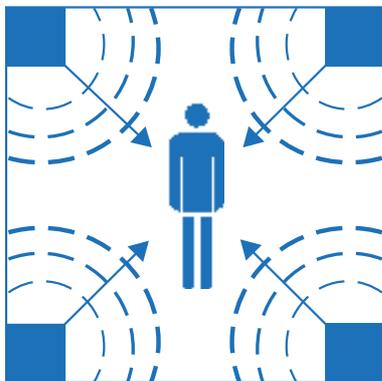


### Immission

- messpunkt-/arbeitsplatzbezogen
- berücksichtigt alle Schalleinwirkungen einschließlich Reflexionsschall
- abhängig vom realen Betrieb der Geräuschquellen

#### Kerngrößen:

- äquivalenter Dauerschalldruckpegel  $L_{pApeq}$
- ortsbezogener Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX, 8h}$
- Spitzenschalldruckpegel  $L_{pC, peak}$



### Exposition

- personenbezogen
- berücksichtigt alle Schalleinwirkungen einschließlich Reflexionsschall auf Arbeitnehmer
- abhängig vom realen Betrieb der Geräuschquellen
- ist abhängig von der Einwirkzeit

#### Kerngrößen:

- Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX, 8h}$
- Spitzenschalldruckpegel  $L_{pC, peak}$

Abb. 6.1-1 Veranschaulichung von Geräuschemission, -immission und -exposition

Die Richtlinie 86/188/EWG von 1986 über den „Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz“, im nationalen Recht umgesetzt durch die BGV B3 „Lärm“, wurde im Jahr 2003 ersetzt durch die Richtlinie 2003/10/EG über „Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm)“. Diese neue Richtlinie zum Lärmschutz am Arbeitsplatz wurde zusammen mit einer entsprechenden europäischen Richtlinie zum Gefährdungsfaktor Vibrationen (2002/44/EG) im März 2007 durch die [Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung \(LärmVibrationsArbSchV\)](#) in nationales Recht umgesetzt, womit gleichzeitig die bisher geltende BGV B3 „Lärm“ ihre Gültigkeit verlor.

### Auslösewerte

Die Verordnung enthält zwei Auslösewerte für den Tages-Lärmexpositionspegel (80 und 85 dB(A)) und zur besonderen Berücksichtigung impulsförmiger Schalleignisse noch Auslösewerte von 135 und 137 dB für den C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel. Darüber hinaus führt die [LärmVibrationsArbSchV](#) noch maximal zulässige Expositionswerte ein, die unter Einbezug der Wirkung von Gehörschutz nicht überschritten werden dürfen.

### Kenngrößen

Hauptkenngröße für die Lärmbelastung am Arbeitsplatz ist der Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h}$  (ISO 1999, DIN EN ISO 9612). Der Tages-Lärmexpositionspegel am Arbeitsplatz  $L_{EX,8h}$  wird gebildet aus dem äquivalenten A-bewerteten Dauerschalldruckpegel für die tatsächliche Dauer der Arbeitsschicht  $L_{Aeq,T}$  und der Umrechnung der tatsächlichen Arbeitsschichtdauer  $T$  auf die Referenzbeurteilungszeit (nominale Acht-Stunden-Arbeitsschicht)  $Tr = 8$  h:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T} + 10 \lg (T/Tr) \text{ dB(A)}$$

$L_{Aeq,T}$  ist der zeitliche Mittelwert des A-bewerteten Schalldruckpegels über die Zeit  $T$ , gemessen mit der Zeitbewertung  $S$  (= Slow) oder  $F$  (= Fast).

Für frequenz- und zeitbewertete Schallpegel sind im Schrifttum etwas differierende Schreibweisen anzutreffen. Manchmal werden die Bewertungskennbuchstaben nur im Formelzeichen genannt, z. B.  $L_{pAeq} \leq 85$  dB, manchmal zusätzlich oder allein in Klammern hinter dem Maß, z. B.  $L_{pAeq} \leq 85$  dB(A). Inhaltlich sind die Angaben gleichwertig. Auch der Tages-Lärmexpositionspegel, bei dem im Formelzeichen die Frequenzbewertung A entsprechend ISO 1999 nicht angegeben wird, ist A-bewertet.

### Messverfahren

Der Tages-Lärmexpositionspegel ist eine personenbezogene Kenngröße. Er wird in der Praxis am Arbeitsplatz bzw. Maschinenbedienerplatz durch ortsfeste Messungen in Ohrnähe des Arbeitnehmers bestimmt.

Bei Arbeitsaufgaben mit unregelmäßigem Aufenthalt an mehreren Arbeitsorten, z. B. bei Instandhaltungspersonal, kann der Tages-Lärmexpositionspegel aus der energetischen Summe der Lärmexpositionspegel, die an den einzelnen Arbeitsorten gemessen wurden, ermittelt werden.

Außerdem besteht die Möglichkeit, den Tages-Lärmexpositionspegel mithilfe von Lärmdosimetern, die möglichst ohrnah am Körper getragen werden, zu bestimmen (DIN EN ISO 9612).

### Immissionsprognose

Im Planungsstadium (Errichtung oder wesentliche Änderung von Arbeitsstätten) kann die Geräuschemission, gekennzeichnet durch  $L_{pAeq}$ , mithilfe der Geräuschemissionswerte der vorgesehenen Arbeitsmittel und -verfahren und der Merkmale des Arbeitsraumes, wie Geometrie und Absorptionsvermögen, abgeschätzt werden (VDI 3760, DIN EN ISO 11690-1). Für eine vereinfachte Immissionsprognose stellt die BAuA das Schallprognose-Tool [SPA](#) zur freien Verfügung.

### Wochen-Lärmexpositionspegel

Nach § 15 (2) [LärmVibrationsArbSchV](#) kann in besonderen Fällen, z. B. wenn die Lärmexposition von einem Arbeitstag zum anderen erheblich schwankt, auf Antrag nach Genehmigung durch die zuständige Behörde an Stelle des Tages-Lärmexpositionspegels auch der Wochen-Lärmexpositionspegel verwendet werden, sofern der Wochen-Lärmexpositionspegel den Expositionswert  $L_{EX,40h} = 85$  dB nicht überschreitet, dies durch eine geeignete Messung nachgewiesen wird und geeignete Maßnahmen getroffen werden, um die mit diesen Tätigkeiten verbundenen Gefährdungen auf ein Minimum zu verringern.

Der Wochen-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,40h}$  ergibt sich aus

$$L_{EX,40h} = L_{Aeq,T} + 10 \lg (T/40 \text{ h}) \text{ dB(A)}$$

und ist damit auf eine nominale 40-stündige Arbeitswoche bezogen.

### Tages-Lärmexpositionspegel

Bis 2007 wurde der Beurteilungspegel als Kenngröße für die Belastung von Arbeitnehmern durch Lärm über eine achtstündige Arbeitsschicht verwendet. Nach Inkrafttreten der [LärmVibrationsArbSchV](#) wird als Leitgröße für die Lärmbelastung nun der Tages-Lärmexpositionspegel verwendet. Die Definition des Beurteilungspegels wurde in der DIN 45645-2 zur Berücksichtigung extraauraler Lärmwirkungen bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereichs der Gehörgefährdung überarbeitet und wird seit 2018 auch in der ASR A3.7 verwendet.

### Spitzenschalldruckpegel

Die Ermittlung des Spitzenschalldruckpegels im Bereich der Emission erfolgt auf Basis der Normenreihe DIN EN ISO 11200. Bestimmt wird der C-bewertete Spitzenschalldruckpegel  $L_{pCpeak}$  als Kenngröße zur Bewertung der Gefährdung durch impulsförmigen Schall. Er kann auf der Emissionsseite die Eigenschaft einer Maschine beschreiben, Schallimpulse zu erzeugen. Im Bereich der Immission kann er aber auch einen Arbeitsplatz, Raumbereich oder Raumpunkt hinsichtlich der dort auftretenden Schallimpulse kennzeichnen oder bei Betrachtung der Exposition eines Arbeitnehmers die einwirkenden Schallimpulse beschreiben.

### Auslösewerte

Die [LärmVibrationsArbSchV](#) legt untere und obere Auslösewerte fest, bei deren Erreichen oder Überschreiten bestimmte Maßnahmen zu treffen sind. Die unteren Auslösewerte liegen bei

- einem Tages-Lärmexpositionspegel von  $L_{EX,8h} = 80$  dB(A) und
- einen Spitzenschalldruckpegel von  $L_{pCpeak} = 135$  dB.

Die oberen Auslösewerte betragen  $L_{EX,8h} = 85$  dB(A) und  $L_{pCpeak} = 137$  dB

### Lärmbereiche

Lärmbereiche sind räumlich abzugrenzende und mit dem Schild "Gehörschutz tragen" zu kennzeichnende Bereiche in Arbeitsstätten, in denen Schalldruckpegel auftreten, die mit einem erhöhten Gehörschadens- und Unfallrisiko verbunden sind. Als Lärmbereiche gelten nach § 7 (4) [LärmVibrationsArbSchV](#) Arbeitsbereiche, in denen die oberen Auslösewerte von  $L_{EX,8h} = 85$  dB(A) bzw.  $L_{pCpeak} = 137$  dB erreicht oder überschritten werden. In diesen Bereichen dürfen Beschäftigte nur tätig werden, wenn das Arbeitsverfahren dies erfordert.

Ein Lärmbereich entsteht bereits dann, wenn arbeitsbedingt der Fall  $L_{pCpeak} \geq 137$  dB nur einmal während der Arbeitsschicht eintritt; praktisch kommen so hohe Spitzenwerte jedoch relativ selten vor (z. B. beim Arbeiten mit Bolzensetzgeräten).

### Beurteilungspegel

Der Beurteilungspegel  $L_r$  ist eine Größe zur Kennzeichnung der typischen Schallimmission für eine Tätigkeit, bestimmt aus dem A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{pAeq}$  während der Tätigkeit unter Berücksichtigung von Zuschlägen für die Impulshaltigkeit ( $K_I =$  Impulszuschlag) sowie Ton- und Informationshaltigkeit ( $K_I =$  Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit) (ASR A3.7, DIN 45645-2).

### Arbeitsstättenverordnung – Anhang A3.7 Lärm

Nach Arbeitsstättenverordnung ist in Arbeitsstätten der Schalldruckpegel so niedrig zu halten, wie es nach der Art des Betriebes möglich ist. Der Schalldruckpegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen ist in Abhängigkeit von der Nutzung und den zu verrichtenden Tätigkeiten so weit zu reduzieren, dass keine Beeinträchtigungen der Gesundheit der Beschäftigten entstehen.

Diese Anforderung an die Reduzierung der Schalldruckpegel in Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen in Arbeitsräumen wird durch die Arbeitsstättenregel ASR A3.7 konkretisiert. Gegenstand dieser ASR sind Gefährdungen von Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten durch Lärmeinwirkungen einschließlich extraauraler Wirkungen im Hörschallbereich mit Frequenzen zwischen 16 Hz und 16 kHz ab einem A-bewerteten Dauerschallpegel von 80 dB(A).

Für eine schalltechnische Bewertung werden Tätigkeiten einer Tätigkeitskategorie zugeordnet, die sich nach dem Maß der für die Erfüllung der Arbeitsaufgabe erforderlichen Konzentration oder Sprachverständlichkeit richtet. Bei der Ausübung von Tätigkeiten der Tätigkeitskategorien I oder II (vgl. Tab. 6.1-1) dürfen maximal zulässige Beurteilungspegel nicht überschritten werden.

Für Tätigkeiten, bei denen überwiegend sprachabhängige kognitive Aufgabenstellungen zu lösen sind, sollen Arbeitsplätze ohne Belastung durch Hintergrundsprache zur Verfügung gestellt werden. Das Einspielen von Hintergrundrauschen als Maskierung für die Hintergrundsprache soll vermieden werden.

Hinweise und weitere Beispiele zur Zuordnung von praktisch vorkommenden Tätigkeiten zu den Beurteilungspegeln enthält VDI 2058 Blatt 3.

**Tab. 6.1-1** Tätigkeitskategorien und zugeordnete maximale Beurteilungspegel für Tätigkeiten an Arbeitsplätzen in Arbeitsräumen (ASR A3.7)

Tätigkeitskategorie	Beschreibung	Maximaler Beurteilungspegel $L_r$ in dB(A)
I: andauernd hohe Konzentration oder hohe Sprachverständlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– starke Zuwendung zu einem Arbeitsgegenstand oder -ablauf</li> <li>– exaktes sprachliches Formulieren, Verstehen komplexer Texte</li> <li>– schöpferisches Denken, kreative Entfaltung von Gedankenabläufen</li> <li>– hoher Entscheidungsdruck großer Tragweite ggf. unter Zeitdruck</li> </ul>	55
II: mittlere bzw. nicht andauernde Konzentration oder mittlere Sprachverständlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– üblicherweise Routineanteile</li> <li>– Entscheidungen geringerer Tragweite (i. d. R. ohne Zeitdruck)</li> <li>– für Kommunikationszwecke erforderliche Sprachverständlichkeit</li> </ul>	70
III: geringe Konzentration oder geringe Sprachverständlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– überwiegend vorgegebene Arbeitsabläufe, hohe Routineanteile</li> <li>– geringere Anforderungen an die Sprachverständlichkeit</li> </ul>	- (Minimierungsgebot)

**Anzustrebende Werte**

Meist sind nach dem Stand der Technik und gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen niedrigere Pegelwerte als die genannten maximalen Beurteilungspegel erreichbar. Solche Werte (anzustrebende Werte) sind im Regelwerk (Normen, VDI-Richtlinien und Ähnliches) angegeben; sie sollten nach Möglichkeit noch unterschritten werden. Die nachfolgende Tabelle 6.1-2 enthält für verschiedene Raumarten die empfohlenen Höchstwerte für Hintergrundgeräusche, beschrieben durch den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{pAeq}$  (ASR A3.7, DIN EN ISO 11690-1).

**Tab. 6.1-2** Empfohlene Höchstwerte für Hintergrundgeräusche

Raumart	Empfohlene Höchstwerte für Hintergrundgeräusche $L_{pAeq}$ in dB(A)
Konferenzraum, Klassenraum, Schulungsraum, Gruppenraum, Kindertagesstätte, Hörsaal, Seminarraum	35 <sup>*)</sup>
Zweipersonenbüros	40 <sup>*)</sup>
Großraumbüros	45 <sup>*)</sup>
Industrielle Laboratorien	35 <sup>*)</sup> /52 <sup>**)</sup>
Kontroll-/Steuerräume in der Industrie	35 <sup>*)</sup> /55 <sup>**)</sup>
Industrielle Arbeitsstätten	65 <sup>*)</sup> /70 <sup>**)*)</sup>

<sup>\*)</sup> für maximalen Beurteilungspegel von 55 dB(A) nach Punkt 5.1,

<sup>\*\*)</sup> für maximalen Beurteilungspegel von 70 dB(A) nach Punkt 5.1

<sup>\*\*)\*)</sup> kein Beurteilungspegel

### Sprachliche Kommunikation

Steht als Tätigkeitsanforderung die sprachliche Kommunikation im Vordergrund, können als Beurteilungskriterien die Angaben der Tabelle 6.1-2 mit herangezogen werden (VDI 2058 Blatt 3, VDI 2569, DIN ISO 9921). Die in der Tabelle empfohlenen Werte für  $L_{pAeq}$  sollten nicht überschritten werden. Sie beziehen sich auf die Summe aller störenden Geräusche (z. B. durch Bürogeräte, Raumlüftungsanlage, Sprechen in benachbarten Arbeitsbereichen, Lärm von außen).

**Tab. 6.1-3** Kriterien für die Sprachkommunikation in Betrieb und Büro

Anforderung an die Sprachverständlichkeit	Sprachverständlichkeit	Sprechaufwand	Entfernung der Gesprächspartner in m	empfohlene Werte für $L_{pAeq}$ in dB
hoch <sup>1)</sup>	sehr gut	entspannt bis normal	2 – 4	30 – 40
mittelmäßig <sup>2)</sup>	gut	normal bis angehoben	1 – 2	45 – 55
gering <sup>3)</sup>	befriedigend	angehoben	1 – 2	55 – 65
<sup>1)</sup> Situation: Arbeitsbereich für Gespräche von mehreren Personen (hohe Verantwortung, Fachgespräche, Fremdsprachen) <sup>2)</sup> Situation: Arbeitsbereich für Gespräche von/mit zwei Personen (allgemeine Informationen, arbeitsübliche Gesprächsgegenstände) <sup>3)</sup> Situation: nur für kurze Gespräche geeignet				

Bei größeren Entfernungen der Gesprächspartner als angegeben, wird die aufgeführte Qualität der Sprachkommunikation nicht erreicht, bei geringeren Entfernungen wird sie verbessert.

### Infraschall, Ultraschall

Soweit eine Belastung durch Infraschall (Frequenzbereich ca. 2 Hz bis 20 Hz) oder Ultraschall (Frequenzbereich ca. 20 kHz bis über 200 kHz) vermutet wird, sollten ASR A3.7, VDI 2058 Blatt 2 und VDI 3766 beachtet werden.

### 6.1.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle

#### Rechtliche Grundlagen

Die Arbeitsschutzmaßnahmen beruhen in erster Linie auf dem rechtlich festgeschriebenen Grundsatz für den Lärmschutz an Maschinen (9. ProdSV) sowie bei Arbeitsverfahren und an Arbeitsplätzen (ArbStättV, LärmVibrationsArbSchV), Gefährdungen entsprechend dem Stand der Lärminderungstechnik so weit wie möglich zu verringern (§ 7 (1) der LärmVibrationsArbSchV), auch wenn vorgegebene Emissions- bzw. Immissionsgrenzwerte bereits eingehalten sein sollten.

Nachfolgend sind infrage kommende Maßnahmen bei der Planung von Arbeitsstätten (Errichtung oder wesentliche Änderung) sowie für vorhandene Arbeitsstätten angegeben.

#### Einsatz lärmarmen Arbeitsmittel und Arbeitsverfahren

Nach § 7 (2) Nummer 2 LärmVibrationsArbSchV sind unter Berücksichtigung des Standes der Lärminderungstechnik Arbeitsmittel so auszuwählen, dass sie möglichst wenig Lärm erzeugen. Dabei sind z. B. die von Maschinenherstellern entsprechend der Anforderungen in der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und "Outdoor"-Richtlinie 2000/14/EG anzugebenden Geräuschemissionswerte zu verwenden (§ 3 (2) Nummer 1h LärmVibrationsArbSchV). So sollten die zur Auswahl stehenden Arbeitsmittel (Maschinen) möglichst niedrige Werte des Emissions-Schalldruckpegels  $L_{pA}$  und des Schalleistungspegels  $L_{WA}$  aufweisen. Zwecks Auswahl geräuscharmer Arbeitsmittel sollten bei der Angebotseinholung möglichst umfassende Angaben zur Geräuschemission (siehe Geräuschdatenblatt) angefordert werden.

Die Hersteller von Maschinen und anderen geräuschabstrahlenden Arbeitsmitteln sind zu bestimmten Angaben über die Geräuschemission (siehe Anlage Geräuschdatenblatt) verpflichtet (2006/42/EG oder als nationale Umsetzung die 9. ProdSV).

Sobald Angaben zur Geräuschemission vorliegen, kann die Arbeitsmittelauswahl vorgenommen werden durch Vergleich

- der Geräuschemissionswerte der Fabrikate des Marktangebotes untereinander,
- der Emissionswerte mit Anhaltswerten, die ggf. in der zutreffenden Maschinensicherheitsnorm (C-Norm) enthalten sind,
- der Emissionswerte mit Emissionsgrenzwerten z. B. für einige im Freien zu betreibende Maschinen wie Baumaschinen (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung - 32. BImSchV).

Die LärmVibrationsArbSchV fordert in § 7 (2) 1, Arbeitsverfahren entsprechend dem Stand der Lärminderungstechnik zu gestalten oder auszuwählen und anzuwenden. Lärmarme Arbeitsverfahren sind u. a. in technischen Regeln (z. B. DIN EN ISO 11690-2, VDI 3759), in der BAuA-Schriftenreihe Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse und in BG-Veröffentlichungen Lärmschutz-Arbeitsblätter IFA-LSA beschrieben. IFA-LSA 01-305 enthält u. a. Lärminderungshinweise zu folgenden Vorgängen:

- Drehen, Sägen, Fräsen, Bohren,
- Schleifen, Polieren, Räumen,
- Falzen, Bördeln, Eintreiben, Hämmern, Richten, Positionieren, Ankönnen,
- Schrauben, Nieten,
- Reinigen, Entgraten.

#### Schalltechnische Gestaltung von Arbeitsräumen

Arbeitsräume sind gemäß § 7 (2) 3 LärmVibrationsArbSchV so zu gestalten, dass sie dem Stand der Technik entsprechen.

#### Schallausbreitungsminderung

Die Schallausbreitungsminderung in Arbeitsräumen wird vorzugsweise gekennzeichnet (VDI 3760, DIN EN ISO 11690-1) durch

- die mittlere Schalldruckpegelabnahme je Abstandsverdopplung von einer Schallquelle  $D_{Lz}$  (bei ungehinderter Schallausbreitung im Freien beträgt  $D_{Lz} = 6$  dB) und
- die Schalldruckpegelüberhöhung  $D_{Lf}$  gegenüber der Schalldruckpegelabnahme im Freien (die Mittelung bezieht sich nach VDI 3760 vorzugsweise auf Oktavpegel bei bestimmten Oktavmittelfrequenzen).

$D_{Lz}$  und  $D_{Lf}$  werden für bestimmte Entfernungsbereiche von der Quelle ermittelt, in der Regel für den Nah-, Mittel- und Fernbereich.

Schallabsorptionsgrade, Schallausbreitungskurven und damit  $D_{L2}$  und  $D_{Lf}$  können im Planungsstadium von Arbeitsstätten berechnet oder in vorhandenen Arbeitsstätten mittels Messung ermittelt werden.

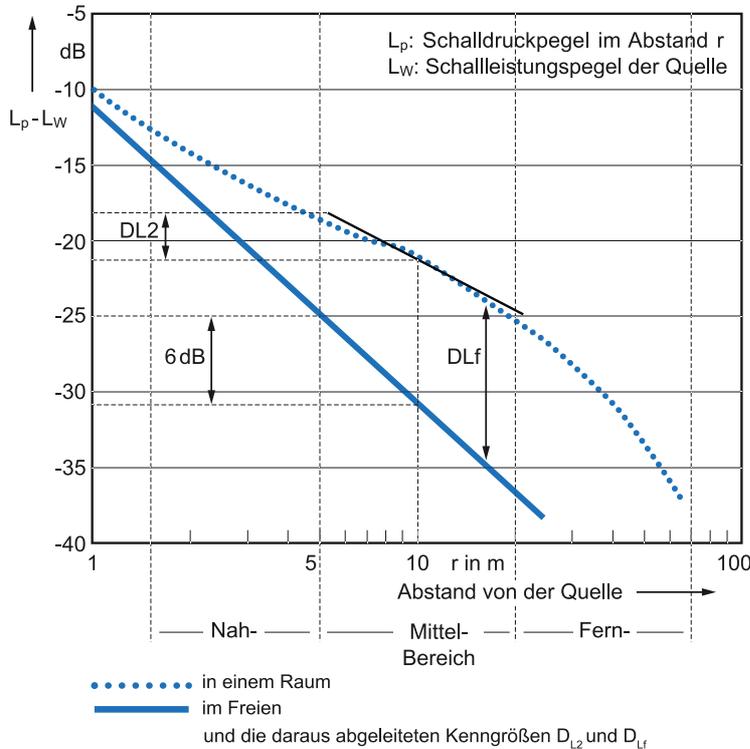


Abb. 6.1-2 Schalldruckpegelabnahme mit der Entfernung von der Schallquelle (Schallausbreitungskurve)

**Räume mit diffusem Schallfeld**

In Räumen mit diffusem Schallfeld kann die Schallausbreitungsminderung auch mithilfe

- des mittleren Schallabsorptionsgrades  $\alpha$ ,
- der Raumbegrenzungsflächen oder
- der Nachhallzeit T

beschrieben werden. Ein Diffusschallfeld kann z. B. angenommen werden, wenn der Raum annähernd würfelförmig und für jede der sechs Begrenzungsflächen  $\alpha \leq 0,3$  ist. Viele Werkhallen und Großraumbüros sind jedoch aus akustischer Sicht sog. Flachräume (Raumlänge oder/und -breite  $\geq 3$ -mal Raumhöhe), bei denen die Beschreibung mittels der Nachhallzeit T oder nur durch den Schallabsorptionsgrad  $\alpha$  der Begrenzungsflächen ungeeignet ist.

**Nachweis der Schallausbreitungsminderung**

Der Stand der Technik bezüglich der Schallausbreitungsminderung in Arbeitsräumen kann als eingehalten gewertet werden, wenn die Kriterien gemäß Tabelle 6.1-4 für fertig eingerichtete Räume (mit Maschinen, Regalen, Paletten, Rohrleitungen usw., wie geplant oder wie vorhanden) erfüllt sind.

**Tab. 6.1-4** Kriterien für Arbeitsräume bezüglich der Schallausbreitungsminderung

Fundstelle des Kriteriums	$\alpha$	$D_{L2}$ in dB	$D_{Lf}$ in dB
VDI 3760:1996		$\geq 4$ (5 – 16 m) <sup>1)</sup>	$\geq 8$ (5 – 16 m) <sup>1)</sup>
TRLV Lärm – Teil 3	$\geq 0,3$ (0,5 – 4 kHz) <sup>2)</sup>	$\geq 4$ (0,5 – 4 kHz) <sup>2)</sup>	

1) Abstandsbereich von der Schallquelle  
2) Bereich der Oktavmittelfrequenzen

### Raumakustische Anforderungen an Büroräume

In Büroräumen sollen in Abhängigkeit der Nutzungsart im unbesetzten Raum folgende Nachhallzeiten  $T$  in den Oktavbändern von 250 Hz bis 2 000 Hz nicht überschritten werden (ASR A3.7). Diese Anforderungen an die Nachhallzeit sind in jedem Oktavband separat zu erfüllen:

- Callcenter (Büro für kommunikationsbasierte Dienstleistungen):  $T = 0,5$  s,
- Mehrpersonen- und Großraumbüro:  $T = 0,6$  s,
- Ein- und Zweipersonenbüro:  $T = 0,8$  s.

In der Regel besteht in Büroräumen der Bedarf einer guten Sprachverständlichkeit über geringe Entfernungen, bei der andere, nicht beteiligte Personen nicht gestört werden.

### Akustische Anforderungen an Räume in Bildungsstätten

In Bildungsstätten, z. B. Kindertageseinrichtungen, Schulen, Hochschulen, darf in besetztem Zustand des Raumes für die Anforderung "Unterricht mit Personen ohne Bedürfnis nach erhöhter Sprachverständlichkeit" die Nachhallzeit  $T_{\text{soll}}$  die mit nachfolgender Formel errechneten Werte in den Oktavbändern von 250 Hz bis 2 000 Hz nicht überschreiten. Dabei ist in den Oktavbändern von 250 Hz bis 2 000 Hz jeweils eine Toleranz von +/-20 % zulässig (ASR A3.7).

$$T_{\text{soll}} = (0,32 \lg V / m^3 - 0,17) \text{ s mit } V : \text{Raumvolumen in } m^3$$

### Akustische Anforderungen an sonstige Räume mit Sprachkommunikation

Alle sonstigen Arbeitsräume, in denen Sprachkommunikation erforderlich ist, sollen durch raumakustische Maßnahmen so gestaltet werden, dass ein mittlerer Schallabsorptionsgrad von mindestens  $\alpha = 0,3$  beim eingerichteten Raum erreicht wird. Als anzusetzender Schallabsorptionsgrad  $\alpha$  des jeweiligen Oberflächenmaterials ist der arithmetische Mittelwert der Absorptionsgrade in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen von 250 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz und 2 000 Hz zu nehmen (ASR A3.7).

Alternativ ist in größeren Räumen (>1 000 m<sup>3</sup>) im Abstandsbereich von 0,75 m bis 6 m eine mittlere Schalldruckpegelabnahme in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen von 500 Hz bis 4 000 Hz je Abstandsverdopplung von mindestens 4 dB ausreichend.

### Schallausbreitungsminderung bei Sprachkommunikation

In Arbeitsräumen, in denen eine ungestörte Sprachkommunikation besonders wichtig ist, sind die Anforderungen der DIN 18041 zu berücksichtigen.

Ergeben sich bei der Überprüfung der Räume mittels Rechnung oder Messung ungenügende Werte, sollte die Schallabsorption erhöht werden, z. B. durch Absorber-Deckensysteme, durch Wandverkleidungen und in Büros auch durch textile Fußbodenbeläge.

Um die empfohlenen Werte zu erreichen, sollten bei den jeweils maßgebenden Geräuscheinflüssen entsprechende technische Maßnahmen vorgenommen werden, z. B. Schalldämpfer für Lüftungskanäle, Erhöhung der Fenster-schalldämmung gegen Außenlärm.

### Weitere technische Schallschutzmaßnahmen

Ergibt sich aus der Lärmbeurteilung (siehe "Grenzwerte, Beurteilungskriterien"), dass trotz der Einhaltung des Standes der Lärminderungstechnik bei neu angeschafften Arbeitsmitteln oder bei Arbeitsverfahren und Arbeitsräumen (TRLV Lärm: Teil 3 Lärmschutzmaßnahmen, Abschnitte 4.1 bis 4.3) anzustrebende, empfohlene Werte oder Auslösewerte überschritten werden, sollten weitere technische Maßnahmen

- an den Hauptlärmquellen (akustische Voll- oder Teilkapseln (DIN EN ISO 15667), Schalldämpfer (DIN EN ISO 14163) und Ähnliches),
- auf dem Schallübertragungsweg zu den Arbeitsplätzen (akustisch wirksame, mindestens 1,80 m hohe Abschirmwände, z. B. um einen Richtarbeitsplatz oder um einen Kommunikationsbereich (Besprechungsecke) im Mehrpersonenbüro),
- an den Arbeitsplätzen (Schallschutzkabinen, z. B. um Messwarten in Kraftwerkshallen)

vorgesehen werden.

Tabelle 6.1-5 zeigt Anhaltswerte für die Wirkung solcher Maßnahmen.

**Tab. 6.1-5** Anhaltswerte über die erreichbare Lärminderung durch Kapseln, Abschirmwände und Kabinen

Schallschutzmaßnahme	Schalldruckpegelminderung in dB
<b>Kapsel</b>	
einschalig, ohne absorbierende Auskleidung	5 – 10
einschalig, mit absorbierender Auskleidung	10 – 25
doppelschalig, mit absorbierender Auskleidung und Körperschallisolierung	20 – 40
<b>Schallabschirmung</b>	
ohne absorbierenden Deckenbereich darüber	bis ca. 5
mit absorbierendem Deckenbereich darüber	bis ca. 10
Schallschutzkabine	15 – 30

### Lärminderungsprogramm

Werden bei der Lärmbeurteilung in vorhandenen Arbeitsstätten kennzeichnungspflichtige Lärmbereiche festgestellt (siehe "Grenzwerte, Beurteilungskriterien") bzw. wird einer der oberen Auslösewerte überschritten, so ist für diese Bereiche ein Lärminderungsprogramm (§ 7 (5) LärmVibrationsArbSchV) mit technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen zu erstellen, schriftlich zu fixieren und durchzuführen (DIN EN ISO 11690-1).

Ein Lärminderungsprogramm sollte folgende Aufgaben und Arbeitsschritte enthalten:

- Ermittlung der Lärmimmission an den Arbeitsplätzen durch Ermittlung des Tages-Lärmexpositionspegels  $L_{EX,8h}$ , wobei angenommen wird, dass sich dort Arbeitnehmer über eine nominale achtstündige Arbeitsschicht aufhalten
- Ermittlung der Lärmschwerpunkte, d. h. feststellen,
  - an welchen Immissionsorten die höchsten Pegel vorliegen (z. B. anhand einer Schallpegeltopografie),
  - wie viele Beschäftigte dort exponiert sind (Arbeitsplatzkataster),
  - welche Schallquellen am jeweils betrachteten Ort für die Lärmbelastung ausschlaggebend sind (Hauptlärmquellen)
- Beschaffung (Herstellerangaben, Messung u. a.) der Emissionswerte der Hauptlärmquellen (Arbeitsmittel, Arbeitsverfahren) und Prüfung in Bezug auf den Stand der Technik oder die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten (siehe "Einsatz lärmarmen Arbeitsmittel und Arbeitsverfahren"; DIN EN ISO 11690-2)
- Analyse der Geräuschursachen bei den Hauptlärmquellen, die nicht dem Stand der Technik entsprechen (vorrangig zu behandelnde Hauptlärmquellen)
- Prüfung der Schallausbreitungsbedingungen im Arbeitsraum in Bezug auf den Stand der Technik (siehe Schalltechnische Gestaltung von Arbeitsräumen)
- Festlegung von technischen und verfahrenstechnischen Maßnahmen für die vorrangig zu behandelnden Hauptlärmquellen anhand technischer Regeln und Ähnliches (DIN EN ISO 11690-2, VDI-Richtlinien, Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse der BAuA, Lärmschutz-Arbeitsblätter IFA-LS der DGUV) und der Fachliteratur sowie von technischen Maßnahmen auf dem Schallausbreitungsweg
- Durchführung einer Immissionsprognose zur Einschätzung der Wirkung der vor-gesehenen Maßnahmen, ggf. Variation der Maßnahmen
- Aufstellung eines Zeitplans mit Prioritätenstufung zur Durchführung und Realisierung der Maßnahmen
- Festlegung zur zeitlich begrenzten Anwendung von Gehörschutz
- Nachprüfung des Erfolges des realisierten Lärminderungsprogramms (vorzugsweise durch Messungen)
- Aktualisierung des Lärminderungsprogramms bei Weiterentwicklung des Standes der Technik oder bei wesentlicher Änderung der zugrunde liegenden Lärmsituation

### Gehörschutz und arbeitsmedizinische Gehörvorsorge

### Anwendungskriterien

Überschreitet der Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h} = 80$  dB(A), sind den Beschäftigten geeignete persönliche Gehörschutzmittel (DGUV Regel 112-194, DGUV Information 212-673, DGUV Information 250-418, DIN EN 458) zur Verfügung zu stellen. Dabei muss sichergestellt werden, dass die maximal zulässigen Expositionswerte  $L_{EX,8h} = 85$  dB(A) bzw.  $L_{pCpeak} = 137$  dB unter Einbeziehung der dämmenden Wirkung des Gehörschutzes nicht überschritten werden.

#### **Anwendungskontrolle**

Bei  $L_{EX,8h} \geq 85$  dB(A) hat der Arbeitgeber dafür Sorge zu tragen, dass die Beschäftigten den persönlichen Gehörschutz bestimmungsgemäß verwenden. Zustand und Wirksamkeit des Gehörschutzes sind in regelmäßigen Abständen zu überprüfen.

Bei  $L_{EX,8h} \geq 85$  dB(A) haben die Beschäftigten die bereitgestellten Gehörschutzmittel zu verwenden.

#### **Arbeitsmedizinische Vorsorge**

Bei  $L_{EX,8h} \geq 80$  A) dB ist vom Arbeitgeber arbeitsmedizinische Angebotsvorsorge anzubieten. Bei  $L_{EX,8h} \geq 85$  dB(A) ist der Arbeitgeber verpflichtet, regelmäßige arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge zu veranlassen. Diese Pflichtvorsorge umfasst u. a. eine erste Vorsorge vor Aufnahme einer gefährdenden Tätigkeit sowie Vorsorge in regelmäßigen Abständen (Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)).

Die DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen enthalten Hinweise zu Inhalt der Vorsorge bei Lärmexposition sowie zur arbeitsmedizinischen Beurteilung der erhobenen Befunde. Die Vorsorge schließt audiometrische Tests und die ärztliche Beratung zur Gehörschutzanwendung ein. Beschäftigte sollten die ihnen ausgehändigten Gehörschützer zur Vorsorge mitbringen (DGUV Information 250-418, ZH 1/565.4). Tritt ein Hörverlust plötzlich ein, ist sofortige ärztliche Behandlung angezeigt.

#### **Erkennbarkeit akustischer Warnsignale**

Die ausreichende Erkennung akustischer Signale, von Warnrufen und Gefahr ankündigenden Geräuschen ist durch Lärminderungsmaßnahmen sicherzustellen; ist ausreichende Lärminderung nicht möglich, ist die Signalgebung zu verbessern (DIN EN ISO 7731: siehe hierzu auch Abschnitt Mensch-Maschine/Rechner-Schnittstelle).

## 6.1.4 Vorschriften, Regelwerke, Literatur

### Gesetze, Verordnungen

[www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de); <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

- Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen – Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV)
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)
- 32. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Geräte und Maschinenlärmschutzverordnung (32. BImSchV)
- Gesundheitsschutz-Bergverordnung (GesBergV)
- Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV)
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
- Jugendarbeitsschutzgesetz (JArbSchG)
- Mutterschutzgesetz (MuSchG)

### Technische Regelwerke zu den Arbeitsschutzverordnungen

[www.baua.de](http://www.baua.de)

- TRLV Lärm: Teil Allgemeines
- TRLV Lärm: Teil 1 Beurteilung der Gefährdung durch Lärm
- TRLV Lärm: Teil 2 Messung von Lärm
- TRLV Lärm: Teil 3 Lärmschutzmaßnahmen
- ASR A3.7: Lärm

### DGUV Vorschriften, Regeln und Informationen

[www.dguv.de/de/praevention/vorschriften\\_regeln](http://www.dguv.de/de/praevention/vorschriften_regeln)

- DGUV Regel 112-194: Einsatz von Gehörschutz
- DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen
- DGUV Information 212-673: Empfehlungen zum Tragen von Gehörschützern bei der Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr
- DGUV Information 212-23: Ärztliche Beratung zum Gehörschutz
- DGUV Information 212-24: Gehörschützer-Informationen

### Weitere Regeln der Technik

[www.beuth.de](http://www.beuth.de)

- DIN EN 458:2016: Gehörschützer Empfehlungen für Auswahl, Einsatz, Pflege und Instandhaltung – Leitfaden
- ISO 1999:2013: Akustik – Bestimmung des lärmbedingten Hörverlusts
- DIN EN ISO 9612:2009: Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren)
- DIN EN ISO 4871: Akustik – Angabe und Nachprüfung von Geräuschemissionswerten von Maschinen und Geräten
- DIN ISO 9921:2004: Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation
- DIN EN ISO 11690-1:1997: Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmer maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 1: Allgemeine Grundlagen
- DIN EN ISO 11690-2:1997: Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmer maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen
- DIN 45645-2:2012: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Teil 2: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereiches der Gehörgefährdung
- DIN ISO 15667:2001: Akustik - Leitfaden für den Schallschutz durch Kapseln und Kabinen
- DIN ISO 14163:1999: Akustik - Leitlinien für den Schallschutz durch Schalldämpfer
- VDI 2058 Blatt 2:2020: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung
- VDI 2058 Blatt 3:2014: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten
- VDI 2569:2019: Schallschutz und akustische Gestaltung in Büros
- VDI 3759:1986: Lärminderung beim Transport von Blechen, Profilen, Hohlkörpern

- VDI 3760:1996: Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen
- VDI 3766:2012-09: Ultraschall - Arbeitsplatz - Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung
- DIN EN ISO 7731:2008: Ergonomie - Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten - Akustische Gefahrensignale
- DIN ISO 18041:2016: Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung

#### Internetangebote / Links

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) - Physikalische Faktoren und Arbeitsumgebung, Lärm
- Arbeitsschutzverwaltung des Landes Brandenburg - Gefährdungsfaktor Lärm
- Berufsgenossenschaft Holz und Metall - Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Fertigungsgestaltung, Akustik, Lärm und Vibrationen
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - Fachinfos Lärm
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berufskrankheitsgeschehen

## 6.1.5 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter

### Prüffragen

- Ist gehörschädigender Lärm unwahrscheinlich? (Anzeichen: Unterhaltung in einem Meter Abstand voneinander mit gehobener Stimme ist befriedigend möglich.)
- Können akustische Signale bei Lärm vollständig gehört werden?
- Können akustische Signale bei Lärm eindeutig erkannt werden?
- Gibt es störende Geräusche, die eine sachgerechte Erledigung der Arbeitsaufgaben (Durchführung, Ergebnisse) beeinflussen?
- Wird den Beschäftigten bei Überschreitung der unteren Auslöseschwelle Gehörschutz zur Verfügung gestellt?
- Sind Lärmbereiche ermittelt worden?
- Sind Lärmbereiche mit  $L_{EX,8h} > 85$  dB(A) bzw.  $L_{pCpeak} > 137$  dB(C) gekennzeichnet?
- Werden geeignete Gehörschutzmittel getragen?
- Werden für die kennzeichnungspflichtigen Lärmbereiche Lärminderungsprogramme umgesetzt?
- Werden vor der Beschaffung neuer Maschinen Geräuschemissionswerte vom Hersteller erfragt?
- Werden bei der Beschaffung lärmarme Maschinen/Geräte ausgewählt?
- Wurden die Beschäftigten über die sachgerechte möglichst lärmarme Verwendung von Arbeitsmitteln informiert?
- Werden lärmarme Arbeitsverfahren angewendet?
- Werden bei gehörschädigendem oder störendem Lärm Maßnahmen zur Lärminderung erarbeitet?
- Entsprechen die akustischen Eigenschaften der Arbeitsräume dem Stand der Technik?
- Werden Beschäftigte bei Erreichen und Überschreiten der unteren Auslösewerte über Gesundheitsgefährdungen und Schutzmaßnahmen informiert?
- Erhalten die Beschäftigten bei Überschreitung der unteren Auslösewerte eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung?
- Werden arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen der Beschäftigten veranlasst, wenn die oberen Auslösewerte erreicht oder überschritten werden?
- Werden die Schallschutzvorrichtungen instand gehalten?

### Festgestellte Gefährdungen/Mängel

- Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h} = 80$  dB(A) bzw.  $L_{pCpeak} = 135$  dB(C)
- Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h} > 80$  dB(A) bzw.  $L_{pCpeak} > 135$  dB(C)
- Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h} = 85$  dB(A) bzw.  $L_{pCpeak} = 137$  dB(C)
- Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h} > 85$  dB(A) bzw.  $L_{pCpeak} > 137$  dB(C)
- Lärm stört Sprachverständigung; störende Geräusche und Töne durch ...
- Lärm durch ... (Maschine, Gerät, Ausblasöffnungen, Verkehr)
- Hintergrundgeräuschpegel im Raum ist zu hoch
- Raum ist zu hallig
- Schallschutzvorrichtungen an Maschinen/Geräten ... sind beschädigt
- Fenster- und Türschalldämmung ist zu gering
- Lärminderungsprogramm fehlt oder ist mangelhaft
- Lärmbereiche sind nicht gekennzeichnet
- Lärmexponierte sind nicht erfasst
- fehlende oder ungeeignete Gehörschutzmittel
- Gehörschutzmittel werden nicht getragen
- keine Gehörsorgeuntersuchung für Lärmexponierte bei Erreichen oder Überschreiten der oberen Auslösewerte

### Maßnahmen

- lärmarme Maschinen/Geräte auswählen
- lärmarmes Arbeitsverfahren auswählen
- Fachleute für Lärmschutz konsultieren
- Lärmmessung veranlassen
- Schallausbreitungsmessung im Raum veranlassen
- Schallschutzvorrichtung an Maschine/Gerät instand setzen oder erneuern
- Lärmbereich kennzeichnen

- Lärmexponierte erfassen
- Unterweisung durchführen über ... (Lärmgefährdung, Tragen von Gehörschutz, lärmarme Verwendung von Arbeitsmitteln)
- geeignete Gehörschutzmittel auswählen und bereitstellen
- Tragen der Gehörschutzmittel veranlassen
- Tragen von Gehörschutz über die gesamte Schicht sicherstellen/kontrollieren ...
- Lärmminderungsprogramm aufstellen für Bereich
- Schallschutzmaßnahme auswählen und realisieren ... (z. B. Kapsel, Abschirmwand, Schalldämpfer, Absorber-Deckenverkleidung)

#### Downloads

- Geräuschdatenblatt für die Beschaffung von Maschinen  
(Geräuschemissionsangaben entsprechend EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG)

## 6.1.6 Autoren, Ansprechpartner und Anlagen

### Autoren

- Dr.-Ing. P. Kurtz
- Dr.-Ing. Georg Brockt
- Dr.-Ing. Fabian Heisterkamp  
Fachgruppe 2.2 "Physikalische Faktoren"

### Ansprechpartner

- Dr.-Ing. Georg Brockt  
Fachgruppe 2.2 "Physikalische Faktoren"

### Kontakt

### Anlagen

- Anlage: Geräuschdatenblatt für die Beschaffung von Maschinen

## Geräuschdatenblatt für die Beschaffung von Maschinen

**Bezeichnung** (Maschine, Anlage, Gerät, Zusatzaggregat, Seriennummer):

---



---



---

### Geräuschemissionsangaben entsprechend EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Kenngrößen	Leerlauf	Last/ Bearbeitung	angewendete Norm
<b>Zweizahl-Angabe nach DIN EN ISO 4871</b>			
<b>Schalleistungspegel</b> $L_{WA}$ (in dB re 1 pW)	_____ dB	_____ dB	_____
Unsicherheit $K_{WA}$	_____ dB	_____ dB	_____
<b>Emissionsschalldruck- pegel</b> am Arbeitsplatz $L_{pA}$ (in dB re 20 $\mu$ Pa) oder an anderen festgelegten Orten	1. _____ dB	1. _____ dB	_____
	2. _____ dB	2. _____ dB	_____
	3. _____ dB	3. _____ dB	_____
Unsicherheit $K_{pA}$	_____ dB	_____ dB	_____
<b>Spitzenschalldruckpegel</b> $L_{pCpeak}$ (in dB re 20 $\mu$ Pa)	_____ dB	_____ dB	_____

### Einzahl-Angabe des garantierten Schalleistungspegels nach DIN EN ISO 4871 für Maschinen die unter die „Outdoor“-Richtlinie 2000/14/EG fallen

<b>Schalleistungspegel</b> $L_{WAd}$ (in dB re 1 pW)	_____ dB	_____ dB	
---	----------	----------	--

**Zusätzliche Angaben:**

<b>1 m – Messflächen- Schalldruckpegel <math>L_{pA,1m}</math></b>  (in dB re 20 $\mu$ Pa)	_____ dB	_____ dB	
---	----------	----------	--

- Lage der/des Messpunkte(s) am Arbeitsplatz:

---



---



---



---

- Betriebsbedingungen während der Geräuschemissionsmessung:

---



---



---



---

nach Norm

Norm: \_\_\_\_\_

oder abweichend

Erläuterungen:

---



---



---

## 6.2 Ganzkörper-Vibrationen

Ganzkörper-Vibrationen sind mechanische Schwingungen, die am Arbeitsplatz über den Sitz oder die Füße auf den Körper einwirken. Sie treten vorwiegend in Fahrzeugen, Flugzeugen, auf Schiffen und mobilen Arbeitsmitteln sowie bei Arbeitsplätzen auf stationären Maschinen auf. [1]

Jährlich werden ca. 200 Berufskrankheiten aufgrund von Ganzkörper-Vibrationen angezeigt; ca. 10 werden als Berufskrankheit anerkannt. [2]

## 6.2.1 Art der Gefährdungen und ihre Wirkungen

### Quellen

Typische Maschinen, von denen Ganzkörper-Vibrationen ausgehen, sind z. B. Bagger, Radlader, Raupen, Grader, Scraper, Aufsitzrasenmäher oder Gabelstapler. Vibrationen zwischen 0,1 und 80 Hz werden sowohl von den Maschinen selbst erzeugt (z. B. von Motoren oder Hydraulik) als auch von Fahrbewegungen auf unebenem Grund.

Beim Betrieb stationärer Maschinen in Gebäuden kann es zu Deckenschwingungen kommen.

### Leitmerkmale für die Einwirkdosis

Die Intensität der Einwirkung hängt insbesondere ab von (vgl. TRLV Vibrationen Teil 1):

- der **physikalischen Belastung**: Einwirkrichtung (hier insbesondere in vertikale Richtung/z-Richtung, vgl. Abbildung 6.2-1; aus [2]), Stärke/Amplitude, Frequenz und Stoßhaltigkeit (Alte, verschlissene oder schlecht gewartete Maschinen weisen meist deutlich stärkere Vibrationen auf als neue, gut gewartete in gutem Zustand.)
- **mitwirkenden Belastungsfaktoren**: Stelle der Krafteinwirkung, Körperhaltung, Abstützung, Temperatur, Heben und Tragen, Freizeitverhalten
- der **Expositionsdauer**: Dauer und Häufigkeit der Einwirkung; Pausen und Unterbrechungen

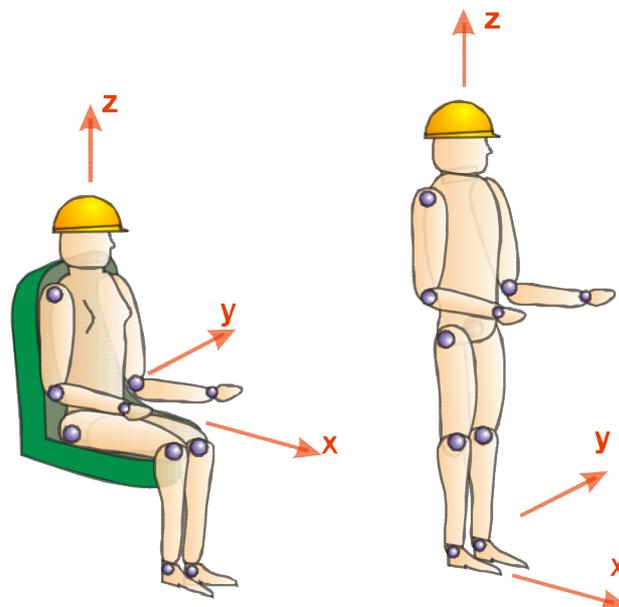


Abb. 6.2-1 Einwirkrichtung der physikalischen Belastung

### Individuelle Leistungsvoraussetzungen

Die Beanspruchung hängt auch ab von den individuellen körperlichen Voraussetzungen der Beschäftigten, insbesondere Geschlecht, Alter, Alter bei Expositionsbeginn, Konstitution, allgemeinem Gesundheitszustand, Zustand der Wirbelsäule sowie Kenntnissen zur Vibrationsbelastung und Fähigkeiten und Fertigkeiten zum vibrationsarmen Umgang mit Vibrationsquellen (z. B. Fahrten auf unebenem Untergrund; Einstellen von Fahrersitzen).

### Wirkungen

Ganzkörper-Vibrationen können Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden beeinträchtigen sowie die Wirbelsäule belasten. Sie können sich auch negativ auf die Verdauungsorgane sowie auf eine bestehende Schwangerschaft auswirken.

Deckenschwingungen durch stationäre Maschinen in Gebäuden können zur Belästigung der Beschäftigten sowie zur Beeinträchtigung von Tätigkeiten führen, die hohe Konzentration und Feinmotorik erfordern.

Niederfrequente Vibrationen mit Frequenzen unter 0,5 Hz können die Funktion des Gleichgewichtsorgans stören und zu Kinetosen (Bewegungskrankheit, Seekrankheit) führen. Weitere akute Wirkungen können schmerzhafte

Muskelverspannungen, Verdauungsstörungen, Störungen der peripheren Durchblutung oder Funktionsstörungen der weiblichen Fortpflanzungsorgane sein. Ausgelöst durch Vibrationen kann es zur Änderung physiologischer/biochemischer Parameter (z. B. der Pulsfrequenz, des Blutdrucks oder der Ausschüttung von Hormonen) kommen, die von den Beschäftigten individuell sehr verschieden als Unbehagen bis hin zu Schmerzen wahrgenommen werden und zur Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit führen können. [4]

Langjährige Einwirkung kann zu Rückenschmerzen, zu einem verstärkten Verschleiß der Wirbelsäule und in deren Folge auch zu neurologischen Ausfällen in den unteren Gliedmaßen (Kauda-Syndrom) führen. Bei langjähriger Vibrationseinleitung über die Füße sind chronische Störungen der Durchblutung der Füße möglich. Die Ausübung der Tätigkeiten kann vorübergehend oder dauerhaft beeinträchtigt bis hin zur Arbeitsunfähigkeit sein. [5]

Schwere Folgen intensiver Ganzkörper-Vibrationen können als Berufskrankheit anerkannt werden (vgl. Berufskrankheiten-Verordnung):

- BK 2110 "Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können"

### Multifaktorielle Wirkungen

Vorschädigung von Organen durch andere Faktoren (z. B. bestehender Wirbelsäulenschaden, Zusatzbelastung von Verdauungsorganen etwa durch Lärm oder Stress, Zeitdruck, Nacht-, Schichtarbeit) können verstärkend wirken.

### Mittelbare Wirkungen

Vibrationen können die Erkennbarkeit von Instrumenten und Warnsignalen beeinträchtigen und die Feinmotorik stören, sodass Maschinen nicht mehr sicher bedient werden können und die Qualität der Arbeit leidet. Die Festigkeit von Strukturen und Verbindungen von Gebäuden, Maschinen oder Anlagen kann beeinträchtigt werden.

## 6.2.2 Ermittlung und Beurteilung

Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen hat der Arbeitgeber zunächst festzustellen, ob Beschäftigte Vibrationen ausgesetzt sind oder sein können. Ist dies der Fall, sind alle von den Vibrationen ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit zu beurteilen. Dazu sind die auftretenden Expositionen am Arbeitsplatz fachkundig zu ermitteln und zu bewerten (vgl. § 3 LärmVibrationsArbSchV).

### Ermittlung

Eine Gefährdung besteht, wenn bei der Arbeit Vibrationen über die Sitz- oder Standfläche einwirken. Das ist insbesondere bei den unter 6.2.1. genannten und ähnlichen Quellen der Fall, wie sie in [TRLV Vibrationen Teil 1](#), Abschnitt 4.1.1 angegeben sind. Diese Quellen sind zunächst zu ermitteln.

### Beurteilungsgrößen

Die Beurteilung erfolgt anhand der **Schwingungsbeschleunigung  $a$  in  $m/s^2$** . Da Vibrationen niedriger Frequenzen für den Menschen belastender sind als solche mit höheren Frequenzen, muss die Vibrationsintensität mithilfe der Frequenzanalyse körpergerecht bewertet werden. Die **frequenzbewertete Schwingungsbeschleunigung** wird mit  $a_w$  bezeichnet.

Vibrationswerte sind nach folgender Hierarchie für die Beurteilung zu verwenden (vgl. [TRLV Vibrationen, Teil 1](#), Abschnitt 4.2):

- Vorrangig sind die Ergebnisse bereits verfügbarer fachkundiger bzw. orientierender Messungen im Betrieb zu verwenden.
- Sind solche Messwerte nicht verfügbar, sind Immissionsmesswerte möglichst für die gleiche Maschine, sonst den gleichen Maschinentyp aus anderen Betrieben, öffentlichen Datenbanken (z. B. [KarLA](#) des Landes Brandenburg) oder Fachpublikationen (z. B. [IFA](#)) mit vergleichbaren Einsatzbedingungen heranzuziehen.
- Sind Immissionsmesswerte nicht verfügbar, sind Vibrationsemissionswerte für den Maschinentyp heranzuziehen (z. B. [KarLA](#) des Landes Brandenburg und weitere [Datenbanken](#)).
- Sind auch solche Emissionswerte nicht verfügbar, ist zu prüfen, ob die branchenbezogenen Gefährdungstabellen bei Vibrationen der BAuA verwendbar sind.
- Lässt sich die Überschreitung der unten angegebenen Auslöse- und Expositionsgrenzwerte nicht sicher ausschließen, sind fachkundige Messungen nach [TRLV Vibrationen Teil 2](#) zu veranlassen. Manche Unfallversicherungsträger unterstützen hierbei ihre Mitgliedsbetriebe, siehe Liste der [Messstellen](#). Die Dokumentation der Messwerte hat der Arbeitgeber mindestens 30 Jahre in einer Form aufzubewahren, die eine spätere Einsichtnahme ermöglicht (§ 4 LärmVibrationsArbSchV).

Da die Empfindlichkeit des Menschen auf vertikale Vibrationen geringer ist als auf horizontale Vibrationen, sind folgende Korrekturfaktoren zu berücksichtigen:

- $k_x = k_y = 1,4$
- $k_z = 1$

Für die Beurteilung ist die auf den Menschen einwirkende Tagesdosis relevant. Daher ist neben der Vibrationsbeschleunigung die **Einwirkungsdauer** einer typischen 8-Stunden-Schicht zu ermitteln (vgl. [TRLV Vibrationen, Teil 1](#), Abschnitt 6).

Mithilfe von Berechnungsformeln nach [TRLV Vibrationen, Teil 1](#), Anlage 2 kann der **Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$**  errechnet werden. Einfacher ist die Verwendung eines [Vibrationsrechners](#) (Excel-Anwendung) durch Eingabe der frequenzbewerteten Schwingungsbeschleunigungen  $a_{w,x,y,z}$  (ohne Korrekturfaktoren!) und der Einwirkungsdauer. Mit dem Vibrationsrechner können auch im Tagesverlauf verwendete unterschiedliche Vibrationsexpositionen kombiniert werden. Alternativ kann die Expositionspunkte-Tabelle aus Anlage 2 der [TRLV Vibrationen Teil 1](#) verwendet werden. [KarLA](#) stellt auch einen einfachen [Online-Erdbaumaschinen-Rechner](#) zur Verfügung.

### Bewertung

Die ermittelten Tages-Vibrationsexpositionswerte  $A(8)_{x,y,z}$  sind zu vergleichen mit

- den **Expositionsgrenzwerten**
  - $A(8) = 1,15 m/s^2$  in (horizontaler) X- und Y-Richtung und
  - $A(8) = 0,80 m/s^2$  in (vertikaler) Z-Richtung und dem

– dem **Auslösewert**  $A(8) = 0,50 \text{ m/s}^2$  (für alle Richtungen)

aus § 9 LärmVibrationsArbSchV. Dabei wendet der Vibrationsrechner das Ampelprinzip an:

- Wird ein Expositionsgrenzwert erreicht, besteht ein hohes Gesundheitsrisiko im roten Gefahrenbereich. Es sind Sofortmaßnahmen zur Unterschreitung der Expositionsgrenzwerte erforderlich.
- Werden die Expositionsgrenzwerte nicht erreicht, aber der Auslösewert überschritten, ist das Gesundheitsrisiko im gelben Besorgnisbereich. Die in der LärmVibrationsArbSchV vorgeschriebenen Maßnahmen sind zu ergreifen.
- Wird der Auslösewert für keine Wirkrichtung überschritten, ist das Gesundheitsrisiko gering (grüner Akzeptanzbereich). Dann reichen Sorgfaltsmaßnahmen aus, die sicherstellen, dass es nicht zum Überschreiten des Auslösewerts kommt. Weitere Verbesserungsmöglichkeiten sind zu prüfen.

Bei der Beurteilung ist die Wirkrichtung des Tages-Vibrationsexpositionswerts mit anzugeben, der den zugehörigen Expositionsgrenzwert relativ am nächsten kommt bzw. ihn am stärksten überschreitet (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 1](#), Anlage 2, Absatz 7). Die Anwendung des Vibrationsrechners gewährleistet dies automatisch.

### Besonders gefährdete Personengruppen

Im Rahmen der Beurteilung der Arbeitsbedingungen sind besonders gefährdete Personengruppen wie Jugendliche, werdende und stillende Mütter, Behinderte oder Beschäftigte mit Vorerkrankungen sowie Neulinge zu berücksichtigen.

Nach dem Jugendarbeitsschutzgesetz dürfen Jugendliche und nach dem Mutterschutzgesetz werdende und stillende Mütter nicht mit Arbeiten beschäftigt werden, bei denen die Sicherheit und die Gesundheit der betroffenen Personen durch Stöße und Vibrationen gefährdet wird.

Nähere Angaben enthält Abschnitt 6,5 der [TRLV Vibrationen Teil 1](#).

### Beurteilung von Gebäude-Vibrationen

Gebäude-Vibrationen bleiben zwar in aller Regel unterhalb des Auslösewerts, können aber die Wahrnehmung und die Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Abschnitt 6.6 der [TRLV Vibrationen Teil 1](#) gibt Orientierungswerte für die Beurteilung.

## 6.2.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirkungskontrolle

### Maßnahmen bei Überschreitung des Auslösewerts

Bei Expositionen oberhalb des Auslösewerts ist der Arbeitgeber nach LärmVibrationsArbSchV verpflichtet, folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- Information der Beschäftigten über die Vibrationsexposition und Unterweisung
- allgemeine arbeitsmedizinische Beratung (vorzugsweise durch den Betriebsarzt)
- Anbieten der arbeitsmedizinischen Vorsorge gemäß ArbMedVV unter Beachtung von [AMR Nr. 5.1](#)
- Ausarbeitung und Durchführung eines Programms mit Maßnahmen zur Beseitigung oder Minimierung der Exposition gegenüber Ganzkörper-Vibrationen (Vibrationsminderungsprogramm)

### Maßnahmen bei Erreichen eines Expositionsgrenzwerts

Wird ein Expositionsgrenzwert (vgl. "Ermittlung und Beurteilung") erreicht, ist der Arbeitgeber nach LärmVibrationsArbSchV verpflichtet, zusätzlich folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- unverzügliche Minderungsmaßnahmen bei Überschreitung eines Expositionsgrenzwerts
- arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge als Voraussetzung für die Aufnahme der Tätigkeit; Dokumentation der Pflichtvorsorge in einer Vorsorgekartei

### Arbeitsmedizinische Vorsorge

Die Arbeitsmedizinische Vorsorge nach DGUV Empfehlung "Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen" (in: [DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen](#)) dient der Beurteilung der individuellen Wechselwirkungen von Arbeit und physischer und psychischer Gesundheit und der Früherkennung arbeitsbedingter Gesundheitsstörungen sowie der Feststellung, ob bei Ausübung einer bestimmten Tätigkeit eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung besteht.

### Vibrationsminderungsprogramm

Wird der Auslösewert überschritten, ist ein Vibrationsminderungsprogramm zu verfolgen (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 3](#), Abschnitt 5). Zunächst erfolgt eine Ursachenanalyse (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 3](#), Abschnitt 3.2), in der die Expositionsabschnitte und die Abschnitte mit den höchsten Expositionsbeiträgen mit ihren Quellen erfasst werden, um Ansätze mit möglichst großer Vibrationsminderung priorisieren zu können.

### An der Quelle ansetzen

Vorrangig sind Arbeitsschutzmaßnahmen an der Vibrationsquelle zu ergreifen. Hierzu gehört die Substitutionsprüfung: Kann die Arbeitsaufgabe mit einem anderen Verfahren oder einem anderen Arbeitsmittel ausgeführt werden, mit dem eine geringere Tages-Vibrationsexposition verbunden ist? Zum Beispiel durch

- Einsatz eines Verfahrens, von dem keine oder geringere Vibrationen ausgehen (Beispiele siehe Abschnitt 4.3 in [TRLV Vibrationen Teil 1](#))
- Auswahl vibrationsarmer Arbeitsmittel und Fahrzeuge bei der Beschaffung (orientiert z. B. an Abbildung 2 im [EU-Handbuch Ganzkörper-Vibrationen](#) (vgl. [2]) oder den [Orientierungswerten](#) für Ganzkörper-Vibrationen für zahlreiche Maschinentypen)
- Einsatz neuer Arbeitsmittel nach dem Stand der Technik

### Technische Schutzmaßnahmen

Hierbei geht es vor allem um arbeitsmittelseitige Schutzkonzepte, die Vibrationen vom Menschen fern oder gering halten (vgl. [2], [3]), z. B.:

- vibrationsgedämpfte Fahrerinnenkabinen
- vibrationsisolierende Fahrersitze
- Nachrüstung vibrationsgedämpfter Haltegriffe
- Einsatz von Dämmmatten
- Wartungs- und Reinigungsprogramme für Arbeitsmittel, Arbeitsplätze und Anlagen sowie Fahrbahnen (auch auf Baustellen) und schwingungsisierte Fahrersitze und Fahrerinnenkabinen
- fachgerechte Auslegung und Realisierung der Schwingungsisolierung von Maschinen oder des Arbeitsplatzes

(vgl. das Programm "ISOMAG - Schwingungsisolierung von Maschinen" der BAuA)

### Arbeitsorganisation

Ziel der Organisation der Arbeitsabläufe und Disposition der Arbeitsaufgaben ist es insbesondere, die tägliche Expositionsdauer zu minimieren oder zumindest so zu begrenzen, dass der Auslösewert bzw. die Expositionsgrenzwerte sicher eingehalten werden, durch:

- Verteilung vibrationsintensiver Tätigkeiten auf mehrere Beschäftigte
- Verteilung vibrationsintensiver Tätigkeiten auf mehrere Tage
- Verkürzen der Expositionsdauer besonders starker Vibrationen
- Reduzierung von Fahrstrecken auf unebenem Grund
- Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit

### Persönliche Schutzausrüstung

Sogenannte Vibrations-Schutzschuhe bewirken praktisch keine Vibrationsminderung (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 3](#), Abschnitt 3.6.2).

### Verhaltensbezogene Maßnahmen

Mit Informationen und Schulungen sind vibrationsexponierte Beschäftigte in die Lage zu versetzen, sich im Rahmen ihrer Möglichkeiten vibrationsarm zu verhalten. Dazu gehören u. a. folgende Themen:

- Information über das Vorhandensein von Vibrationsgefährdung und die Ergebnisse der Beurteilung, insbesondere die Expositionsdauern, mit denen der Auslösewert bzw. die Expositionsgrenzwerte erreicht werden
- Sensibilisieren durch Aufzeigen möglicher Folgen von Vibrationen und von Symptomen, die auf Überlastung durch Vibrationen hinweisen
- Meldewege bei Überlastungssymptomen

Vermittlung verhaltensbezogener Maßnahmen zur Vermeidung von Vibrationen wie

- bestimmungsgemäßer Einsatz vibrationsintensiver Arbeitsverfahren
- vibrationsarme Bedienung von Arbeitsmitteln und Fahrzeugen
- Vermeidung der Befahrung unebener Untergründe
- vibrationsarme Befahrung unebener Untergründe (z. B. Geschwindigkeitsreduktion)
- Einweisung in die korrekte Einstellung und Handhabung von schwingungsisolierten Fahrersitzen
- vibrationsarme Befahrung unebener Untergründe

Das [EU-Handbuch](#) Ganzkörper-Vibrationen enthält in Kapitel 3 zahlreiche Maßnahmenansätze (vgl. [2]).

### Wirkungskontrolle

Vor Aufnahme der Tätigkeit mit Vibrationen ist zu überprüfen, ob die Vibrationsexpositionsgrenzwerte zuverlässig unterschritten bleiben. Ist das nicht der Fall, sind ergänzenden Maßnahmen zur Verringerung der Vibrationsbelastung erforderlich. Auch der Auslösewert sollte möglichst eingehalten werden. Dazu sind die Schritte aus Kapitel "Ermittlung und Beurteilung" mit den durch die Maßnahmen geänderten Arbeitsbedingungen erneut durchzuführen.

## 6.2.4 Vorschriften, Regelwerk, Literatur

### Gesetze, Verordnungen

- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
- Jugendarbeitsschutzgesetz (JArbSchG)
- Mutterschutzgesetz (MuSchG)
- Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (LärmVibrationsArbSchV)
- Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV)
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
- Berufskrankheiten-Verordnung (BKV)

### Technische Regeln zu den Arbeitsschutzverordnungen

- TRLV Vibrationen: Teil Allgemeines
- TRLV Vibrationen: Teil 1 Beurteilung der Gefährdung durch Vibrationen
- TRLV Vibrationen: Teil 2 Messung von Vibrationen
- TRLV Vibrationen: Teil 3 Vibrationsschutzmaßnahmen
- Branchenbezogene Gefährdungstabellen bei Vibrationen (zu Abschnitt 4.2 TRLV Vibrationen: Teil 1)

### Weitere Regeln der Technik

#### DGUV Regelwerk

- [DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen](#) darin DGUV Empfehlung "Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen"
- [DGUV Grundsatz 309-013](#): Anforderungen an Fachkundige für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und für die Messung bei Vibrationsexposition nach § 5 der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung

Normen kostenpflichtig zu beziehen bei: [www.beuth.de](http://www.beuth.de)

- ISO 2631-1: Mechanische Schwingungen und Stöße – Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Vibrationen auf den Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- ISO 2631-5: Mechanische Schwingungen und Stöße - Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Vibrationen auf den Menschen - Teil 5: Methode zur Bewertung stoßhaltiger Ganzkörper-Vibrationen
- VDI 2057-1:2017-08: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen
- VDI 3831:2012-04: Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen

### EU-Recht

- [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 Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nummer L 177 vom 6.7.2002, Seiten 13-19 (konsolidierte Fassung mit Änderungen bis Juni 2019)

### Literatur

- [1] Christ, E.; Fischer, S.; Kaulbars, U.; Sayn, D.: [Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen – Kennwerte der Hand-Arm- und Ganzkörperbelastung](#) Sankt Augustin: HVBG 2006 (BGIA Report, 6/2006)
- [2] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV): DGUV-Statistiken für die Praxis 2019
- [3] Griffin, M. J.; Howarth, H. V. C.; et al.: [EU-Handbuch](#) Ganzkörper-Schwingungen. (Rechtlich nicht bindendes Handbuch im Hinblick auf die Umsetzung der Richtlinie 2002/44/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Schwingungen)) 2007
- [4] Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau, Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd (Hrsg.): [Gefährdungsbeurteilung "Vibrationen" bei handgeführten und -gehaltenen Arbeitsmaschinen: Hinweise zur Nutzung von Herstellerangaben aus Bedienungsanleitungen](#)

Mainz-Weisenau: 07/2006 (Fachausschuss-Informationsblatt 017)

– [5] Bovenzi, M., Hulshof C.T.J.:

**An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain**

Int Arch. Occup. Environ. Health 72 1999, 351-65.

– [6] Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau, Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd (Hrsg.):

[Vibrationen am Arbeitsplatz: Hilfestellung zur Umsetzung der LärmVibrationsArbSchV](#)

Mainz-Weisenau: 05/2007 (Fachausschuss- Informationsblatt 008)

– [7] European Agency for Safety and Health at Work:

[Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review](#)

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2008

### Internetangebote / Links

– [KarLA - Katalog repräsentativer Lärm- und Vibrationsdaten am Arbeitsplatz](#)

Landesamt für Arbeitsschutz Brandenburg

– [Erdbaumaschinen-Rechner](#) (Online)

Landesamt für Arbeitsschutz Brandenburg

– [Fachinformationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung zu Vibrationen](#)

– [italienische Datenbank physikalischer Einwirkungen](#) (en)

## 6.2.5 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter

### Prüffragen

- Werden täglich vibrierende Maschinen/Fahrzeuge über einen längeren Zeitraum gefahren?
- Wird häufig auf unbefestigtem Gelände gefahren?
- Muss über schlecht gewartete Straßen und Wege gefahren werden?
- Werden beim Einsatz der Maschinen Stöße beobachtet?
- Müssen unergonomische Haltungen beim Fahren eingenommen werden oder Arbeiten mit manuellen Handhabungen durchgeführt werden?
- Treten Gebäude-Vibrationen durch Maschinen auf?
- Treten bei Beschäftigten Beschwerden insbesondere im Rückenbereich auf?
- Sind besonders gefährdete Personen Ganzkörper-Vibrationen ausgesetzt?

### Maßnahmen

- Vibrationsminderung durch Optimierung der Fahrbahn
- Substituierung durch andere Arbeitsmittel oder Arbeitsverfahren
- Auswahl vibrationsarmer Arbeitsmittel
- Ausstattung von Fahrzeugen mit vibrationsisoliertem Fahrersitz bzw. vibrationsisolierter Fahrerkabine
- Vibrationsgeminderte Gestaltung von Aufgaben und Prozessen
- Einplanen von Vibrationspausen
- Schulung und Information der Arbeitnehmer
- Fachleute für Schwingungsschutz konsultieren, Vibrationsminderungsprogramm entwickeln
- Schwingungsmessung veranlassen
- Vibrationsminderungsprogramm (bei Überschreitung des Auslösewerts)
- Arbeitsmedizinische Angebotsvorsorge (bei Überschreitung des Auslösewerts)
- Arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge (ab Erreichen eines Vibrationsexpositionsgrenzwerts)
- Information und Unterweisung der Beschäftigten
- allgemeine arbeitsmedizinische Beratung

## 6.2.6 Autor und Ansprechpartner

### Autor

– Dipl.-Ing. Christof Barth  
systemkonzept GmbH, Köln

### Ansprechpartner

– Dipl.-Ing. Marlies Kittelmann  
Fachgruppe 2.4 "Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit"

### Kontakt

### 6.3 Hand-Arm-Vibrationen

Hand-Arm-Vibrationen sind mechanische Schwingungen, die über Hände und Arme einwirken. Sie werden überwiegend durch rotierende oder schlagende Handmaschinen oder durch Werkstücke, die während der Bearbeitung mit den Händen gehalten werden, verursacht.

Etwa 1,8 Mio. Beschäftigte in Deutschland arbeiten in Branchen, in denen Tätigkeiten mit Hand-Arm-Vibrationen anfallen (vgl. [1]). Bei langjähriger Exposition können chronischen Beschwerden bzw. Erkrankungen auftreten. Jährlich werden ca. 1 600 Berufskrankheiten im Zusammenhang mit Hand-Arm-Vibrationen angezeigt; ca. 350 werden als Berufskrankheit anerkannt (vgl. [2]).

### 6.3.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen

#### Quellen

Typische Maschinen, von denen Hand-Arm-Vibrationen ausgehen, sind z. B. Kettensägen, Freischneider, Stampfer, Abbruchhämmer, Schlagbohrmaschinen, Winkelschleifer, Trennschneider, handgeführte elektrische Sägen (vgl. [3], S. 13). Sie erzeugen Vibrationen zwischen 8 und bis 1 000 Hz.

Vibrationen können aber auch bei der mechanischen Bearbeitung handgehaltener Werkstücke auftreten.

#### Leitmerkmale für die Einwirkdosis

Die Intensität der Einwirkung hängt insbesondere ab von

- der physikalischen Belastung: Einwirkrichtung (vgl. Abbildung 6.3-1; aus [3]), Stärke/Amplitude, Frequenz und Stoßhaltigkeit (Alte, verschlissene oder schlecht gewartete Maschinen weisen meist deutlich stärkere Vibrationen auf als neue, gut gewartete in gutem Zustand.)
- mitwirkenden Belastungsfaktoren: Stelle der Krafteinwirkung, Körperhaltung, Ankoppelungskraft = Handgreifkraft + Arm-Andruckkraft, Kraftabstützung, Temperatur, Übungsgrad
- Expositionsdauer: Dauer und Häufigkeit der Einwirkung; Pausen und Unterbrechungen

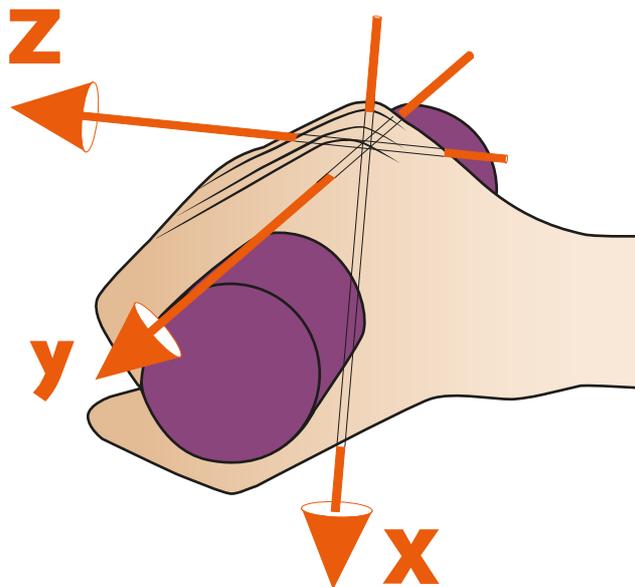


Abb. 6.3-1 Einwirkrichtung der physikalischen Belastung

#### Individuelle Leistungsvoraussetzungen

Die Beanspruchung hängt auch ab von den individuellen Voraussetzungen der Beschäftigten, insbesondere Geschlecht, Alter, Alter bei Expositionsbeginn, Konstitution, allgemeinem Gesundheitszustand, Zustand des Hand-Arm-Systems, aber auch Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Vibrationsbelastung und vibrationsarmen Umgebung mit Vibrationsquellen.

#### Wirkungen

Akut können insbesondere bei Frequenzen über 30 Hz zunächst Befindlichkeitsstörungen und Schmerzen an Händen und Armen, aber auch Schulter und Oberkörper auftreten. Exponierte Beschäftigte klagen häufig über Kribbeln und Taubheit in Fingern und Händen. Zu Beginn erfassen diese Durchblutungsstörungen zunächst nur die Kuppen von einem oder mehreren Fingern. Wenn das Blut zurück in die Finger strömt (in der Regel durch Wärme oder eine lokale Massage), werden die Finger rot und beginnen oft zu schmerzen. Es können Entzündungen an Sehnen auftreten. Im Winter treten diese Störungen häufiger auf als im Sommer.

Bei fortgesetzter Vibrationsexposition können infolge der Durchblutungsstörungen die Finger bis zur Fingerwurzel weiß werden, die Störungen werden häufiger und betreffen immer mehr Finger und können bis zu krampfartigen Attacken führen (vibrationsbedingtes vasospastisches Syndrom bzw. Weißfinger-Krankheit) [3], [4]. Je nach Stärke

der Vibrationsimpulse kann die Dauer zwischen wenigen Minuten und mehr als einer Stunde liegen. Diese Attacken können das gesamte Jahr hindurch bereits bei eher kleinen Temperaturabsenkungen auftreten. Viele betroffene Arbeitnehmer erleben dann einen voll-ständigen Verlust des Tastgefühls und der manuellen Beweglichkeit. Weitere chronische Schäden insbesondere bei Frequenzen unterhalb von 50 Hz sind degenerative Knochen-, Gelenk-, Gefäß-, Sehnen- und Nervenschädigungen der Hand, des Ellenbogens und der Schultern. Das Risiko eines Karpaltunnelsyndroms ist erhöht.

Die Arbeitsfähigkeit kann soweit beeinträchtigt werden, dass der Beruf nicht mehr ausgeübt werden kann. Die Schäden schränken zudem das Privatleben und Freizeitaktivitäten ein (aus [2]).

Schwere Folgen intensiver Hand-Arm-Vibrationen können als Berufskrankheiten anerkannt werden (vgl.

**Berufskrankheiten-Verordnung**):

- Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen (BK 2103)
- vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen (BK 2104)
- Karpaltunnel-Syndrom (CTS) (BK 2113)
- Hypothenar-Hammer-Syndrom (HHS) bzw. Thenar-Hammer-Syndrom (THS) (BK 2114)

### Multifaktorielle Wirkungen

Kälte kann Durchblutungsstörungen bei Hand-Arm-Vibrationen verstärken. Hand-Arm-Vibrationen können bei Frost das Risiko von Erfrierungen erhöhen.

Hand-Arm-Vibrationen können die physische Belastung in Kombination mit schwerer dynamischer Arbeit, Hitze, Lärm und Zugluft verstärken.

Durch Vibrationen eingeschränkte Beweglichkeit der Finger und eingeschränkter Tastsinn kann die Wahrscheinlichkeit von Unfällen erhöhen.

### 6.3.2 Ermittlung und Beurteilung

Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen hat der Arbeitgeber zunächst festzustellen, ob Beschäftigte Vibrationen ausgesetzt sind oder sein können. Ist dies der Fall, sind alle von den Vibrationen ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit zu beurteilen. Dazu sind die auftretenden Expositionen am Arbeitsplatz fachkundig zu ermitteln und zu bewerten (vgl. § 3 LärmVibrationsArbSchV).

#### Ermittlung

Eine Gefährdung besteht, wenn bei der Arbeit Vibrationen über die Handflächen einwirken. Das ist insbesondere bei den unter 6.2.2.1 "Art der Gefährdungen und ihre Wirkungen" genannten und ähnlichen Quellen der Fall, wie sie auch in [TRLV Vibrationen Teil 1](#), Abschnitt 4.1.2 angegeben sind. Diese Quellen sind zunächst zu ermitteln.

#### Beurteilungsgrößen

Die Beurteilung erfolgt anhand der **Schwingungsbeschleunigung  $a$  in  $m/s^2$** . Da Vibrationen niedriger Frequenzen für den Menschen belastender sind als solche höherer Frequenzen, muss die Vibrationsintensität mithilfe der Frequenzanalyse körpergerecht bewertet werden. Die **frequenzbewertete Schwingungsbeschleunigung** für Hand-Arm-Vibrationen wird mit  $a_{hv}$  bezeichnet.

Bei Hand-Arm-Vibrationen werden in der Regel die Schwingungsbeschleunigungen in die drei Wirkrichtungen  $x$ ,  $y$  und  $z$  zur Vektorsumme  $a_{hv}$  zusammengerechnet (Rechenformel siehe [TRLV Vibrationen Teil 1](#), Anlage 3, Absatz 1).

Zu unterscheiden sind:

- **Emissionswerte** geben an, welche Vibrationsintensität vom Arbeitsmittel ausgeht. Das sind unter standardisierten Laborbedingungen ermittelte Messwerte. Sie berücksichtigen nicht die konkreten Einsatzbedingungen. Emissionswerte müssen vom Hersteller in der Betriebsanleitung angegeben werden. Anzugeben sind die Emissionsmesswerte (meist als Vektorsumme  $a_{hv}$ ) und die Messunsicherheit  $K$ . Für die Beurteilung ist die Messunsicherheit zum Emissionswert zu addieren (worst case).
- **Immissionswerte** geben die auf den Menschen über die Hände einwirkende Vibrationsintensität unter Berücksichtigung der für die Tätigkeit typischen Einsatzbedingungen an. Für die Beurteilung sind Immissionswerte heranzuziehen.

Vibrationswerte sind nach folgender Hierarchie für die Beurteilung zu verwenden (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 1](#), Abschnitt 4.2):

- Vorrangig sind die Ergebnisse bereits verfügbarer fachkundiger bzw. orientierender Immissionsmessungen im Betrieb zu verwenden.
- Sind solche Messwerte nicht verfügbar, sind Immissionsmesswerte möglichst für die gleiche Maschine, sonst den gleichen Maschinentyp aus anderen Betrieben, öffentlichen Datenbanken (z. B. [KarLA](#) des Landes Brandenburg und weitere [Datenbanken](#)) oder Fachpublikationen (z. B. [IFA](#)) mit vergleichbaren Einsatzbedingungen heranzuziehen.
- Sind Immissionsmesswerte nicht verfügbar, sind Emissionswerte des Herstellers oder für den Maschinentyp heranzuziehen (z. B. [KarLA](#) des Landes Brandenburg). Um Emissionswerte grob in Immissionswerte zu überführen, sind die Emissionswerte mit dem passenden [Korrekturfaktor](#) aus Anlage 1 der [TRLV Vibrationen Teil 1](#) zu multiplizieren.
- Sind auch solche Emissionswerte nicht verfügbar, ist zu prüfen, ob die branchenbezogenen [Gefährdungstabellen](#) bei Hand-Arm-Vibrationen der BAuA verwendbar sind.
- Lässt sich die Überschreitung der unten angegebenen Auslöse- und Expositionsgrenzwerte nicht sicher ausschließen, sind fachkundige Immissionsmessungen nach [TRLV Vibrationen Teil 2](#) zu veranlassen. Manche Unfallversicherungsträger unterstützen hierbei ihre Mitgliedsbetriebe, siehe Liste der [Messstellen](#). Die Dokumentation der Messwerte hat der Arbeitgeber mindestens 30 Jahre in einer Form aufzubewahren, die eine spätere Einsichtnahme ermöglicht (§ 4 LärmVibrationsArbSchV).

Für die Beurteilung ist die auf den Menschen einwirkende Tagesdosis relevant. Daher ist neben der Vibrationsbeschleunigung die Einwirkungsdauer einer typischen 8-Stunden-Schicht zu ermitteln (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 1](#), Abschnitt 6).

Mithilfe von Berechnungsformeln nach [TRLV Vibrationen Teil 1](#), Anlage 3 kann der Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  errechnet werden. Einfacher ist die Verwendung eines Vibrationsrechners (Excel-Anwendung vom [IFA](#)) durch Eingabe der frequenzbewerteten Schwingungsbeschleunigungen  $a_{hv}$  (bei Herstellerangaben mit addierter Messun-

sicherheit  $K$  und anschließend multipliziertem Korrekturfaktor) und der Einwirkungsdauer. Mit dem Vibrationsrechner können auch im Tagesverlauf verwendete unterschiedliche Vibrationsexpositionen kombiniert werden. Alternativ kann die Expositionspunkte-Tabelle aus Anlage 3 der [TRLV Vibrationen Teil 1](#) verwendet werden.

### Bewertung

Der ermittelte Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  ist zu vergleichen mit

- dem Expositionsgrenzwert  $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$  und
- dem Auslösewert  $A(8) = 2,50 \text{ m/s}^2$

aus § 9 LärmVibrationsArbSchV. Dabei wendet der Vibrationsrechner das Ampelprinzip an:

- Wird der Expositionsgrenzwert erreicht, besteht ein hohes Gesundheitsrisiko im roten Gefahrenbereich. Es sind Sofortmaßnahmen zur Unterschreitung des Expositionsgrenzwerts erforderlich.
- Wird der Expositionsgrenzwert nicht erreicht, aber der Auslösewert überschritten, ist das Gesundheitsrisiko im gelben Besorgnisbereich. Die in der LärmVibrationsArbSchV vorgeschriebenen Maßnahmen sind zu ergreifen.
- Wird der Auslösewert nicht überschritten, ist das Gesundheitsrisiko gering (grüner Akzeptanzbereich). Dann reichen Sorgfaltsmaßnahmen aus, die sicherstellen, dass es nicht zum Überschreiten des Auslösewerts kommt. Weitere Verbesserungsmöglichkeiten sind zu prüfen.

### Besonders gefährdete Personengruppen

Im Rahmen der Beurteilung der Arbeitsbedingungen sind besonders gefährdete Personengruppen wie Jugendliche, werdende und stillende Mütter, Behinderte oder Beschäftigte mit Vorerkrankungen sowie Neulinge zu berücksichtigen.

Nach dem Jugendarbeitsschutzgesetz dürfen Jugendliche und nach dem Mutterschutzgesetz werdende und stillende Mütter nicht mit Arbeiten beschäftigt werden, bei denen die Sicherheit und die Gesundheit der betroffenen Personen durch Stöße und Vibrationen gefährdet wird.

Nähere Angaben enthält Abschnitt 6.5 der [TRLV Vibrationen: Teil 1](#).

## 6.3.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirkungskontrolle

### Maßnahmen bei Überschreitung des Auslösewerts

Bei Expositionen oberhalb des Auslösewerts (vgl. Kapitel 6.3.2 Ermittlung und Beurteilung) ist der Arbeitgeber nach LärmVibrationsArbSchV verpflichtet, folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- Information der Beschäftigten über die Vibrationsexposition und Unterweisung
- allgemeine arbeitsmedizinische Beratung (vorzugsweise durch den Betriebsarzt)
- Anbieten der arbeitsmedizinischen Vorsorge gemäß ArbMedVV unter Beachtung von [AMR Nr. 5.1](#)
- Ausarbeitung und Durchführung eines Programms mit Maßnahmen zur Beseitigung oder Minimierung der Exposition gegenüber Hand-Arm-Vibrationen (Vibrationsminderungsprogramm)

### Maßnahmen bei Erreichen eines Expositionsgrenzwerts

Wird der Expositionsgrenzwert (vgl. Kapitel 6.3.2 Ermittlung und Beurteilung) erreicht, ist der Arbeitgeber nach LärmVibrationsArbSchV verpflichtet, zusätzlich folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- unverzügliche Minderungsmaßnahmen bei Überschreitung eines Expositionsgrenzwerts
- arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge als Voraussetzung für die Aufnahme der Tätigkeit; Dokumentation der Pflichtvorsorge in einer Vorsorgekartei

### Arbeitsmedizinische Vorsorge

Die Arbeitsmedizinische Vorsorge nach [DGUV Empfehlung](#) "Belastungen des Muskel-Skelett-Systems einschließlich Vibrationen" dient der Beurteilung der individuellen Wechselwirkungen von Arbeit und physischer und psychischer Gesundheit und der Früherkennung arbeitsbedingter Gesundheitsstörungen sowie der Feststellung, ob bei Ausübung einer bestimmten Tätigkeit eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung besteht.

### Vibrationsminderungsprogramm

Wird der Auslösewert überschritten, ist ein Vibrationsminderungsprogramm zu verfolgen (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 3](#), Abschnitt 5). Zunächst erfolgt eine Ursachenanalyse (vgl. [TRLV Vibrationen Teil 3](#), Abschnitt 3.2), in der die Expositionsabschnitte und die Abschnitte mit den höchsten Expositionsbeiträgen mit ihren Quellen erfasst werden, um Ansätze mit möglichst großer Vibrationsminderung priorisieren zu können.

### An der Quelle ansetzen

Vorrangig sind Arbeitsschutzmaßnahmen an der Vibrationsquelle zu ergreifen. Hierzu gehört die Substitutionsprüfung: Kann die Arbeitsaufgabe mit einem anderen Verfahren oder einem anderen Arbeitsmittel ausgeführt werden, mit dem eine geringere Tages-Vibrationsexposition verbunden ist? Zum Beispiel durch

- Einsatz eines Verfahrens, von dem keine oder geringere Vibrationen ausgehen (Beispiele siehe Abschnitt 4.3 in [TRLV Vibrationen Teil 1](#))
- Auswahl vibrationsarmer Arbeitsmittel bei der Beschaffung (orientiert z. B. an Abbildung 2 im [EU-Handbuch Hand-Arm-Vibrationen](#) oder den [Orientierungswerten](#) für Hand-Arm-Vibrationen für zahlreiche Maschinentypen)
- Einsatz neuer Arbeitsmittel nach dem Stand der Technik

### Technische Schutzmaßnahmen

Hierbei geht es vor allem um arbeitsmittelseitige Schutzkonzepte, die Vibrationen durch Puffer- und Federelemente von den Handgriffen fern oder klein halten, z. B.:

- Handmaschinen mit Antivibrationssystem (AVS)
- Nachrüstung mit Antivibrationssystem (AVS)
- Wartungs- und Reinigungsprogramme für Arbeitsmittel und Antivibrationssysteme

### Arbeitsorganisation

Ziel der Organisation der Arbeitsabläufe und Disposition der Arbeitsaufgaben ist es insbesondere, die tägliche Expositionsdauer zu minimieren oder zumindest so zu begrenzen, dass der Auslösewert bzw. der Expositionsgrenzwert sicher eingehalten wird, durch:

- Verteilung vibrationsintensiver Tätigkeiten auf mehrere Beschäftigte
- Verteilung vibrationsintensiver Tätigkeiten auf mehrere Tage
- Verkürzen der Expositionsdauer besonders starker Vibrationen
- Einplanen von Vibrationsexpositionsphasen durch vibrationsfreie Tätigkeiten zwischendurch

### Persönliche Schutzausrüstung

Vibrationsschutzhandschuhe sind in ihrer Wirkung begrenzt, z. T. umstritten und stellen ggf. eine beträchtliche Zusatzbelastung dar. Nur oberhalb von 150 Hz (entspricht 9 000 Umdrehungen pro Minute) und bei nicht festem Zugreifen bieten Vibrationsschutzhandschuhe eine begrenzte Verringerung der Vibrationsintensität. Als alleinige Schutzmaßnahme bei Hand-Arm-Vibrationen reichen Vibrationsschutzhandschuhe nicht aus. Wenn sie CE-gekennzeichnet sind, ist für Hand- und Fingerinnenflächen eine Mindestwirksamkeit bei Vibrationen zwischen 31,5 bis 1 250 Hz nach DIN EN ISO 10819 festgestellt worden, ohne dass in allen Anwendungsfällen eine Einhaltung des Auslöse- bzw. Expositionsgrenzwerts sichergestellt werden kann.

Das Tragen warm haltender Handschuhe bei Kälte beugt Durchblutungsstörungen der Hände vor.

### Verhaltensbezogene Maßnahmen

Mit Informationen und Schulungen sind vibrationsexponierte Beschäftigte in die Lage zu versetzen, sich im Rahmen ihrer Möglichkeiten vibrationsarm zu verhalten. Dazu gehören u. a. folgende Themen:

- Information über das Vorhandensein von Vibrationsgefährdung und die Ergebnisse der Beurteilung, insbesondere der Expositionsdauern, mit denen der Auslösewert bzw. der Expositionsgrenzwert erreicht wird (ggf. Kennzeichen der Arbeitsmittel mit entsprechenden Angaben)
- Sensibilisieren durch Aufzeigen möglicher Folgen von Vibrationen und von Symptomen, die auf Überlastung durch Vibrationen hinweisen
- Meldewege bei Überlastungssymptomen
- Vermittlung verhaltensbezogener Maßnahmen zur Vermeidung von Vibrationen wie
  - bestimmungsgemäßer Einsatz vibrationsintensiver Arbeitsverfahren
  - vibrationsarme Bedienung von Arbeitsmitteln und Fahrzeugen
  - Verringerung von Greif- und Andruckkräften

Das EU-Handbuch Hand-Arm-Vibrationen enthält in Kapitel 3 zahlreiche Maßnahmenansätze.

### Wirkungskontrolle

Vor Aufnahme der Tätigkeit mit Vibrationen ist zu überprüfen, ob der Vibrationsexpositionsgrenzwert zuverlässig unterschritten bleibt. Ist das nicht der Fall, sind ergänzenden Maßnahmen zur Verringerung der Vibrationsbelastung erforderlich. Auch der Auslösewert sollte möglichst eingehalten werden. Dazu sind die Schritte aus Kapitel 6.3.2 "Ermittlung und Beurteilung" mit den durch die Maßnahmen geänderten Arbeitsbedingungen erneut durchzuführen.

### 6.3.4 Vorschriften, Regelwerk, Literatur

#### Gesetze, Verordnungen

- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
- Jugendarbeitsschutzgesetz (JArbSchG)
- Mutterschutzgesetz (MuSchG)
- Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (LärmVibrationsArbSchV)
- Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV)
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
- Berufskrankheiten-Verordnung (BKV)

#### Technische Regeln zu den Arbeitsschutzverordnungen

- TRLV Vibrationen: Teil Allgemeines
- TRLV Vibrationen: Teil 1 Beurteilung der Gefährdung durch Vibrationen
- TRLV Vibrationen: Teil 2 Messung von Vibrationen
- TRLV Vibrationen: Teil 3 Vibrationsschutzmaßnahmen
- Branchenbezogene Gefährdungstabellen bei Vibrationen (zu Abschnitt 4.2 TRLV Vibrationen: Teil 1)

#### Weitere Regeln der Technik

##### DGUV Regelwerk

- DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen
- DGUV Grundsatz 309-013: Anforderungen an Fachkundige für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und für die Messung bei Vibrationsexposition nach § 5 der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung

[www.beuth.de](http://www.beuth.de)

- IN EN ISO 5349-1:2001-12: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- DIN EN ISO 5349-2:2015-12: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen, Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz
- DIN SPEC 45694:2013-12: Mechanische Schwingungen – Anleitung zur Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen aus Angaben zu den benutzten Maschinen einschließlich Angaben von den Maschinenherstellern
- DIN SPEC 45695-2:2016-11: Hand-Arm-Schwingungen – Leitfaden zur Verringerung der Gefährdung durch Schwingungen – Teil 2: Maßnahmen am Arbeitsplatz
- VDI 2057-2:2016-03: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen
- VDI 3831:2012-04: Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen

#### EU-Recht

- 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 Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nummer L 177 vom 6.7.2002, Seiten 13-19 (konsolidierte Fassung mit Änderungen bis Juni 2019)

#### Internetangebote / Links

- KarLA - Katalog repräsentativer Lärm- und Vibrationsdaten am Arbeitsplatz  
Landesamt für Arbeitsschutz Brandenburg
- Fachinformationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung zu Vibrationen
- italienische Datenbank physikalischer Einwirkungen (en)

#### Literatur

- [1] Christ, E.; Fischer, S.; Kaulbars, U.; Sayn, D.:

#### Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen – Kennwerte der Hand-Arm- und Ganzkörperbelastung

Sankt Augustin: HVBG 2006 (BGIA Report, 6/2006)

- [2] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV): DGUV Statistiken für die Praxis 2019
- [3] Griffin, M. J.; Howarth, H. V. C.; et al.: EU-Handbuch Hand-Arm-Schwingungen. (Rechtlich nicht bindendes Handbuch im Hinblick auf die Umsetzung der Richtlinie 2002/44/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Schwingungen)) 2007
- [4] Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau, Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd (Hrsg.): Gefährdungsbeurteilung "Vibrationen" bei handgeführten und -gehaltenen Arbeitsmaschinen: Hinweise zur Nutzung von Herstellerangaben aus Bedienungsanleitungen. Mainz-Weisenau: 07/2006 ([Fachausschuss-Informationsblatt 017](#))
- [5] European Agency for Safety and Health at Work: Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2008
- Kaulbars, U.: Schutz vor Hand-Arm-Vibration durch Substituieren und Isolieren. Praxisbeispiele zur Technischen Regel. [Technische Sicherheit 1 \(2011\) Nr. 6](#), S. 47-53
- Kaulbars, Uwe: Hand-Arm-Vibrationen: Schutz durch vibrationsarme Geräte und Maschinen. [Aus der Arbeit des IFA Nr. 0134](#). IFA 2012
- Kaulbars, Uwe: Vibrationsschutzhandschuhe. Aus der Arbeit des IFA Nr. 0025, IFA 2015 (nur online (Link: <https://publikationen.dguv.de/forschung/ifa/aus-der-arbeit-des-ifa/2133/vibrations-schutzhandschuhe.-aus-der-arbeit-des-ifa-nr.-00259>))
- Lee, Doo-Ung: [Tipps für den Einkauf von Maschinen](#). Nutzung von Herstellerangaben zur Auswahl vibrationsarmer handgeführter Maschinen. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2016.

### 6.3.5 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter

#### Prüffragen

- Werden Handmaschinen benutzt, von denen Vibrationen ausgehen?
- Werden vibrationsintensive Verfahren angewendet (z.B. Schlagwerkzeuge)
- Hat der Maschinenhersteller die Vibrationsemissionen (richtlinienkonform) angegeben?
- Treten bei Beschäftigten nach der Verwendung vibrierender Arbeitsmittel/Verfahren Beschwerden an den Händen auf (Kribbeln, Taubheitsgefühl, ...)?
- Können besonders gefährdete Personen Hand-Arm-Vibrationen ausgesetzt sein?
- Werden vibrationsarme Maschinen/Geräte ausgewählt?
- Wird geprüft, ob durch Arbeitsschutzmaßnahmen (z. B. Schwingungsisolierung) die Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen reduziert werden kann?

#### Maßnahmen

- Substituierung durch andere, vibrationsärmere Verfahren undArbeitsmittel
- Auswahl vibrationsarmer Arbeitsmittel (ggf. mit Antivibrationssystem (AVS))
- Verringerung der Belastung durch Minimierung der Expositionszeit mit vibrationsintensiven Arbeitsmitteln oder Verfahren
- Gestaltung des Arbeitsplatzes, Mitarbeiterschulung, Informationen über mögliche Gefährdungen
- Arbeitspläne, Zeitregime
- Arbeitsschutzhandschuhe, Hände warm halten
- Fachleute für Schwingungsschutz konsultieren
- Schwingungsmessung veranlassen
- - Vibrationsminderungsprogramm (bei Überschreitung des Auslösewerts)
- arbeitsmedizinische Angebotsvorsorge (bei Überschreitung des Auslösewerts)
- arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge (bei Erreichen des Vibrationsexpositionswerts)
- Information und Unterweisung der Beschäftigten
- allgemeine arbeitsmedizinische Beratung

### **6.3.6 Autor und Ansprechpartner**

#### **Autor**

– Dipl.-Ing. Christof Barth  
systemkonzept GmbH, Köln

#### **Ansprechpartner**

– Dipl.-Ing. Marlies Kittelmann  
Fachgruppe 2.4 "Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit"

#### **Kontakt**

## 6.4 Optische Strahlung

Ein Großteil der menschlichen Wahrnehmung geschieht durch das Sehen, d. h. durch die Verarbeitung des auf die Netzhaut (Retina) treffenden Lichts im Gehirn. Der Wellenlängenbereich dieser sichtbaren Strahlung reicht von 400 nm (andere Dokumente verwenden 380 nm) bis 780 nm und stellt einen kleinen Teil des als optische Strahlung bezeichneten elektromagnetischen Spektralbereichs dar.

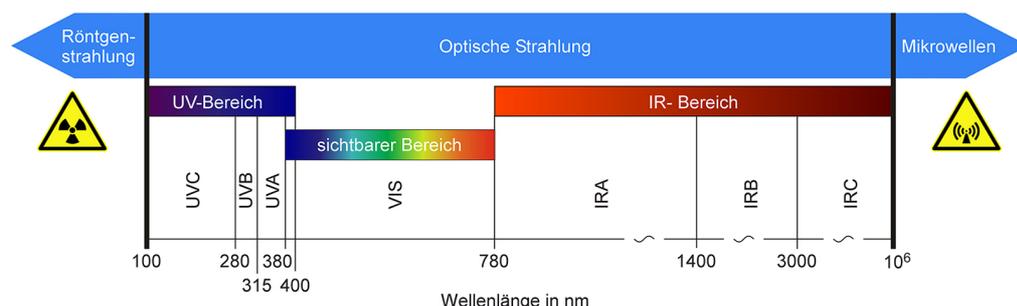


Abbildung 6.4-1 Wellenlängenbereich optischer Strahlung mit Unterteilung in verschiedene Spektralbereiche

Eingegrenzt von hochenergetischer, ionisierender Röntgenstrahlung (siehe Kapitel "Ionisierende Strahlung") und dem Bereich der Mikrowellen (elektromagnetische Felder, siehe Kapitel "Elektromagnetische Felder") reichen optische Wellenlängen von 100 nm bis 1 mm (10<sup>6</sup> nm).

Tab. 6.4-1 Spektralbereiche optischer Strahlung

Bezeichnung	Spektralbereich
ultraviolette (UV-) Strahlung	100 nm bis 400 nm
sichtbare Strahlung (Vis, Licht)	(380) 400 nm bis 780 nm
Infrarotstrahlung (IR)	780 nm bis 1 mm

Grundsätzlich wird bei dieser Untergliederung nicht zwischen inkohärenter optischer Strahlung (IOS) und (kohärenter) Laserstrahlung unterschieden. Kohärenz tritt auf, wenn emittierte Strahlung monochromatisch (eine Wellenlänge) und phasengleich ist. Sonnenstrahlung ist breitbandig und somit inkohärent. Eine konstruktive Interferenz ist nicht möglich.

Optische Strahlung ist aus dem Arbeitsalltag nicht mehr wegzudenken: Materialprüfung, Lackhärtung oder Desinfektion mit UV-Strahlung, Decken- oder Schreibtischbeleuchtung, spezialisierte Arbeitsmittel zur Ausleuchtung von Arbeitsstätten wie Baustellen, Bühnen oder Lagerbereiche sowie Laserstrahlung zur Entfernungsmessung, Materialbearbeitung oder im medizinischen Bereich. Die zugrunde liegenden Techniken haben sich dabei über Jahrzehnte stetig weiterentwickelt und reichen von glühenden Wolframfäden in kommerziell nicht mehr erhältlichen Glühlampen über leuchtende Plasmen in Gasentladungslampen bis hin zu Licht emittierenden Dioden (LEDs), die aufgrund ihrer hohen Effizienz, langen Lebensdauer und geringen Kosten über kurz oder lang vermutlich die am weitesten verbreiteten optischen Strahlungsquellen sein werden. Auch die Technologie der Laserstrahlung wird stetig verbessert und führt zu immer kompakteren und leistungsfähigeren Entwicklungen und Anwendungen.

Neben dieser exemplarischen Aufzählung künstlicher optischer Strahlungsquellen ist die Sonne die bedeutendste Quelle natürlicher IOS. Die International Agency for Research on Cancer (IARC) hat 2012 solare (und auch künstliche) UV-Strahlung als Humankanzerogen der höchsten Klasse 1 eingestuft. Demnach verwundert es nicht, dass es in Deutschland viele Erkrankungen sowohl am malignen Melanom (MM) als auch an nicht melanozytären Hautkrebsformen (NMSC) gibt. Für das Jahr 2013 wurden 21 410 MM-Neuerkrankungen mit einer Sterblichkeitsrate von ~14 % (3.042 Todesfälle) genannt. Die Zahl der NMSC-Fälle ist wesentlich höher und wird auf ca. 213 000 Neuerkrankungen pro Jahr geschätzt. Eine vergleichsweise geringe ~0,3 %ige Sterblichkeitsrate führt jedoch aufgrund der hohen Inzidenz jährlich zu etwa 750 Todesfällen (RKI 2016). Primärprävention bei der Arbeit erlangt somit einen besonders hohen Stellenwert unter den Schutzmaßnahmen.

Bedingt durch diese Tatsachen und dadurch, dass in Deutschland mehrere Millionen Beschäftigte im Freien mit einer im Vergleich zur Normalbevölkerung mindestens zwei- bis dreifach höheren kumulativen UV-Jahresdosis belas-

tet sind – verknüpft mit einem 1,8-fach höheren relativen Risiko an einem Plattenepithelkarzinom zu erkranken ( BMAS 2013) – wurden Anfang 2015 "Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung" als Berufskrankheit BK 5103 in die Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) aufgenommen. Im gleichen und folgenden Jahr wurden bereits mehr als 5 200 BK-Fälle anerkannt, darunter knapp 500 Rentenfälle. Die Arbeitsmedizinische Regel AMR 13.3 "Tätigkeiten im Freien mit intensiver Belastung durch natürliche UV-Strahlung von regelmäßig einer Stunde oder mehr je Tag" spezifiziert diese Tätigkeiten und somit den Bedarf einer arbeitsmedizinischen Vorsorge.

### 6.4.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen

Die mit der Exposition gegenüber optischer Strahlung einhergehenden gesundheitlichen Gefährdungen sind vielfältig, betreffen jedoch aufgrund der relativ geringen (wellenlängenabhängigen) Eindringtiefe optischer Strahlung in menschliches Gewebe vor allem Augen und Haut. Dabei hängt das Schädigungspotenzial u. a. von der Wellenlänge, der Expositionsdauer, der Bestrahlungsstärke und der mit dem jeweiligen Arbeitsmittel realisierten Betriebsart (kontinuierlich oder gepulst) ab.

#### Photochemische Wirkungen

Expositionsauern im Minutenbereich mit geringen Bestrahlungsstärken können zu photochemischen Wirkungen im Gewebe führen, bei denen die Energie der Photonen in chemische Reaktionsenergie umgesetzt wird. Diese Effekte dominieren vor allem für UV- und kurzwellige sichtbare Strahlung. Bestimmte Biomoleküle absorbieren dabei auftreffende Strahlung, wobei schlussendlich freie Radikale erzeugt werden, die umgebende zelluläre Moleküle wie Proteine oder die Erbsubstanz Desoxyribonukleinsäure (DNS) schädigen können. UV-Strahlung ist darüber hinaus so energiereich, dass chemische Bindungen gespalten und dadurch Bausteine der DNS falsch verknüpft werden können. Derartige Schädigungen der DNS können krebsauslösend wirken.

#### Thermische Wirkungen

Bei Expositionsauern von Millisekunden bis wenigen Sekunden mit Bestrahlungsstärken von etwa  $100 \text{ Wcm}^{-2}$  im langwelligen Teil des sichtbaren Spektrums und im IR-Spektralbereich sind thermische Effekte zu beobachten. Dabei erhitzt sich das exponierte Gewebe durch verstärkte Molekülschwingung und es kann ein Schaden entstehen.

Es besteht ein grundlegender Unterschied zwischen thermischen und photochemischen Wirkungen: Bleibt bei der thermischen Wirkung die Temperatur des Gewebes auch bei länger dauernder Absorption von Photonen unterhalb eines Schwellwerts, so ist keine Schädigung zu erwarten. Bei der photochemischen Wirkung kann jedoch bereits die Absorption eines einzigen Photons zu Schädigungen auf molekularer Ebene führen. Diese Veränderungen sind kumulativ.

#### Gefährdungen des Auges

Schäden der Retina sind besonders schwerwiegend und können zu erheblichen Beeinträchtigungen des Sehvermögens führen. Im Hinblick auf eine potenzielle Netzhautschädigung muss berücksichtigt werden, dass auch IRA-Strahlung bis  $1400 \text{ nm}$  von der Augenlinse auf die Netzhaut abgebildet wird. Obwohl sie nicht wahrgenommen wird, da keine entsprechenden Rezeptoren vorhanden sind, kann sie dort Schädigungen hervorrufen. Thermische Netzhautschädigungen sind irreversibel und werden hauptsächlich durch Laserstrahlung verursacht.

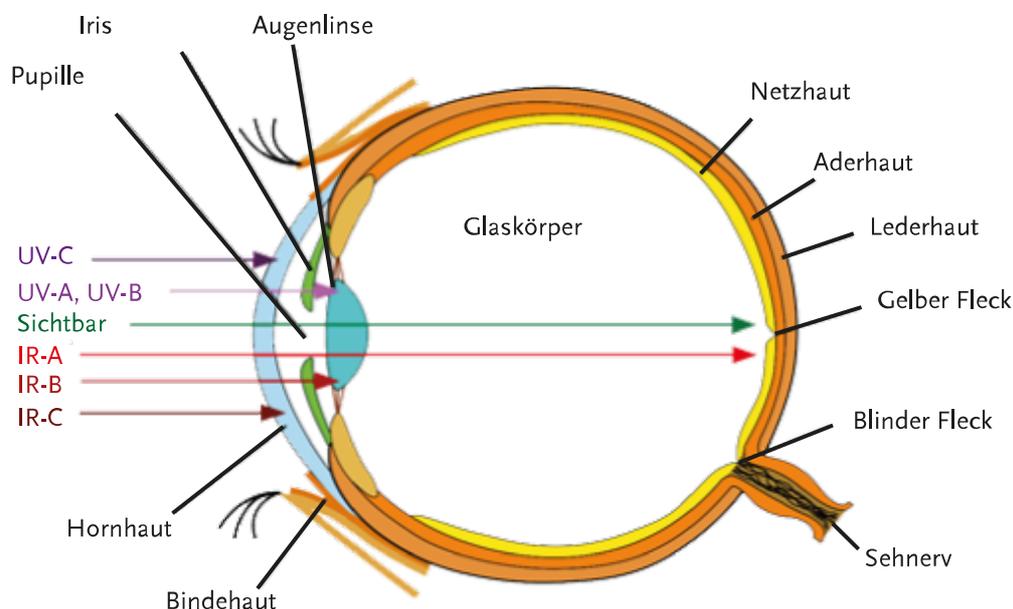


Abb. 6.4-2 Schematischer Aufbau des menschlichen Auges. Die Pfeillänge gibt die Eindringtiefe der verschiedenen Spektralbereiche wieder.

UV- sowie IR-B- und IR-C-Strahlung wird überwiegend durch Wasser in den vorderen Augenmedien (Hornhaut und Linse) absorbiert. UV-Strahlung kann photochemische Reaktionen auslösen, die zu sehr schmerzhaften Entzündungen der Hornhaut (Photokeratitis) und/oder der Bindehaut (Photokonjunktivitis) führen. Dabei werden die äußeren Zellen zerstört und nach etwa vier bis zwölf Stunden treten starke Augenschmerzen auf. Diese Schädigung ist jedoch reversibel.

Wiederholte Einwirkung von UV-Strahlung auch mit Intensitäten, die unterhalb derjenigen liegen, die zu einer akuten Horn- bzw. Bindehautentzündung führen, kann langfristig eine irreversible Linsentrübung (Katarakt) verursachen. Hierbei handelt es sich um einen Prozess, dessen Wirkung über einen längeren Zeitraum, meist Jahrzehnte, kumuliert. IR-Strahlung kann ebenfalls zu einer Linsentrübung führen.

Blendung ist eine indirekte Wirkung optischer Strahlung und kann das Sehen derart beeinträchtigen, dass es z. B. zu Unfällen bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten etwa im Straßenverkehr oder an Maschinen kommt. Die Blendungsbeeinträchtigung kann dabei je nach Einwirkung auch für längere Zeiträume auftreten.

### Gefährdungen der Haut

Aufgrund der wellenlängenabhängigen Eindringtiefe optischer Strahlung sind verschiedene Hautschichten unterschiedlich stark betroffen. UV- und langwellige IR-Strahlung werden größtenteils von der Epidermis absorbiert, wohingegen UV-A-, sichtbare und IR-A-Strahlung tiefer eindringen können.

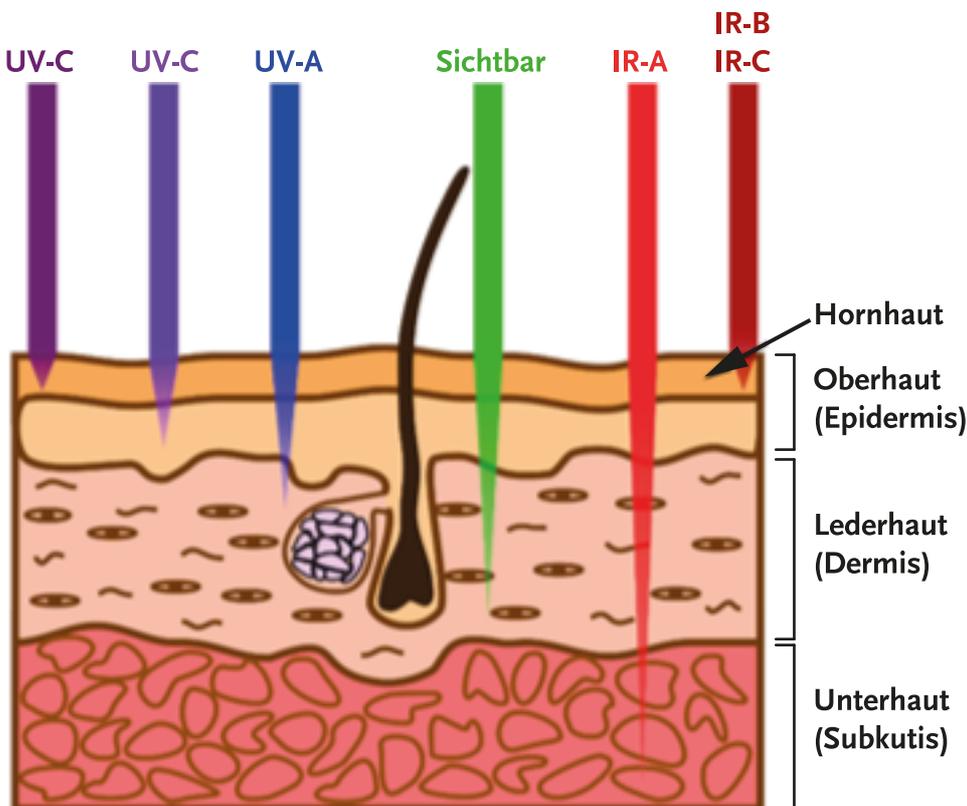


Abb. 6.4-3 Schematischer Hautquerschnitt mit wellenlängenabhängiger Eindringtiefe, visualisiert durch die unterschiedlichen Pfeillängen.

Die Bildung eines Erythems (Hautrötung, Sonnenbrand) entsteht vorwiegend durch UV-B-Strahlung. Eine chronische UV-Exposition, insbesondere gegenüber UV-A-Strahlung, kann zu einer vorzeitigen Hautalterung führen, die durch eine faltige Lederhaut charakterisiert ist. Hautkarzinome (Basaliom, Spinaliom, malignes Melanom) sind die schwerwiegendste Langzeitfolge übermäßiger UV-Expositionen.

Bei Einwirkung intensiver IR-Strahlung kann es zur Verbrennung kommen. Bei lang andauernder Hautbestrahlung

spielen sowohl Wärmeleitung als auch die Wärmeabfuhr durch das Blut eine Rolle. Aufgrund der Durchblutung des Gewebes und der damit verbundenen Wärmeabfuhr wird die Temperaturerhöhung begrenzt.

Laserstrahlung ist kohärent und wird für den jeweiligen Anwendungszweck meist stark gebündelt. Im Vergleich zu IOS liegt kein grundlegend unterschiedliches Schädigungspotenzial vor, aufgrund der guten Fokussierbarkeit können jedoch deutlich höhere Bestrahlungsstärken oder Strahldichten und damit viel größere Gefährdungspotenziale entstehen. Dieses betrifft in besonderem Maße auch die Gefährdung durch Blendung. Bei gepulster Laserstrahlung kann darüber hinaus die Energiedeposition im Gewebe innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde extrem hoch sein.

## 6.4.2 Ermittlung und Beurteilung

### Gesetzlicher Rahmen

Mit der 2010 in Kraft getretenen "Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV)" wurde die EU-Richtlinie 2006/25/EG "über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung)" in nationales Recht umgesetzt und bildet gemeinsam mit dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) den Rechtsrahmen. Eine zentrale Forderung der OStrV ist die Ermittlung und Bewertung der Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung am Arbeitsplatz. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 ArbSchG hat der Arbeitgeber zunächst festzustellen, ob Beschäftigte am Arbeitsplatz optischer Strahlung aus künstlichen Quellen ausgesetzt sind bzw. sein können. Ist dies der Fall, hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen und ggf. Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Allgemeinbeleuchtung (z. B. Deckenleuchten) oder Schreibtischlampen stellen im Sinne der OStrV typischerweise keine Gefährdung dar, sind jedoch anderweitig zu beurteilen (siehe [Beleuchtung/Licht](#)).

Um die Anwendung der OStrV in der betrieblichen Praxis zu unterstützen, wurden Technische Regeln erarbeitet, die die Vermutungswirkung auslösen und somit Rechtssicherheit für Anwender bieten. Andere Lösungen sind möglich, müssen aber nachweislich mindestens den gleichen Schutz für die Beschäftigten erreichen. Die Technischen Regeln für inkohärente optische Strahlung aus künstlichen Quellen (TROS IOS) und die TROS Laserstrahlung konkretisieren insbesondere die Festlegungen zur Gefährdungsbeurteilung, zur Messung und Berechnung sowie für entsprechende Schutzmaßnahmen.

### TROS Teil Allgemeines

Der Teil Allgemeines erläutert den Anwendungsbereich der OStrV und enthält die wesentlichen Begriffe, die bei der Umsetzung der OStrV hinsichtlich IOS und Laserstrahlung relevant sind, sowie Angaben zu tatsächlichen oder möglichen Gefährdungen der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten. Anforderungen und Aufgaben von Laserschutzbeauftragten (LSB) sowie Anforderungen an entsprechende Ausbildungskurse werden ebenfalls aufgeführt.

### TROS Teil 1, Beurteilung der Gefährdung

Hier werden das Vorgehen bei der Beurteilung von Gefährdungen durch Expositionen gegenüber IOS und Laserstrahlung nach § 3 OStrV behandelt. Sie konkretisiert die Vorgaben der OStrV innerhalb des durch § 5 und § 6 ArbSchG vorgegebenen Rahmens.

### TROS Teil 2, Messungen und Berechnungen von Expositionen

Das Vorgehen bei der Planung, der Beauftragung, der Durchführung und Auswertung von Messungen und Berechnungen zu Expositionen am Arbeitsplatz nach dem Stand der Technik und der Vergleich der Messergebnisse mit Expositionsgrenzwerten (EGW), die im Anhang enthalten sind, wird im zweiten Teil konkretisiert. Ein schematischer Überblick über eine mögliche Messstrategie ist in Tabelle 6.3-2 gegeben.

### TROS Teil 3

Im dritten Teil der TROS zu IOS und zu Laserstrahlung, wird das Vorgehen bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik beschrieben, wie es in der OStrV gefordert wird. Die Dokumentation der anzuwendenden Schutzmaßnahmen ist ebenso Teil der Gefährdungsbeurteilung wie die regelmäßige Überprüfung der Wirksamkeit abgeleiteter Maßnahmen.

**Tab. 6.4-2** Exemplarische Vorgehensweise zur Bestimmung von für die Gefährdungsbeurteilung relevanten Strahlungsgrößen.

Messstrategie	
Zielsetzung	Abschätzung der Exposition Vorprüfung EGW-Einhaltung detaillierte Analyse
Expositionsbedingungen	Angaben zur Strahlungsquelle Analyse der Arbeitsaufgabe (Aufenthaltsorte und Expositionsdauern) Schädigungsmöglichkeiten Auswahl des oder der zutreffenden EGW Persönliche Schutzausrüstung
Durchführung	An EGW angepasste Auswahl der Messgeräte und Messverfahren (spektral und/oder integral) verschiedene Messorte und/oder Messrichtungen technische Kenntnisse der Messverfahren und -parameter
Analyse und Beurteilung	Bestimmung oder Berechnung relevanter Strahlungsgrößen, Wichtung mit Aktionsspektren Vergleich von Messwerten mit EGW Ableitung maximal zulässiger Expositionsdauern Schutzmaßnahmen ableiten und festlegen
Protokoll	Messprotokoll erstellen Ergebnisse festhalten Gefährdungsbeurteilung dokumentieren Wiederholungsmessungen terminieren

### Normative Konzepte - Laserklassen und Risikogruppen

Neben dem gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerk gilt für die Sicherheit von Laserprodukten auch die nach der europäischen Niederspannungsrichtlinie harmonisierte Norm DIN EN 60825-1. Worst-Case-Betrachtungen innerhalb entsprechender Sicherheitskonzepte führen zu einem System von Laserklassen, das auch bei der Gefährdungsbeurteilung und der Festlegung von Schutzmaßnahmen eine wichtige Rolle spielt. Dadurch lassen sich Messungen oder Berechnungen auf ein Mindestmaß reduzieren. Nach DIN EN 60825-1 sind Laser in die Klassen 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B und 4 (höchste Klasse) eingeteilt. Grundsätzlich nimmt die Leistungsdichte mit steigender Laserklasse zu, wobei dies für die "neue" 2015er Klasse 1 nicht mehr ausnahmslos zutrifft. Die Bezeichnung der Laserklasse 3B ist historisch bedingt, das "M" leitet sich von "magnifying optical viewing instruments" (vergrößernde optische Sehinstrumente) ab, "R" steht für reduzierte Anforderungen und "C" bezieht sich auf die Notwendigkeit von "Hautkontakt" des Lasergerätes.

Die DIN EN 50689 "Sicherheit von Laserprodukten - Besondere Anforderungen an Verbraucher-Laserprodukte" beschreibt zur DIN EN 60825-1 zusätzliche Festlegungen an Verbraucherprodukte, die Laser enthalten und für den nicht-professionellen Gebrauch vorgesehen sind.

Inkohärente optische Strahlungsquellen wie Lampen oder Lampensysteme werden nach DIN EN 62471 in die Risikogruppen RGo (freie Gruppe), RG1, RG2 und RG3 eingeteilt. Je höher die Gruppe, desto höher ist die potenzielle

Gefährdung, die von der Quelle ausgehen kann. Allgemeinbeleuchtung wie etwa Schreibtischlampen oder Deckenbeleuchtung ist fast ausnahmslos in RGo, d. h., es geht keine photobiologische Gefahr davon aus. Hochleistungscheinwerfer z. B. für Bühnen oder auch zur Baustellenbeleuchtung können dagegen sehr schnell in RG<sub>3</sub> einzuordnen sein und selbst ein kurzzeitiger Blick in die Lampe stellt ein hohes Risiko für die Augengesundheit dar.

### UV-Index

Die geschätzt mehreren Millionen Beschäftigten im Freien sind einer im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung deutlich höheren solaren UV-Dosis ausgesetzt. Ein hilfreiches Werkzeug zur Abschätzung ihrer Risiken durch Sonnenstrahlung ist der UV-Index (UVI). Hierbei wird die spektrale solare Bestrahlungsstärke,  $E(\lambda)$ , mit dem CIE-Erythem-Wirkungsspektrum,  $S_{er}(\lambda)$ , im UV-Wellenlängenbereich zwischen 250 und 400 nm mathematisch gefaltet. Zur einfacheren Darstellung wird der Integralwert mit dem Skalierungsfaktor  $40 \text{ m}^2\text{W}^{-1}$  multipliziert und die so berechneten Werte immer ganzzahlig dargestellt. Damit ist der UVI ein Indikator für die Erythem-Wirksamkeit solarer UV-Strahlung.

$$UVI = I_{uv} = k_{er} \int_{250\text{nm}}^{400\text{nm}} E(\lambda) S_{er}(\lambda) d\lambda = k_{er} E_{er}$$

Formel zur Ermittlung des UV-Index

Der UV-Index wird u. a. vom Bundesamt für Strahlenschutz auf ihren Internetseiten für mehrere Orte in Deutschland veröffentlicht.

### 6.4.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle

#### Einsatz sicherer Arbeitsmittel

Arbeitgeber dürfen nur solche Arbeitsmittel zur Verfügung stellen und verwenden lassen, die unter Berücksichtigung der vorgesehenen Einsatzbedingungen sicher sind. Dazu müssen Arbeitsmittel die Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der entsprechenden Richtlinien wie beispielsweise der europäischen Regelungen nach Maschinenrichtlinie, Niederspannungsrichtlinie sowie deren nationale Umsetzungen erfüllen und auch über die erforderlichen sicherheitsrelevanten Ausrüstungen verfügen. Arbeitgeber sollen bei der Beschaffung von Arbeitsmitteln darauf achten, dass diese nach europäisch-harmonisierten Produktsicherheitsnormen entwickelt und gebaut wurden.

Im Bereich der Normung wird die Emission von Strahlungsquellen beschrieben und Emissionsgrenzwerte für Bestrahlungsstärke und Strahldichte sind definiert. Für die Gefährdungsbeurteilung an Arbeitsplätzen, die Quellen optischer Strahlung enthalten, können Herstellerangaben z. B. zu Bestrahlungs- oder Beleuchtungsstärken herangezogen werden. Hierbei ist zu überprüfen, ob die der Norm zugrunde liegenden Bedingungen für die Risikobeurteilung auf die Arbeitsbedingungen übertragen werden können.

Produkte dürfen gemäß Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) grundsätzlich nur auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn sie nach allgemein anerkannten "Regeln der Technik" so beschaffen sind, dass Benutzer oder Dritte bei ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung vor Gefahren aller Art für Leben und Gesundheit geschützt sind.

#### Laserschutzbeauftragter und fachkundige Person

In den TROS Laserstrahlung, Teil Allgemeines, Kapitel 5.1 wird auf die Anforderungen und Aufgaben des Laserschutzbeauftragten eingegangen. Im Absatz 4 heißt es:

"An Arbeitsplätzen mit Laser-Einrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 unterstützt der LSB durch seine Fachkenntnisse den Arbeitgeber bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung sowie bei der Festlegung und Durchführung von Schutzmaßnahmen. Der LSB unterstützt den Arbeitgeber bei der Überwachung des sicheren Betriebs der in seinem Zuständigkeitsbereich vorhandenen Laser-Einrichtungen durch regelmäßige Kontrollen der Schutzmaßnahmen. Art, Umfang und Häufigkeit der Kontrollen sowie die eventuelle Notwendigkeit einer dauerhaften Anwesenheit legt der Arbeitgeber in Abstimmung mit dem LSB in Abhängigkeit vom Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung fest. Stellt der LSB Abweichungen vom sicheren Betrieb fest, hat er den Arbeitgeber zu informieren und auf die Durchsetzung der erforderlichen Maßnahmen zum sicheren Betrieb hinzuwirken. Bei unmittelbarer Gefahr ist gemäß § 9 Absatz 2 Satz 2 ArbSchG zu handeln."

Die OStV definiert in § 5 Absatz 10, dass "Fachkundig ist, wer über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Ausübung einer in dieser Verordnung bestimmten Aufgabe verfügt. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung jeweils in Verbindung mit einer zeitnah ausgeübten einschlägigen beruflichen Tätigkeit sowie die Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen."

Nur eine fachkundige Person darf eine Gefährdungsbeurteilung durchführen.

#### Solare UV-Strahlung

Für Arbeitgeber mit Beschäftigten im Freien bestehen einige zu beachtende nationale gesetzliche Regelungen im Hinblick auf solare UV-Strahlung:

- ArbSchG: § 4 Allgemeine Grundsätze, § 5 Beurteilung der Arbeitsbedingungen, § 11 Arbeitsmedizinische Vorsorge und § 12 Unterweisung,
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV): § 3 Gefährdungsbeurteilung, § 6 Unterweisung der Beschäftigten sowie Anhang 5.1 Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien,
- BG-Vorschrift Unfallverhütungsvorschrift Grundsätze der Prävention (BGV A1): § 23 Maßnahmen gegen Einflüsse des Wettergeschehens.

Basierend auf diesem Regelwerk hat der Arbeitgeber die Verpflichtung, eine Gefährdungsbeurteilung (Expositionsermittlung und Bewertung) für Arbeiten im Freien durchzuführen. Dies geschieht durch eine fachkundige Person, die anschließend, basierend auf der Gefährdungsbeurteilung, erforderliche Schutzmaßnahmen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit ableitet und deren Anwendung auf Wirksamkeit überprüft. Außerdem müssen die Beschäftigten entsprechend unterwiesen werden, wozu auch der Hinweis auf die arbeitsmedizinische Vor-

sorge (ArbMedVV) bzw. den Arbeitsmedizinischen Regeln (AMR) gehört. In der AMR 13.3 "Tätigkeiten im Freien mit intensiver Belastung durch natürliche UV-Strahlung von regelmäßig einer Stunde oder mehr je Tag" werden u. a. Kriterien festgelegt, ab wann Arbeitgeber für Beschäftigte eine Angebotsvorsorge ermöglichen müssen.

Zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung solar UV-exponierter Arbeitsplätze kann der UV-Index ein unterstützendes Hilfsmittel sein. Bei einem UVI  $\leq 2$  ist die Sonnenbrandgefahr niedrig, bei UVI = 3, 4 und 5 mittel, bei UVI-Werten von 6 und 7 hoch bzw. bei 8, 9 und 10 sehr hoch und bei UVI  $\geq 11$  spricht man von einem extremen Erythemrisiko. Mit dem jeweiligen UVI verknüpfte exemplarische Schutzmaßnahmen sind in Abbildung 6.4-4 zugeordnet. Es gilt zu beachten, dass für bestimmte vulnerable Gruppen bereits bei einem UV-Index von 1 oder 2 eine Erythemrisiko besteht.

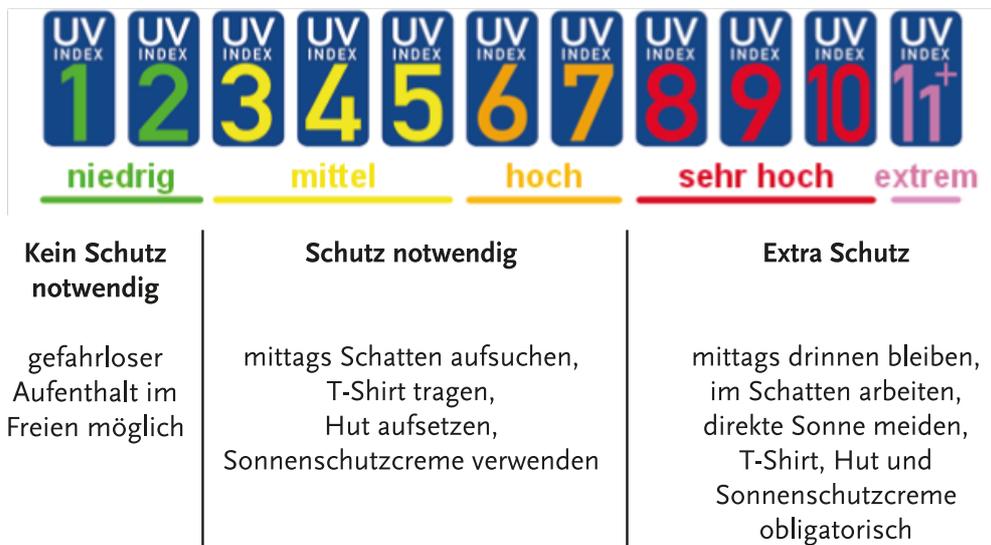


Abb. 6.4-4 UV-Index-Stufen mit zugehörigen grundlegenden Schutzmaßnahmen (BAUER 2018)

Zur Abschätzung des tendenziellen Erythemrisikos in Deutschland kann nachfolgender UVI-Kalender (vgl. Tab. 6.4-3) verwendet werden.

Tab. 6.4-3 UVI-Jahreskalender für Deutschland (OTT 2016)

Zeitraum	Uhrzeit	UVI	Witterung	Gefährdung	
Anfang Mitte	Januar - März	ganztägig	< 3	selbst bei Sonne	niedrig
Mitte	März- April	9:30 bis 16:30 Uhr	$\geq 3$	bei Sonne	mittel
Mitte	April - September	10:30 bis 15:30 Uhr	> 5	bei Sonne	hoch
Mitte	September - Oktober	9:30 bis 16:30 Uhr	$\geq 3$	bei Sonne	mittel
Mitte Ende	Oktober - Dezember	ganztägig	< 3	selbst bei Sonne	niedrig

### Lichtbogenschweißen

Die beim Lichtbogenschweißen auftretende UV-Strahlung ist gefährlich und ohne geeignete Schutzmaßnahmen können verblitzte Augen und gerötete Haut auftreten. Neben den Schweißenden selbst sind vor allem ihre Helfer und Beschäftigte an benachbarten Arbeitsplätzen oder auf Betriebswegen zu schützen. Besteht keine Möglichkeit,

eine Gefährdungsbeurteilung von Schweißarbeitsplätzen und ihrer Umgebung nach dem Stand der Technik durch eigene betriebliche Messungen durchzuführen, kann die Drehscheibe Lichtbogenschweißen helfen, mit der ein einfaches und wirkungsvolles Instrument zur Bewertung von Gefährdungen durch UV-Strahlung beim Schweißen vorliegt. Nach Festlegen des Schweißverfahrens und Einstellen der Schweißbedingungen (Material und Prozessvariante) wird durch Drehen des oberen Teils der Drehscheibe einer von vier Schweißstromstärkebereichen ausgewählt. Die maximal zulässigen Expositionsdauern für UV-Strahlung können dann sofort für Abstände von 1 m und 3 m zum Lichtbogen abgelesen werden und sind mit einer dreistufigen Farbskala, welche das Gefährdungspotenzial wiedergibt, hinterlegt (BAUER 2017).



Abb. 6.4-5 Drehscheibe Lichtbogenschweißen

## 6.4.4 Vorschriften, Regelwerke, Literatur

### Gesetze, Verordnungen und EU-Richtlinien

[www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de); <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

- ArbSchG: Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit
- ProdSG: Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt
- ArbMedVV: Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge
- ArbStättV: Verordnung über Arbeitsstätten
- OStrV: Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV)
- 2006/25/EG, Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)
- 2014/59/EU, Beschluss der EU-Kommission 2014/59/EU vom 5. Februar 2014 über Sicherheitsanforderungen, denen europäische Normen für Lasereinrichtungen für Verbraucher gemäß der Richtlinie 2001/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates genügen müssen

### Technisches Regelwerk zu den Arbeitsschutzverordnungen

[www.baua.de](http://www.baua.de)

- AMR 13.3: Tätigkeiten im Freien mit intensiver Belastung durch natürliche UV-Strahlung von regelmäßig einer Stunde oder mehr je Tag
- TROS IOS: Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung. TROS Inkohärente Optische Strahlung
- TROS Laserstrahlung: Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung. TROS Laserstrahlung

### DGUV Vorschriften, Regeln und Informationen

- DGUV Publikationen zu Nichtionisierender Strahlung
- DGUV Information 203-085: Arbeiten unter der Sonne, 2016
- DGUV Information 203-042: Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, 2018
- DGUV Grundsatz 303-005: Ausbildung und Fortbildung von Laserschutzbeauftragten sowie Fortbildung von fachkundigen Personen zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung nach OStrV bei Laseranwendungen, 2018
- DGUV Information 203-093: Handlungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung beim Betrieb von offenen Laser-Einrichtungen zur Materialbearbeitung mit Handführung oder Handpositionierung (HLC), 2019

### Normen und Veröffentlichungen von Verbänden

[www.beuth.de](http://www.beuth.de)

- DIN EN 12198-1: Sicherheit von Maschinen - Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung - Teil 1: Allgemeine Leitsätze
- DIN EN 14255: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung (Normenreihe)
- DIN EN 60825-1: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen
- DIN EN 62471: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen
- DIN EN 50689: Sicherheit von Laserprodukten - Besondere Anforderungen an Verbraucher-Laserprodukte
- DIN/TS 67506: Entkeimung von Raumluft mit UV-Strahlung - UV-C-Sekundärluftgeräte

### Fachverband für Strahlenschutz e. V., Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung (AKNIR)

#### Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung (AKNIR)

- Leitfaden "Sonnenstrahlung", 2012
- Leitfaden "Inkohärente sichtbare und infrarote Strahlung von künstlichen Quellen". 2018
- Leitfaden "Inkohärente ultraviolette Strahlung von künstlichen Quellen", 2018

- Leitfaden "Laserstrahlung", 2019

### Ergänzende Informationen

- (BAUER 2017) [Bauer, S.: Einfach sicher schweißen – UV-Strahlungsbelastung beim Schweißen neu bewertet. baa: Aktuell 3/2017](#)
- (BAUER 2018) Bauer, S; Ott, G; Knuschke, P.: Gefährdungsbeurteilung solar UV-exponierter Arbeitsplätze - eine Handlungshilfe. In: 25. Erfurter Tage, Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen, S. 132-138, 2018
- (BMAS 2013) Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit "Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung". Gemeinsames Ministerialblatt 35, 671-693, 2013
- (IARC 2012) International Agency for Research on Cancer (IARC): Solar and Ultraviolet Radiation. In: Radiation - A Review of Human Carcinogens: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2012; 100 D:35-101. ISBN: 978-92-832-1321-5
- Memocard UV-Index (UVI) und anzuwendende Schutzmaßnahmen
- (OTT 2016) [Ott, G.; Janßen, W.; Knuschke, P.: Schutz vor solarer UV-Strahlung - Eine Auswahl von Präventionsmaßnahmen. baa: Fokus 2016](#)
- (RKI 2016) Zentrum für Krebsregisterdaten im Robert Koch-Institut: Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland 2016. 269 Seiten

## 6.4.5 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter

### (Unvollständige) Prüfliste

- Unterweisung erhalten?
- Betrieb gemäß herstellereitiger Betriebsanweisung?
- sicherheitstechnische Überprüfung vorhanden?
- Arbeitsanweisung, die zur Exposition führt?
- Reduzierung der Expositionsdauer möglich?
- Schutzmaßnahmen vorhanden?
- Gefahrenbereich gekennzeichnet?
- Gefährdungsbeurteilung durchgeführt und dokumentiert?
- arbeitsmedizinische Vorsorge verpflichtend oder möglich?

### Exemplarisches Messprotokoll

- Bearbeiter: Name, Ort, Datum, Uhrzeit
- Betreiber der Anlage: Name
- Anlage/Gerät/Quelle: Hersteller, Baujahr, Inventarnummer, Leistung, Typ, Zustand, Betriebsart, Einhausung, optische Komponenten, Standort, Emissionsdaten, Spektrum, ggf. vorhandene Gefährdungsbeurteilung
- Arbeitsablauf: typische und kritische Aufenthaltsorte, effektive Expositionsdauer, Kontroll- und Wartungsarbeiten
- verwendete Messgeräte: Typ, Seriennummer, Kalibrierung, Messgröße(n)
- Messorte (Position und Abstand zur Quelle)
- Messwerte: Bestrahlungsstärke, Strahldichte, Wichtung, Durchschnitts- oder Maximalwerte, Momentaufnahmen, zeitliche oder örtliche Schwankungen
- Messunsicherheit (Geräte, Mittelwert, Standardabweichung)
- Vergleich von Messwerten mit EGW
- Bestimmung der maximal zulässigen Expositionsdauern
- zusammenfassende Darstellung der Gefährdungssituation
- Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen nach dem STOP-Prinzip
- Datum und Unterschrift

## 6.4.6 Autoren, Ansprechpartner und Anlagen

### Autoren:

- Dr. rer. nat. Stefan Bauer  
Fachgruppe 2.2 "Physikalische Faktoren"
- Dr. rer. nat. Ljiljana Udovicic  
Fachgruppe 2.2 "Physikalische Faktoren"
- Dipl.-Ing. (FH) Günter Ott

### Ansprechpartner:

- Dr. rer. nat. Stefan Bauer  
Fachgruppe 2.2 "Physikalische Faktoren"

### Kontakt

### Anlagen

- Anlage 1: Messstrategie zur Messung optischer Strahlung
- Anlage 2: Messprotokoll zur Messung optischer Strahlung

## ANLAGE 1

### Messstrategie zur Messung optischer Strahlung

- Zielsetzung der Messung festlegen, z. B.:
  - Überwachung der Expositionsgrenzwerteinhalten an einem Arbeitsplatz
- Ermittlung der Expositionsbedingungen, z. B.:
  - Welche Angaben liegen über die Strahlungsquelle vor?
  - Aufenthaltsorte und Expositionszeiten während der Arbeitsschicht
  - Schädigungsmöglichkeiten, Expositionsgrenzwerte
  - Persönliche Schutzausrüstung
- Planung
  - Auf Grundlage der Zielsetzung und der Messbedingungen sind die Durchführung der Messung und das einzusetzende Messgerät festzulegen.
- Auswahl des Messverfahrens
  - Spektralverfahren
  - Integralverfahren
  - Personendosimeter
- Durchführung der Messung unter Berücksichtigung z. B. folgender Punkte:
  - Messort bzw. Messorte
  - Messrichtung
  - Messdauer, Mittelungsdauer
- Auswertung der Messergebnisse, z. B. Bestimmung der effektiven Bestrahlungsstärke
- Bewertung Vergleich Messwerte-Expositionsgrenzwerte
- Festlegen, wann Wiederholungsmessungen notwendig sind, z. B. bei Veränderung der Expositionsbedingungen
- Messprotokoll erstellen

In Anlehnung an Siekmann, H.: Messung und Beurteilung optischer Strahlung – Handlungsbedarf, Tagungsband Nichtionisierende Strahlung, Band I. Köln: TÜV-Verlag GmbH 1999, S. 513–526; ISBN 3-8249-0559-0

## ANLAGE 2

### Messprotokoll zur Messung optischer Strahlung

#### 1. Allgemeine Angaben

Betreiber:	
Anschrift:	
Ort, Datum, Uhrzeit:	
Bearbeiter:	
Bemessene Anlage/Gerät:	
Standort:	
Hersteller und Baujahr:	
Inventarnummer:	
Angaben zur Strahlungsquelle:	
Hersteller:	
Leistung:	
Typ:	
Emissionsdaten:	
Betriebsart:	
Spektrum bekannt?	
Einhausung:	
Optische Komponenten:	
Arbeitsablauf (typische und kritische Aufenthaltsorte, effektive Expositionsdauer, Kontroll- und Wartungstätigkeiten):	

## 2. Messungen

- Verwendete Messgeräte:

Typ:	
Seriennummer:	
Messaufnehmer:	
Kalibrierung:	

- Messorte und Messpunkte (Beschreibung, Lageplan oder -skizze)
- Messwerte (Bestrahlungsstärke, Durchschnitts- und Maximalwerte)
- Besonderheiten (Einfluss weiterer optischer Strahlungsquellen, örtliche und zeitliche Varianz der Werte)
- Angaben zur Messunsicherheit

## 3. Expositionsgrenzwerte

- Expositionsgrenzwertsituation (Rechtsvorschriften, Richtlinien, Normen)
- Expositionsgrenzwerte für die maximal zulässige Expositionsdauer

## 4. Auswertung

- Vergleich der Messwerte mit den Expositionsgrenzwerten für die maximal zulässige Bestrahlung
- Ermittlung der maximal zulässigen Expositionsdauer
- Zusammenfassende Darstellung der Gefährdungssituation

## 5. Empfehlungen für Schutzmaßnahmen

- Technische Gestaltungsmaßnahmen
- Organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. Festlegung von Aufenthaltszeiten, Warnhinweise, Einweisung und Unterweisung)
- Persönliche Schutzmaßnahmen

## Datum/Unterschrift

In Anlehnung an Knuschke, P.: UV-Expositionen durch künstliche Strahlungsquellen in Arbeitsbereichen, Tagungsband Nichtionisierende Strahlung, Band I. Köln: TÜV-Verlag GmbH 1999, S. 493–504

## 6.5 Elektromagnetische Felder

Als Teil des elektromagnetischen Spektrums umfassen elektromagnetische Felder (EMF) den Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz. EMF gehören zur nicht ionisierenden Strahlung, da ihre Quantenenergie mit ca. 0,0013 eV (Elektronenvolt) nicht ausreicht, um Moleküle zu dissoziieren oder ionisieren (z. B. Bindungsenergie von Wasserstoffbrückenbindungen ca. 5 eV). In diesen Frequenzbereich fallen

- statische elektrische und statische magnetische Felder bei 0 Hz,
- niederfrequente EMF bis 10 MHz (zeitveränderliche elektrische und zeitveränderliche magnetische Felder) sowie
- hochfrequente EMF von 100 kHz bis 300 GHz.

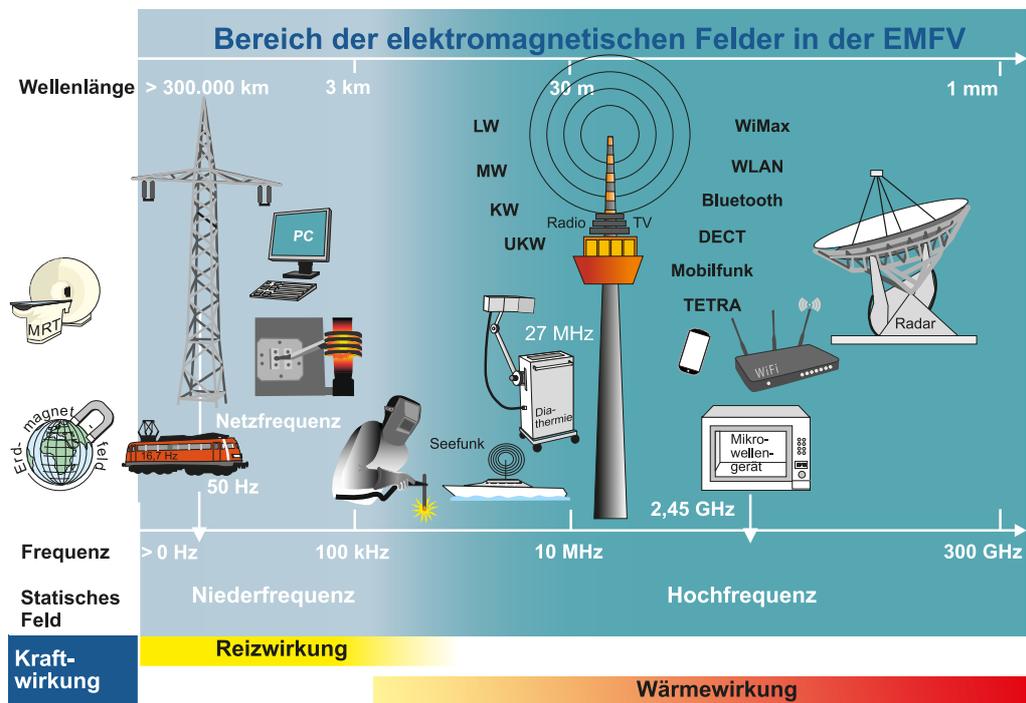


Abb. 6.5-1 Wellenlängen, Frequenzen, Anwendungen und Wirkungen von EMF von 0 Hz bis 300 GHz

Eine Beschreibung mittels dieser Frequenzbereiche ist aufgrund der frequenzabhängigen Wechselwirkungen mit Materie (Eigenschaften wie elektrische, dielektrische bzw. magnetische Leitfähigkeit) notwendig. Daraus resultieren Unterschiede bei z. B. biologischen Wirkungen, Anforderungen an Mess- und Berechnungsverfahren oder ggf. durchzuführender Schutzmaßnahmen. Die Grenzen zwischen diesen Frequenzbereichen verlaufen jedoch nicht trennscharf; siehe Abb. 6.5-1. So wird zwischen 100 kHz und 10 MHz ein Übergangsbereich definiert, in dem sich die biologischen Wirkungen nieder- und hochfrequenter EMF überlagern.

Folgende biologische Wirkungen von EMF, auch als direkte Wirkungen bezeichnet, sind international wissenschaftlich anerkannt:

- Kraftwirkungen in starken statischen Magnetfeldern auf geladene/bewegte Teilchen im Körper,
- kurzzeitige nicht thermische Wirkungen (Reizwirkungen) auf Nerven, Muskeln, Sinneszellen in niederfrequenten EMF:
  - metallischer Geschmack bei  $f < 1$  Hz,
  - Schwindel oder Übelkeit durch schnelle Bewegung in statischen Magnetfeldern (wirksame Frequenz  $f < 2$  Hz),
  - Magnetophosphene (Lichtblitze), max. Empfindlichkeit bei  $f = 20$  Hz,
  - Stimulation von Muskeln und peripheren Nerven, max. Empfindlichkeit bei  $f = 50$  Hz,
- thermische Wirkungen (Wärmewirkungen) durch Absorption im Gewebe in hochfrequenten EMF,
- in Gliedmaßen induzierte Körperströme in hochfrequenten EMF (100 kHz bis 110 MHz) und
- Mikrowellenhören in hochfrequenten EMF (300 MHz bis 6 GHz).

Über direkte Wirkungen hinaus können EMF folgende indirekte Wirkungen bedingen:

- auf medizinische Vorrichtungen und Geräte wie Implantate,
- Kontaktströme, z. B. durch Kontakt mit ungeerdeten Gegenständen,
- Kraftwirkungen auf ferromagnetische Gegenstände (Projektilwirkung),
- Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen,
- Auslösung von Bränden oder Explosionen

Hinweis: Die mögliche Auslösung von Bränden oder Explosionen aufgrund statischer Elektrizität (Funkenbildung) wird auch in [Abschnitt 2.2](#) und aufgrund hochfrequenter elektromagnetischer Felder (Energiedisposition) auch in [Abschnitt 3.4](#) behandelt.

Für EMF in der natürlichen Umwelt sind Blitze (statisches elektrisches Feld) und das Erdmagnetfeld (statisches magnetisches Feld) prominente Beispiele. Als technische Anwendungen sind EMF über alle Branchen an fast allen Arbeitsplätzen vorhanden, z. B.:

- Büro: WLAN, DECT (Digital Enhanced Cordless Communication), Dauermagnete etc. (Exposition weit unterhalb der Expositionsgrenzwerte)
- Energieversorgung: Energieerzeugung und -übertragung
- Handel: elektronische Artikelsicherung
- Industrie: Elektrowerkzeuge, Elektromotoren, Anlagen für induktive Erwärmung, Widerstands- und Plasmaschweißen, Galvanik, Hochfrequenz-Trocknung, Metallurgie, Halbleiterfertigung, kabellose Energieübertragung
- Kommunikation: Sprech-, Rund- und Mobilfunk, TETRA (BOS, ein Standard für ein behördlich genutztes Funk-system), Industrie 4.0
- Labore: Magnetresonanzspektroskopie, Mischung von Substanzen
- Medizin: Magnetresonanztomografie, Therapie mit transkranieller Magnetstimulation, Diathermie, Elektrochirurgie
- Radar: Luftfahrt, Schifffahrt, autonomes Fahren, Mensch-Roboter-Kollaboration
- Rettungskräfte: intelligente Schutzkleidung
- Verkehr: Elektromobilität, Straßen-, U- und S-Bahnen, Nah- und Fernverkehrszüge, Flugverkehr

Einen besonderen Stellenwert haben EMF im Zusammenhang mit dem Wandel der Arbeitswelt hin zu digitaler Arbeit. So ermöglichen EMF z. B. die bei digitaler Arbeit benötigte Ortsflexibilität, Informationsverfügbarkeit, -menge, -qualität und -übertragung. Damit verbunden wird die Anzahl von EMF-Quellen zunehmen. Jedoch bedeutet eine steigende Anzahl von EMF-Quellen nicht zwangsläufig auch eine höhere Exposition gegenüber EMF oder gar eine Zunahme möglicher Gefährdungen. Eine an die Bedarfe digitaler Arbeit angepasste Netzarchitektur kann, unter bestimmten Bedingungen, im Gegenteil sogar dazu führen, dass die EMF-Exposition sinkt.

Die fachkundige Bewertung der EMF-Exposition am Arbeitsplatz erfolgt auf Basis eines in der Europäischen Union einheitlichen Schutzkonzeptes aus der EMF-Richtlinie 2013/35/EU. Dieses wiederum basiert auf Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP). Die EMF-Richtlinie wurde durch die Arbeitsschutzverordnung zu EMF (EMFV) in nationales Recht überführt. Sie trat am 15.11.2016 in Kraft. Um die Anwendung der EMFV in der betrieblichen Praxis zu unterstützen, wurden Technische Regeln erarbeitet, die Vermutungswirkung auslösen und somit Rechtssicherheit für Anwender bieten. Andere Lösungen sind möglich, müssen aber nachweislich mindestens den gleichen Schutz für die Beschäftigten erreichen. Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu EMF (TREM) konkretisieren insbesondere die Festlegungen zur Gefährdungsbeurteilung, zur Messung und Berechnung sowie für entsprechende Schutzmaßnahmen.

Nach § 4 EMFV hat der Arbeitgeber sicherzustellen, dass die Beurteilung des Gefährdungsfaktors EMF fachkundig geplant und durchgeführt wird. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe, z. B. Durchführung einer vereinfachten Beurteilung, Messung von EMF, Berechnen von EMF oder Beurteilen eines Arbeitsplatzes für Implantatträger. Die allgemeinen Anforderungen an die Fachkunde in Bezug auf EMF sind in § 2 Absatz 8 EMFV festgelegt:

- entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung,
- jeweils in Verbindung mit einer zeitnah ausgeübten einschlägigen beruflichen Tätigkeit sowie
- Teilnahme an spezifischen Fortbildungen.

### 6.5.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen

Zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch direkte Wirkungen von EMF wird in der EMFV ein mehrstufiges Schutzkonzept eingeführt. Es umfasst Expositionsgrenzwerte (EGW) und Auslöseschwellen (ALS); siehe Abb. 6.5-2.

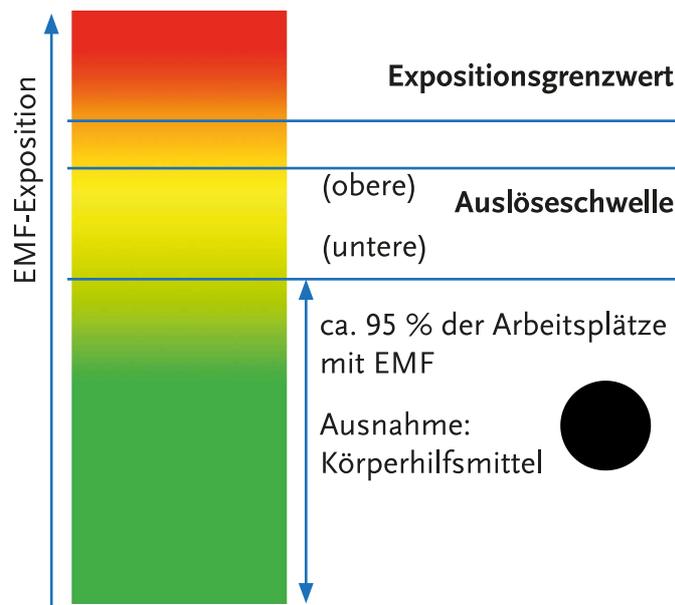


Abb.6.5-2: Allgemeine Übersicht über das Schutzkonzept der EMFV vor Gefährdungen durch direkte Wirkungen von EMF (Hinweis: überwiegende Zahl der Arbeitsplätze mit Expositionen gegenüber EMF liegen unterhalb der unteren Auslöseschwelle)

EGW sind maximal zulässige Werte und beziehen sich auf die Wirkungen von EMF auf den menschlichen Körper. EGW liegen aufgrund der Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren deutlich unterhalb der Schwellen für nachgewiesene sensorische oder gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen (nicht in Abb. 6.5-2 dargestellt). Die Einhaltung der EGW ist in der Regel nicht direkt am Arbeitsplatz nachweisbar und kann nur durch aufwendige Messungen an Körperphantomen oder Modellrechnungen nachgewiesen werden.

Um die Gefährdungen am Arbeitsplatz mit direkt messbaren physikalischen Größen bewerten zu können, werden aus den EGW unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors ALS konservativ abgeleitet. Das heißt, werden die ALS eingehalten, so werden die EGW auch bei ungünstigsten Expositionsbedingungen nicht überschritten. Um die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung zu vereinfachen, wurden mit dem Schutzkonzept obere und untere ALS für direkte nicht thermische Wirkungen eingeführt (siehe Abb. 6.5-2). Mit Einhaltung der unteren ALS werden direkte und indirekte Wirkungen von EMF, außer auf Implantate, ausgeschlossen. Im Frequenzbereich, in dem thermische Wirkungen auftreten, wird nur eine ALS verwendet.

#### TREMF Teil Allgemeines

Der Teil Allgemeines erläutert den Anwendungsbereich der EMFV und enthält die wesentlichen Begriffe und physikalischen Größen, die bei der Umsetzung der EMFV relevant sind. Ergänzend werden im Teil Allgemeines das Schutzkonzept und das Expositionszonenkonzept vorgestellt. Im Anhang zum Teil Allgemeines werden direkte und indirekte Wirkungen ausführlich erläutert.

#### Gefährdungen durch direkte Wirkungen von EMF

Bei EMF werden zwei Feldkomponenten (auch Arten genannt) unterschieden: elektrische und magnetische Felder.

Die Wirkung von EMF auf den Menschen ist abhängig von der Feldkomponente, dem Frequenzbereich, der Feldstärke und der zeitlichen Änderung der Feldstärke (Modulation).

*Statische elektrische Felder* sind in ihrer Wirkung auf die Körperoberfläche beschränkt (z. B. Bewegung von Körper-

haaren). *Statische magnetische Felder* können wegen ihrer Kraftwirkungen auf geladene Teilchen im menschlichen Körper zu elektrischen Feldern im Körpergewebe führen.

Der menschliche Körper ist ein relativ guter Leiter. *Niederfrequente elektrische Felder* erzeugen durch Ladungstrennung (Influenz) auf der Körperoberfläche Ströme innerhalb des Körpers. Bei Einwirkung niederfrequenter Magnetfelder, die das Körpergewebe ungehindert durchdringen, kann es durch die im Körper induzierten Ströme zu Reizungen von Muskeln und Nerven kommen. Diesen Wirkungen liegt ein Schwellenwertkonzept zu Grunde. Das bedeutet, dass erst bei Überschreiten dieses Schwellenwertes sich eine Wirkung einstellen kann. Der Schwellenwert lässt sich aus dem Lapicque'schen Gesetz zur Elektrostimulation [Lapicque, 1926] ableiten. Wird der Schwellenwert nicht überschritten (geringe Exposition), vermögen auch lange Reize (im Sinne langer Expositionsdauern) keine Stimulationswirkung auszulösen.

*Hochfrequente EMF* werden beim Eindringen in biologische Materie absorbiert, wobei Wärme entsteht. Bei ausreichend hoher Intensität kann es bei lokaler Einwirkung, z. B. auf das Auge, zu einer Temperaturerhöhung in der Augenlinse und bei langjähriger Einwirkung zur Entstehung eines Katarakts (Grauen Stars) kommen. Den direkten Wirkungen hochfrequenter EMF liegt ebenfalls ein Schwellenwertkonzept zu Grunde. Längere Ganzkörpereinwirkung mit EMF-Exposition oberhalb der EGW kann zur Erhöhung der Körperkerntemperatur von  $\Delta T > 1$  K mit möglichen Schädigungen führen.

Im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 110 MHz können hochfrequente Ströme durch Kontakt mit einem Gegenstand in einem EMF oder durch Induktion im menschlichen Körper hervorgerufen werden. Bei der Bewertung werden induzierte Ströme durch die Gliedmaßen betrachtet. Gliedmaßen weisen Stellen mit verhältnismäßig geringem Durchmesser auf, an denen die verschiedenen Gewebetypen (z. B. Haut, Knochen) eng aufeinanderliegen. Die im Körper induzierten Ströme können aufgrund der gewebetypischen Unterschiede in der Leitfähigkeit dazu führen, dass die zulässigen Werte zur Begrenzung der Wärmewirkung (spezifische Absorptionsrate, SAR) in den Gliedmaßen (besonders in Gelenken) überschritten werden. Das kann irreversible thermische Schädigungen hervorrufen.

Mit zunehmender Frequenz nehmen die für den Niederfrequenzbereich typischen Stimulationswirkungen immer mehr ab, während die für den im Hochfrequenzbereich charakteristischen Wärmewirkungen zunehmen. Diese Besonderheit ist kennzeichnend für den Übergangsbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz.

Dass EMF je nach Feldkomponenten, Frequenz, Modulation und Stärke eine unterschiedliche biologische Wirkung auf den menschlichen Körper haben, bedeutet nicht, dass jede messbare Veränderung eines Parameters auch eine relevante physiologische oder gesundheitsschädliche Auswirkung hat.

### Gefährdungen durch indirekte Wirkungen von EMF

Bei der Gefährdungsbeurteilung von EMF kommt der Betrachtung besonders schutzbedürftiger Beschäftigter eine besondere Bedeutung zu. Die Anzahl von Implantationen (alle Implantationsarten, Altersgruppe 18-65 Jahre) stieg im Zeitraum von 15 Jahren (2007-2021) um 32,3%, bezogen auf Herzschrittmacher und Defibrillatoren um 22,9% auf ca. 119.000 p.a., bezogen auf passive Implantate (Stents, (Endo-)prothesen) um 34,1% auf ca. 641.000 p.a. [DESTATIS 2022, eigene Auswertung].

Nach § 2 Absatz 7 EMFV gehören zu besonders schutzbedürftigen Beschäftigten insbesondere Beschäftigte mit:

- aktiven medizinischen Implantaten, insbesondere Herzschrittmachern,
- passiven medizinischen Implantaten,
- medizinischen Geräten, die am Körper getragen werden, insbesondere Insulinpumpen,
- sonstigen durch elektromagnetische Felder beeinflussbaren Fremdkörpern im Körper oder
- eingeschränkter Thermoregulation.

Aktive Implantate verfügen im Gegensatz zu passiven Implantaten über eine eigene Energieversorgung, wie z. B. eine Batterie.

EMF können medizinische Vorrichtungen oder Geräte, wie aktive Implantate (z. B. Herzschrittmacher (HSM) oder Defibrillatoren (IKD)), beeinflussen. Die Elektrodenkonfiguration stellt eine Antenne bzw. Induktionsschleife dar und damit eine Empfangseinrichtung für von außen einwirkende EMF. Als physikalische Prinzipien wirken:

- bei statischen Magnetfeldern Kraftwirkung auf ferromagnetische Bestandteile des Implantats,
- bei elektrischen Feldern Influenz (Ladungstrennung) auf der Körperoberfläche, die zu Körperströmen im Inneren des Körpers führen und
- bei magnetischen Feldern Induktion von Körperströmen.

Nutzt das aktive Implantat elektrophysiologische Messwerte, z. B. des Elektrokardiograms, können durch das äu-

ßere EMF verursachte interne elektrische Felder die Aufnahme der elektrophysiologischen Messwerte durch das Implantat überlagern und somit stören. Hierbei sind Implantate, die elektrophysiologische Messwerte verarbeiten, empfindlicher als programmgesteuerte Implantate. Die Folgen einer Funktionsstörung des Implantates reichen von kaum merklichen Unregelmäßigkeiten des Gerätes bis zu Gefährdungen des Implantattragenden (leichter Schwindel, Bewusstseinsverlust, im Extremfall Tod oder Sekundärgefährdungen bei der Nutzung von Arbeitsmitteln).

Die Störmöglichkeit eines Implantats hängt von vielen Faktoren ab, zum Beispiel von Typ und Einstellung des Implantats, von Frequenz und Pulsung oder Modulation des störenden Feldes sowie von den geometrischen Maßen der Implantatversorgung.

Auch passive Implantate können durch EMF beeinflusst werden. Wie für aktive Implantate aufgeführt, sind dieselben physikalischen Prinzipien ursächlich. Wirkungsseitig kann die Form des Implantats jedoch zu einer Erhöhung der Körperströme führen, was eine Schädigung des umliegenden Gewebes bedingen kann. Zusätzlich können hochfrequente EMF zu einer Erwärmung des Implantats führen, was ebenfalls eine lokale Gewebeschädigung bedingen kann.

Für weiterführende Informationen zur Beeinflussung aktiver und passiver Implantate siehe DGUV-I 203-043 "Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder", BMAS Forschungsbericht 451 "Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern" und AUYA Report R78 "Bestimmung der im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärken und Gewbeerwärmung in der Nähe von metallischen Implantaten bei Magnetfeldexposition am Arbeitsplatz".

Mögliche Gefährdungen durch Projektilwirkung entstehen, wenn ferro- oder paramagnetische Materialien durch starke statische Magnetfelder zu diesen hin beschleunigt werden. Aktiv geschirmte Magnete benötigen aufgrund der höheren räumlichen Feldgradienten geringere magnetische Feldstärken, um Gegenstände zu beschleunigen; die Sicherheitsabstände sind somit höher. Elektrische Zündvorrichtungen (Detonatoren) können durch hochfrequente EMF ausgelöst werden; für weitere Informationen siehe DGUV-R 113-016 oder CLC/TR 50426:2005-03. Brände oder Explosionen durch die Entzündung brennbarer Materialien aufgrund von Funkenbildung können durch Reibungselektrizität (in statischen elektrischen Feldern) und durch Energiedisposition (in hochfrequenten EMF) in Abhängigkeit der Feldstärke und Einkopplungsbedingungen ausgelöst werden; für weitere Informationen siehe Abschnitte 2.2, und 3.4 bis 3.6, Technische Regeln für Gefahrstoffe der Reihe 700 und Reihe 800, DIN VDE 0848-5 bzw. CLC TR 50427. Kontaktströme bezeichnen einen Strom, der zwischen einem Gegenstand in einem EMF und einem Beschäftigten fließt. Im Gegensatz zu elektrischen Gefährdungen (siehe [Kapitel 2](#) "Elektrische Gefährdungen") entsteht die für den Kontaktstrom verantwortliche Potentialdifferenz durch Ableiten des externen EMF durch den Gegenstand oder Beschäftigten durch Induktion oder kapazitive Einkopplung. Kontaktströme sind abhängig von der Kontaktfläche und der Entladungsenergie. Für weitere Informationen siehe DIN VDE 085-300:2008-08 oder DIN VDE 0800-2:2011-06.

Eine umfassende Darstellung der physiologischen Grundlagen, der Wirkungen statischer und niederfrequenter Felder bis 100 kHz, der Ableitung von Grenzwerten und der notwendigen Schutzmaßnahmen gibt der Forschungsbericht 400 "Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz" des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales.

### Abgrenzung zu elektromagnetischer Verträglichkeit

Die Anforderungen zur Vermeidung von Gefährdungen durch EMF dürfen nicht mit der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) verwechselt werden. Als EMV wird die Fähigkeit eines Produktes bezeichnet, in seiner elektromagnetischen Umgebung zu arbeiten, ohne elektromagnetische Störungen bei anderen Produkten zu verursachen, oder durch andere Produkte gestört zu werden. Durch Festlegungen von Mindestanforderungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit sollen technische Funktionsstörungen verringert werden.

### Abgrenzung zu Elektrosicherheit

Bei der Verwendung elektrischer Betriebsmittel, Arbeiten an Einrichtungen der Energieversorgung oder in der unmittelbaren Nähe von unter Spannung stehenden Teilen können leitungsgebundene Gefährdungen durch elektrischen Schlag (Teil- oder Ganzkörperdurchströmung) oder (Stör-)Lichtbögen auftreten. Zur Bewertung dieser Gefährdungen wird auf [Kapitel 2](#) "Elektrische Gefährdungen" verwiesen.

Gefährdungen durch EMF basieren auf einer kapazitiven oder induktiven Einkopplung eines äußeren EMF in den Körper der Beschäftigten. Einerseits kann das äußere EMF in ihm befindliche nicht geerdete Gegenstände oder Beschäftigte polarisieren (aufladen). Mittels Influenz führt diese Potentialänderung auf der Oberfläche zu ausglei-

chenden Strömen im Inneren des Gegenstandes oder des menschlichen Körpers. In deren Folge gibt es einen Stromfluss gegen Erde. Weiterhin können äußere EMF direkt, also ohne galvanische Kopplung (Berührung) in den menschlichen Körper einkoppeln und Körperströme induzieren.

## 6.5.2 Ermittlung und Beurteilung

Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass eine Gefährdungsbeurteilung vor Aufnahme einer Tätigkeit und nach dem Stand der Technik fachkundig durchgeführt wird.

### TREMF Teil 1: Beurteilung der Gefährdung

Hier wird das Vorgehen bei der Beurteilung von Gefährdungen durch Expositionen gegenüber EMF nach § 3 EMFV behandelt. Teil 1 konkretisiert die Vorgaben der EMFV innerhalb des durch §§ 5 und 6 ArbSchG vorgegebenen Rahmens.

Das Vorgehen bei der Planung, der Durchführung und Auswertung von Messungen und Berechnungen der Exposition am Arbeitsplatz nach dem Stand der Technik wird konkretisiert. Besonderheiten sind hierbei:

- Beschreibung der Expositionszonen
- die Durchführung einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung nach § 3 Absatz 6 EMFV,
- die Beurteilung der Störbeeinflussung von aktiven kardialen sowie passiven Implantaten und
- die Beurteilung der Gefährdungen auf Basis des Nachweises zur Einhaltung der EGW nach § 2 Absatz 6 Satz 3 in Verbindung mit den besonderen Festlegungen nach §§ 7-18 EMFV.

Die Anhänge zu Teil 1 umfassen umfangreiche Tabellen mit vorbewerteten Arbeitssituationen für Beschäftigte und besonders schutzbedürftige Beschäftigte sowie zwei Bewertungen von exemplarischen Expositionssituationen.

### Vereinfachte Gefährdungsbeurteilung nach § 3 Absatz 6 EMFV

Eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung ist bei Arbeitsplätzen mit EMF-Quellen möglich, bei denen von keiner Gefährdung für Beschäftigte oder besonders schutzbedürftige Beschäftigte auszugehen ist. Das sind Quellen nach TREMF Teil 1 Anhang 1 Tab. A1.1, TREMF Teil 1 Anhang 2 Tab. A2.1 oder solche, deren Emission die zulässigen Werte nach 26. BImSchV bzw. EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG einhält.

Die Vereinfachung besteht darin, dass zur Ermittlung der Exposition keine zusätzlichen Messungen oder Berechnungen notwendig sind und dass keine Schutzmaßnahmen abgeleitet sowie durchgeführt werden müssen, siehe Ablaufdiagramm Abb. 6.2 TREMF Teil 1 Abschnitt 6.4. Eine Dokumentation des vereinfachten Verfahrens ist erforderlich.

Ein Arbeitgeber kann sich bei der Durchführung der vereinfachten Gefährdungsbeurteilung von Fachkräften für Arbeitssicherheit, auch solche ohne Fachkunde nach § 2 Absatz 8 EMFV, unterstützen lassen. Es wird empfohlen, die vereinfachte Gefährdungsbeurteilung als Grundlage der jährlichen Unterweisung mindestens einmal jährlich fortzuschreiben.

### Fachkundig durchgeführte Gefährdungsbeurteilung nach § 4 Absatz 1 EMFV

Zur fachkundigen Durchführung der Gefährdungsbeurteilung werden tiefergehende Fachkenntnisse benötigt, siehe auch TREMF Teil 1 Abschnitt 3.4.

Eine fachkundig durchgeführte Gefährdungsbeurteilung nach EMFV umfasst die üblichen Schritte einer Gefährdungsbeurteilung: Informationsermittlung, Expositionsermittlung, Bewerten direkter und indirekter Wirkungen, Festlegen und Durchführen von Maßnahmen, deren Wirksamkeitsprüfung und schließlich das Fortschreiben; siehe Ablaufdiagramm Abb. 6.1 TREMF Teil 1, Abschnitt 6.1. Es wird empfohlen, die Gefährdungsbeurteilung als Grundlage der jährlichen Unterweisung mindestens einmal jährlich fortzuschreiben. Eine vollständige und nachvollziehbare Dokumentation ist erforderlich. Die Aufbewahrungsfrist nach § 3 Absatz 6 EMFV beträgt bei Überschreitung der oberen Auslöseschwellen bei nichtthermischen oder thermischen Wirkungen mindestens 20 Jahre.

Für den Spezialfall einer arbeitsmittelbezogenen, individuellen Gefährdungsbeurteilung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte siehe Abschnitt "Bewertung der Störbeeinflussung aktiver kardialer oder passiver Implantate".

### Expositionszonen

Expositionszonen stellen eine Verbindung zwischen Höhe der Exposition, Frequenz, anzuwendenden Auslöseschwellen und anzuwendenden Schutzmaßnahmen her. Sie sind eine Handlungshilfe für die betriebliche Praxis zur Umsetzung ausgewählter Festlegungen der EMFV. Da sie auf den Auslöseschwellen beruhen, gelten sie nur für direkte Wirkungen, indirekte Wirkungen auf aktive kardiale sowie passive Implantate und für sinusförmige Signalverläufe.

Detaillierte Informationen zu Expositionszonen enthält TREMF Teil Allgemeines Kapitel 7 sowie in TREMF Teil 1 Kapitel 4.

### Aktualisierung von Gefährdungsbeurteilungen nach DGUV-V 15 mittels EMFV

Die zulässigen Werte für eine Exposition gegenüber EMF am Arbeitsplatz sind in der EMFV gesetzlich geregelt.

Für Anwender, die zuvor die Unfallverhütungsvorschrift DGUV Vorschrift 15 (bisher BGR B11) bzw. die dazugehörige DGUV Regel 103-013 (bisher BGR B11) angewendet haben, wird der Übergang zur Anwendung der EMFV bei der Beurteilung von EMF an Arbeitsplätzen in den meisten Fällen unproblematisch sein. Jedoch kann keine pauschale Aussage getroffen werden, da die Schutzkonzepte der EMFV und DGUV-V 15 abweichen. Es wird empfohlen, die bereits ermittelten absoluten Expositionsgrößen frequenzspezifisch mit den nach EMFV zulässigen Werten zu vergleichen und in Abhängigkeit des Bewertungsergebnisses zu beurteilen, ob bisherige Maßnahmen beibehalten werden, entfallen können oder zusätzliche Maßnahmen abzuleiten sind.

### TREMF Teil 2: Messen, Berechnen und Bewerten

Die Anforderungen an die Ermittlung der EMF-Exposition durch Messen und Berechnen sowie die Bewertungsgrundlage für die Beurteilung der Gefährdungen sind in Teil 2 beschrieben. Detailliert wird dabei eingegangen auf:

- Bewertung von einer oder mehreren EMF-Quellen mit unterschiedlichen oder gleichen Frequenzen,
- Verfahren für die Bewertung nicht sinusförmiger Signale bzw. von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe und
- Verfahren zum Nachweis der Einhaltung von Expositionsgrenzwerten.

Die Anhänge zu Teil 2 umfassen die Tabellen mit den nach EMFV zulässigen Werten und den Schwellenwerten zur Gewährleistung der Sicherheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten, Ergänzungen zur Ermittlung der Exposition, Messunsicherheit und Berechnungsbeispiele.

### Expositionsermittlung durch Messung und Berechnung

Da die Messungen vor Ort umfangreiches Fachwissen und Erfahrung verlangen, sind EMF-Messungen stets von fachkundigen Personen durchzuführen. Die Anforderungen an die Fachkunde werden in TREMF Teil 1 Abschnitt 3.4 beschrieben.

Hinweise zur Messstrategie für EMF sowie eine Vorlage für ein Messprotokoll werden in den Anlagen zur Verfügung gestellt:

Anlage 1: Messstrategie zur Messung elektromagnetischer Felder

Anlage 2: Messprotokoll zur Messung elektromagnetischer Felder

Zur Beurteilung der Gefährdung durch EMF sind erforderlichenfalls orientierende Messungen durchzuführen. Eigenschutz und Schutz der Messgeräte sind zu beachten!

Nach größeren Reparaturen und/oder Änderungen der Betriebsparameter der EMF-Quelle sind die Messungen zu wiederholen. Unter bestimmten Voraussetzungen können die Messungen durch Berechnungen ersetzt werden, vgl. dazu TREMF Teil 2 Abschnitt 4.3 sowie Anhang 3 oder auch DIN EN 50413 (Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern).

Im IFA-Report der DGUV "Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten" (2011) und in der DIN EN 50499 werden neben der Erläuterung von Grundlagen, Regeln und Normen auch Hilfen für die Ermittlung der Exposition anhand von Praxisbeispielen bereitgestellt.

Um die Qualität der Expositionsermittlung abschätzen zu können, werden die ermittelten Expositionswerte stets mit der erweiterten Messunsicherheit angegeben. Für Informationen hierzu siehe TREMF Teil 2 Kapitel 5 sowie Anhang 4.

### Bewertung der Exposition

Durch Gegenüberstellung der ermittelten EMF-Exposition bei Ausführung einer Tätigkeit mit den zulässigen Werten, z. B. nach Anhang 2 und 3 EMFV, muss auch die Mess- oder Berechnungsunsicherheit berücksichtigt werden.

Nach EMFV sowie DGUV-V 15 wird die Mess- oder Berechnungsunsicherheit durch additiven Ansatz berücksichtigt. Das heißt, eine EMF-Exposition ist nur dann zulässig, wenn die ermittelte EMF-Exposition zzgl. der ermittelten Unsicherheit den zulässigen Wert nicht überschreitet.

### Beurteilung beliebiger nicht sinusförmiger Signalverläufe

Neben sinusförmigen Signalverläufen wie in der Energieversorgung treten bei Schaltvorgängen oder bestimmten industriellen Verfahren beliebige nicht sinusförmige Signalverläufe auf. Verfahren zur Messung von beliebigen nicht sinusförmigen Signalverläufen und deren Bewertung im Zeitbereich werden in der DGUV-I 203-038 beschrieben.

### Beurteilung der Störbeeinflussung aktiver kardialer oder passiver Implantate

Die Einhaltung der ALS für direkte Wirkungen nach Tabelle A2.7, A2.8 und A3.4 EMFV sichert nicht zwangsläufig den Schutz von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten. Ein detailliertes Vorgehen zur Bewertung von Arbeitsplätzen besonders schutzbedürftiger Beschäftigter und wie eine mögliche Beeinflussung von Implantaten durch EMF zu ermitteln ist, wird in TREMF Teil 1 Abschnitt 6.9 oder DGUV-I 203 043 (bisher BGI/GUV-I 5111) detailliert beschrieben. Für ergänzende Informationen wird auf FB 451 [BMAS, 2015], DIN EN 50527-1 und DIN EN 50527-2-1 verwiesen. Schwellenwerte für EMF am Arbeitsplatz, deren Einhaltung die Sicherheit und die Gesundheit von Beschäftigten mit aktiven oder passiven Implantaten gewährleistet, sind in TREMF Teil 2 Anhang 1 Kapitel A1.7 angegeben und werden im FB 451 erläutert.

### Beurteilung von Arbeitsbereichen mit öffentlich zugänglichen Arbeitsplätzen

Zur Beurteilung von öffentlich zugänglichen Arbeitsbereichen kommen in Abhängigkeit ihres Anwendungsbereichs die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes oder die "Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 bis 300 GHz)" zur Anwendung.

### 6.5.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle

Für eine detaillierte Darstellung aller Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten durch EMF für den gesamten Anwendungsbereich der EMFV wird aus Gründen des Umfangs auf die Technischen Regeln zur EMFV (TREMf) verwiesen. Im Folgenden werden der Einsatz sicherer Arbeitsmittel, das STOP-Prinzip, Abstandsvergrößerung und Unterweisung erläutert.

#### Einsatz sicherer Arbeitsmittel

Arbeitgeber dürfen nur solche Arbeitsmittel zur Verfügung stellen und verwenden lassen, die unter Berücksichtigung der vorgesehenen Einsatzbedingungen sicher sind. Dazu müssen die Arbeitsmittel die Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der entsprechenden Produktsicherheitsvorschriften wie beispielsweise der europäischen Regelungen nach Maschinenrichtlinie, Niederspannungsrichtlinie sowie deren nationalen Umsetzungen erfüllen und auch über die erforderlichen sicherheitsrelevanten Ausrüstungen verfügen. Arbeitgeber sollen bei der Beschaffung von Arbeitsmitteln darauf achten, dass diese nach europäisch harmonisierten Produktnormen entwickelt und gebaut wurden.

#### TREMf Teil 3: Schutzmaßnahmen

Im Teil "Schutzmaßnahmen" werden die besonderen Festlegungen erläutert, die beim Überschreiten z. B. von ALS Anwendung finden können. Außerdem werden die Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung der Gefährdungen durch EMF im Rahmen des STOP-Prinzip beschrieben. In den Anhängen sind die Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung sowie ein Muster für eine Betriebsanleitung aufgeführt.

Hinweis: Im Rahmen der EMFV handelt es sich um Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verringerung von Gefährdungen durch EMF, jedoch nicht zwangsläufig um eine vollständige Vermeidung der Exposition gegenüber EMF.

#### Besondere Festlegungen nach §§7-18 EMFV

Um ein einheitliches Schutzniveau und größtmögliche Flexibilität bei der Bewertung von tatsächlichen und möglichen Gefährdungen durch EMF an Arbeitsplätzen zu gewährleisten, werden Arbeitgeber durch besondere Festlegungen in der EMFV unterstützt, die bei Überschreitung z. B. bestimmter ALS Anwendung finden können. Für eine detaillierte Beschreibung zur Anwendung der besonderen Festlegungen siehe TREMf Teil 3 Kapitel 4.

#### Substitution, technische, organisatorische und persönliche Maßnahmen

Falls ALS am Arbeitsplatz überschritten werden und/oder eine Einhaltung der Grenzwerte durch das Arbeitsmittel selbst nicht gewährleistet ist, sind Maßnahmen zu treffen. Die Auswahl der Maßnahmen erfolgt dabei nach der STOP-Rangfolge:

1. Substitution (Anwendung alternativer Verfahren)
2. Technische Schutzmaßnahmen (Abschirmungen, Abstandsvergrößerung zur Feldquelle)
3. Organisatorische Maßnahmen (Zugangskontrolle, Kennzeichnung, Warnschilder, kürzere Einsatzzeiten)
4. Persönliche Maßnahmen (persönliche Schutzausrüstungen wie Schutzkleidung, Schutzbrillen).

Die Normenreihe DIN EN 12198 behandelt allgemeine Leitsätze der Risikobewertung der Strahlenemission von Maschinen, Messverfahren für die Strahlenemission und Minderungsmaßnahmen durch Abschwächung oder Abschirmung.

Persönliche Schutzausrüstung ist geeignet, wenn bei ihrer Benutzung keine unzulässige Exposition auftreten kann. Sie muss der Verordnung (EU) 2016/425 und dem PSA-DG entsprechen.

Hinweis: Zur Zeit der Veröffentlichung dieses Ratgebers war am Markt keine PSA zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF verfügbar.

Bereiche starker EMF sind mit Warn- beziehungsweise Verbotsschildern zu kennzeichnen, siehe TREMf Teil 3 Anhang 1.

Bei der Herstellung von Implantaten und anderen Körperhilfsmitteln wird die Möglichkeit indirekter Wirkungen berücksichtigt, deshalb wird eine möglichst hohe Störfestigkeit der Geräte angestrebt. Nach Ermittlung und Bewertung der tatsächlichen Gefährdungssituation ist der Einsatz des Beschäftigten oftmals weiterhin möglich. Idealerweise kann eine individuelle Gefährdungsbeurteilung bereits vor der Implantation durchgeführt werden und deren Ergebnisse bei der Implantation Berücksichtigung finden.

### Abstandsvergrößerung

Die EMF-Exposition nimmt mit zunehmendem Abstand von der EMF-Quelle ab. Die Abstandsvergrößerung ist somit eine einfache und wirkungsvolle, wenn auch ggf. platzinehmende, Schutzmaßnahme.

Hinweis: Je nach EMF-Quelle nimmt eine Feldgröße pro Entfernungseinheit  $r$  mit bis zu  $1/r^3$  ab. Ist die Abnahme der Feldgröße nicht bekannt, wird die Abnahme der Feldgröße mit  $1/r$  angenommen.

### Unterweisung der Beschäftigten

Bei möglichen Gefährdungen an Arbeitsplätzen mit EMF sind die Beschäftigten bei Aufnahme der Tätigkeit und in regelmäßigen Abständen (mindestens jährlich) zu unterweisen und über die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung zu informieren. Für Inhalte der Unterweisung siehe § 19 EMFV. Ein wichtiger Bestandteil der Unterweisung ist die allgemeine arbeitsmedizinische Beratung mit Hinweisen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte.

### Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung

In TREMF Teil 3 Anhang 1 sind die mit einer Exposition gegenüber EMF im Zusammenhang stehenden meist verbreitetsten Verbots-, Warn- und Zusatzzeichen aufgeführt. Die Aussagekraft von Verbots- und Warnzeichen, und damit das sicherheitsgerechte Verhalten, wird in Verbindung mit einem allgemeinen Zusatzzeichen stark verbessert, siehe Abb. 6.5.

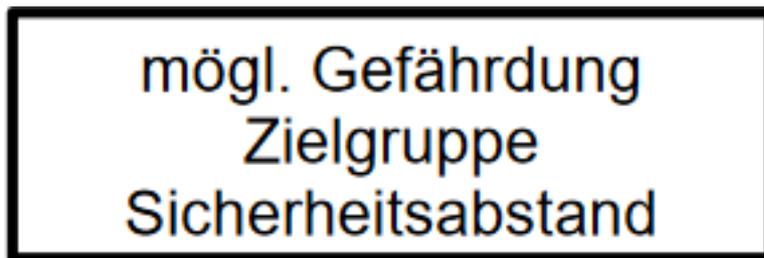


Abb. 6.5 Beispiel für allgemeines Zusatzzeichen zur Verbesserung der Verständlichkeit von Verbots- und Warnzeichen

1. Zeile: Konkretisierung der möglichen Gefährdung: z. B. elektromagnetisches Feld
2. Zeile: Zielgruppe: z. B. Implantatträger
3. Zeile: einzuhaltender Sicherheitsabstand

## 6.5.4 Vorschriften, Regelwerke, Literatur

### Gesetze, Verordnungen, EU-Richtlinien

[www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de); <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

- 26. BImSchV: Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)
- Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG, Ausfertigungsdatum 26.06.2013
- EMFV: Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern - EMFV), Ausfertigungsdatum 15.11.2016
- ProdSG: Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz - ProdSG), Ausfertigungsdatum 08.11.2011, Stand 31.08.2015
- PSA-DG: Gesetz zur Durchführung der Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen (PSA) und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates (PSA-Durchführungsgesetz - PSADG), Ausfertigungsdatum 18.04.2019, Stand 18.04.2019

### Technisches Regelwerk zu den Arbeitsschutzverordnungen

Das Regelwerk finden sie [hier](#).

- ASR A1.3: Technische Regeln für Arbeitsstätten „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“ ASR A1.3, Ausfertigungsdatum Februar 2013, GMBL 2017, S. 398, Stand Juli 2017
- TREMF HF: Ausgabe: Januar 2023, GMBL 2023 S. 140 [Nr. 3-12]
- TREMF MR: Ausgabe: Januar 2023, GMBL 2023 S. 235 [Nr. 3-12]
- TREMF NF: Ausgabe: Januar 2023, GMBL 2023 S. 50 [Nr. 3-12]
- TRGS 555: Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 555, "Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten", GMBL 2017 S. 275-281 [Nr. 15], Stand 20.04.2017
- TRGS der Reihe 700 und 800: Technische Regeln für Gefahrstoffe (Brand- und Explosionsschutz)

### DGUV Vorschriften, DGUV Regeln und DGUV Informationen

- DGUV Regel 113-016: Sprengarbeiten von März 2012, aktualisierte Fassung November 2015
- DGUV Information 203-038: Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißrichtungen von Oktober 2006
- DGUV Information 203-043: Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder von Juni 2009, aktualisierte Fassung März 2012

### Weitere Regeln der Technik

- AKNIR EMF-Leitfaden: Leitfaden "Elektromagnetische Felder", FS-2019-180-AKNIR, Köln, November 2019
- AUVA Report R78: Bestimmung der im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärken und Gewebeerwärmung in der Nähe von metallischen Implantaten bei Magnetfeldexposition am Arbeitsplatz, Wien, November 2018
- CLC TR 50426:2005-03: Leitfaden zur Verhinderung des unbeabsichtigten Auslösens einer Zündeinrichtung mit Brückendraht durch hochfrequente Strahlung
- CLC TR 50427:2006-04: Leitfaden zur Verhinderung der unbeabsichtigten Zündung explosionsfähiger Atmosphären durch hochfrequente Strahlung
- DIN EN 12198 (Normenreihe): Sicherheit von Maschinen; Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung
- DIN EN 50360: Produktnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von schnurlosen Kommunikationsgeräten mit den Basisgrenzwerten und Expositionsgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 300 MHz bis 6 GHz: Geräte, die in enger Nachbarschaft zum Ohr benutzt werden; Deutsche Fassung EN 50360:2017
- DIN EN 50413:2009: Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)
- DIN EN 50496:2019-10: Ermittlung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektromagnetischen Feldern und Bewertung des Risikos am Standort eines Rundfunksenders; Deutsche Fassung EN 50496:2018
- DIN VDE 0800-2:2011-06: Informationstechnik – Teil 2: Potentialausgleich und Erdung (Zusatzfestlegungen)

- DIN VDE 0848-5:2001-01: Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern – Teil 5: Explosionsschutz
- DIN VDE 0855-300:2008-08: Funksende-/empfangssysteme für Senderausgangsleistungen bis 1 kW – Teil 300: Sicherheitsanforderungen
- FB 400: Forschungsbericht "Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz", Bundesministerium für Arbeit und Soziales, November 2011
- FB 451: Forschungsbericht "Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern", Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Februar 2015
- IFA 2011: Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten, IFA Report 5/2011, Berlin, 2011

### Literatur

- [1] destatis, 2020: eigene Auswertung von 23141-0102, Statistisches Bundesamt (Destatis), Stand: 06.07.2020 09.44 Uhr, [www.genesis.destatis.de/genesis/online](http://www.genesis.destatis.de/genesis/online)
- [2] Lapicque 1926: "L'excitabilité en fonction du temps: La chronaxie, sa signification et sa mesure", Les presses universitaires de France, ASIN: B01MS4EoMG (Lapicque'sches Gesetz/Weiß'sche Gleichung)

### Internet-Links

- [AUVA](#)
- [Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse](#)
- [Berufsgenossenschaft Holz und Metall](#)
- [Berufsgenossenschaft Verkehr](#)
- [Bundesministerium für Arbeit und Soziales](#)
- [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Elektromagnetische Felder](#)
- [Bundesamt für Strahlenschutz](#)
- [Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.](#)
- [Elektromagnetische Felder im Alltag, Leitfaden des LUBW und LfU Bayern](#)
- [Elektromagnetische Felder - Merkblatt des LAVG mit Informationen für Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber](#)
- [EMF-Portal](#)
- [Fachverband für Strahlenschutz e.V.](#)
- [Handlungsempfehlungen für EMF-und Schallgutachten zu Hoch-und Höchstspannungstrassen](#)
- [Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder](#)
- [Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung](#)
- [Landesinstitut für Arbeitsgestaltung NRW](#)
- [Strahlenschutzkommission](#)

## 6.5.5 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter

### Prüffragen

- Werden die Geräte, die EMF erzeugen, regelmäßig sicherheitstechnisch überprüft?
- Gibt es Betriebsanweisungen für Tätigkeiten mit Geräten oder Materialien, die EMF erzeugen?
- Gibt es ausreichende Schutzmaßnahmen zum Schutz vor EMF zum Beispiel an Arbeitsplätzen mit Schweißrichtungen oder im Nahbereich von Sendern für Rundfunk, Fernsehen oder Mobilfunk?
- Wurde geprüft, ob die Einwirkzeit hochfrequenter EMF verringert werden kann?

### Gefährdungen/Mängel

- Gerät nicht sicherheitstechnisch überprüft
- Anweisungen zur sicheren Ausführung der Tätigkeiten fehlen
- Schutzmaßnahmen entsprechen nicht der Betriebsanweisung/Arbeitsanweisung
- Ausführung der Tätigkeit entspricht nicht der Betriebsanweisung/Arbeitsanweisung

### Maßnahmen

- Gerät sicherheitstechnisch überprüfen
- Betriebsanweisung erstellen
- Einwirkungszeit der EMF verringern, Abstand vergrößern
- Gefahrenbereich kennzeichnen
- über Betriebsanweisung und Arbeitsanweisung unterweisen

## 6.5.6 Autoren, Ansprechpartner und Anlagen

### Autoren:

- Dr.-Ing. Peter Jeschke
- Dr.-Ing. Erik Romanus  
Fachgruppe 2.2 "Physikalische Faktoren"

### Ansprechpartner:

- Dr.-Ing. E. Romanus  
[physical.agents@baua.bund.de](mailto:physical.agents@baua.bund.de)  
Gruppe 2.2, Dortmund

### Kontakt

### Anlagen

- Anlage 1: Messstrategie zur Messung elektromagnetischer Felder
- Anlage 2: Messprotokoll zur Messung elektromagnetischer Felder

## **ANLAGE 1: Messstrategie zur Messung elektromagnetischer Felder**

### **1. Zielsetzung der Messung festlegen, z. B.:**

- Überwachung der Grenzwerteinhalten an einem Arbeitsplatz

### **2. Ermittlung der Expositionsbedingungen, z. B.:**

- Welche Angaben liegen über die Feldquelle vor?
- Aufenthaltsorte und Expositionszeiten während der Arbeitsschicht
- Gefährdungsmöglichkeiten, abgeleitete Werte (Auslösewerte), Basiswerte (Expositionsgrenzwerte), zulässige Werte
- persönliche Schutzausrüstung erforderlich?

### **3. Planung**

- Auf Grundlage der Zielsetzung und der Messbedingungen ist die Durchführung der Messung zu planen.
- Festlegung eines bewertbaren Betriebszustandes bei Anlagen/Feldquellen mit wechselnden Betriebsparametern

### **4. Auswahl geeigneter Messverfahren und Messgeräte**

- selektive Messverfahren
- Breitbandverfahren
- Personen-Monitore

### **5. Durchführung der Messung unter Berücksichtigung z. B. folgender Punkte:**

- eindeutige Messorte bzw. Messpunkte
- Messraster
- Messdauer, Mittelungsdauer
- Effektivwert- oder Spitzenwertmessung
- Schutzmaßnahmen für Messgeräte vorsehen (z. B. bei Messbereichsüberschreitungen)

### **6. Auswertung der Messergebnisse**

- Berücksichtigung von Messunsicherheiten, Korrekturfaktoren

### **7. Bewertung**

- Vergleich Messwerte mit zulässigen Werten der Expositionsbereiche
- Beurteilung des Einsatzes von Implantatträgern
- Empfehlungen für Schutzmaßnahmen
- Einfluss weiterer Feldquellen berücksichtigen

### **8. Festlegen, ob und wann Wiederholungsmessungen notwendig sind**

- z. B. nach einer wesentlichen Änderung oder Instandsetzung und in bestimmten Zeitabständen

### **9. Messprotokoll erstellen**

**ANLAGE 2:****Messprotokoll zur Messung elektromagnetischer Felder****1. Allgemeine Angaben:**

Betreiber:	
Anschrift:	
Ort, Datum, Uhrzeit:	
Angaben zur Anlage:	
Standort:	
Hersteller:	
Typ/Baujahr:	
Verwendungszweck:	
Angaben zur Feldquelle:	
Standort:	
Hersteller:	
Typ/Baujahr:	
Betriebsart:	
Signalform:	
Arbeitsfrequenz/ Frequenzspektrum:	
Betriebsspannung und -strom:	
Mastbild und Leiter-/Bodenabstand:	
Lageplan/Skizze/Abbildung:	
bisherige Schutzmaßnahmen:	
Bearbeiter des Messprotokolls:	

**2. Arbeitsplatz:**

Bezeichnung:	
Tätigkeit:	
Expositionszone nach TREMF:	
Expositionsregime:	
Expositionsdauer pro Schicht:	
Arbeitsumgebungsfaktoren:	

**3. Messungen:**

Verwendete Messgeräte:

Typ:	
Hersteller:	
Seriennummer:	
Messorte und Messpunkte (Beschreibung, Lageplan oder -skizze):	
Messwerte (elektrische Feldstärke, magnetische Feldstärke, magnetische Flussdichte, Leistungsdichte):	
Besonderheiten (Effektivwert oder Spitzenwertmessung, Einfluss weiterer Feldquellen):	
Angaben zur Messunsicherheit:	
Messaufnehmer:	
Kalibrierung:	
Name der messenden Person:	

**4. Grenzwerte:**

Grenzwertsituation (Rechtsvorschriften, Richtlinien, Normen)	
zulässige Werte in den einzelnen Expositions- und Frequenzbereichen	
Entscheidung, ob Expositionsgrenzwerte herangezogen werden müssen	

**5. Auswertung:**

Vergleich der Messwerte mit den zulässigen Werten	
Bewertung der Messergebnisse	
bei Bedarf: Festlegung von Expositionszonen	

**6. Ggf. Empfehlungen für Schutzmaßnahmen:**

Einsatz alternativer Arbeitsverfahren	
technische Gestaltungsmaßnahmen	
organisatorische Schutzmaßnahmen, z. B. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung von Aufenthaltszeiten,</li> <li>• Kennzeichnung von Gefahrenbereichen,</li> <li>• Warnhinweise,</li> <li>• Verbotszeichen,</li> <li>• Einweisung und Unterweisung</li> </ul>	
besondere Hinweise zum Einsatz von Implantatträgern	

**Datum/Unterschrift**

## 6.6 Ionisierende Strahlung und Strahlenschutz

Das Strahlenschutzrecht ist ein eigenständiger Rechtsbereich, der fast alle Aspekte des Schutzes des Menschen und seiner Umwelt vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung regelt. Darunter fällt auch der Umgang mit radioaktiven Stoffen. Im Strahlenschutzrecht sind auch alle Aspekte des Arbeitsschutzes, die sich aus dem Umgang mit ionisierender Strahlung bzw. Quellen ionisierender Strahlung, die unter das Strahlenschutzrecht gemäß StrlSchG bzw. StrlSchV fallen, abschließend geregelt.

Deshalb ist es für Verantwortliche im Arbeitsschutz wichtig zu wissen, wann eine Tätigkeit unter das Strahlenschutzrecht fällt und wie die Zusammenarbeit mit Beauftragten und Verantwortlichen geregelt ist.

## 6.6.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen

### Der Mensch im Feld natürlicher und künstlicher Strahlenquellen

Der Mensch ist ständig von einer Vielzahl von Strahlungen umgeben. Das Licht und die Wärme der Sonne, die das Leben auf der Erde erst möglich machen, gelangen als Strahlung zur Erde. Strahlung ist eine Energieform, die sich als elektromagnetische Welle - oder als Teilchenstrom - durch Raum und Materie ausbreitet.

Was unterscheidet die einzelnen Strahlungsarten voneinander? Es ist die Energie, die die elektromagnetische Welle mit sich trägt. Die infrarote Wärmestrahlung eines Kachelofens, die UV-Strahlung, die Sonnenbrand auf der Haut verursacht, oder die Röntgenstrahlung, die unseren Körper durchdringen kann und die Abbildung innerer Organe möglich macht, sie unterscheiden sich in ihrer grundlegenden physikalischen Natur nicht voneinander, wohl aber in der Menge der pro Quant mitgeführten Energie und damit auch in ihrer Wirkung.

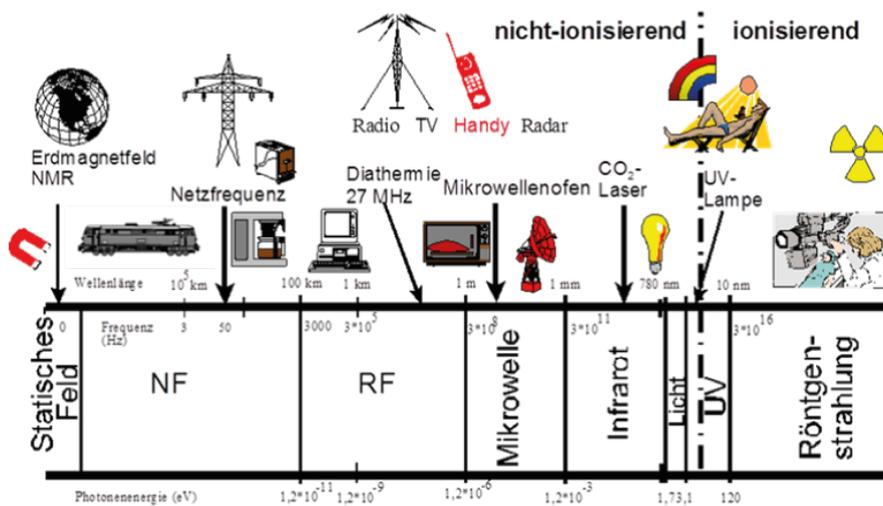


Abb. 6.6-1 Elektromagnetisches Spektrum mit einigen für die jeweiligen Frequenzbereiche typischen Quellen (NMR Kernspintomograph; NF Niederfrequenz; RF Radiofrequenz, UV Ultraviolett, TV Fernsehen) (Quelle: Autor)

Die Strahlungsarten werden je nach ihrer Energie in zwei große Gruppen unterteilt. Ist die Energie der Strahlung so hoch, dass sie bei der Durchdringung von Stoffen an Atomen und Molekülen Ionisationsvorgänge auslöst, spricht man von ionisierender Strahlung. Zu dieser Kategorie gehört z. B. die Röntgen- und Gammastrahlung. Reicht die Energie der Strahlung nicht aus, um Atome und Moleküle zu ionisieren, handelt es sich um nicht ionisierende Strahlung. Sie umfasst den Bereich der Radio- und Mikrowellen, elektromagnetische Felder und die optische Strahlung.

Eine eigene Familie ist die Teilchenstrahlung. Teilchenstrahlung wird, wie auch die Gammastrahlung, von radioaktiven Stoffen beim Zerfall ausgesendet. Sie ist sehr energiereich und hat gemeinsam mit der Gammastrahlung die Eigenschaft, Atome und Moleküle bei der Durchdringung von Stoffen zu ionisieren. Sie wird deshalb ebenfalls der Gruppe der ionisierenden Strahlung zugeordnet.

Ionisierende Strahlung ist sowohl Teil der Natur als auch das Resultat menschlicher Tätigkeit. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung umgeben uns - bildlich gesprochen - überall. Natürliche radioaktive Stoffe sind in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden. Durch Medizin, Forschung, Technik und Nutzung der Kernenergie sind künstlich erzeugte radioaktive Stoffe und die von ihnen ausgehende Strahlung in unsere Lebenssphäre gekommen. Trifft ionisierende Strahlung auf das menschliche Gewebe, übt sie dort eine Wirkung aus, die in Abhängigkeit von den konkreten Umständen auch schädigend sein kann.

### Ionisierende Strahlung

#### Radioaktivität und Strahlung

Als der französische Physiker Henri Becquerel im Jahre 1896 mit uranhaltigem Gestein experimentierte, stellte er

fest, dass in der Nähe befindliche Fotoplatten trotz lichtdichter Verpackung geschwärzt waren. Die Ursache dafür konnten nur die Präparate in seinem Labor sein, von denen offensichtlich eine durchdringende Strahlung ausging. Die Wissenschaftlerin Marie Curie prägte später für die Erscheinung, dass bestimmte Stoffe ohne erkennbare äußere Einwirkung unsichtbare, mit technischen Mitteln jedoch nachweisbare Strahlung aussenden, den Begriff der Radioaktivität.

Die von Becquerel gefundene Strahlung wies die gleichen Eigenschaften auf, wie die sog. "X-Strahlen", die Wilhelm Conrad Röntgen ein Jahr zuvor entdeckt hatte und die später nach ihm benannt wurden. Sie konnten Materie durchdringen und diese dabei ionisieren.

Heute bezeichnen wir als Radioaktivität die Eigenschaft bestimmter Atomkerne, sich ohne äußere Einwirkung von selbst in andere Kerne umzuwandeln und dabei energiereiche Strahlung auszusenden. Im Ergebnis der Umwandlung entstehen letztlich Atome, die nicht mehr radioaktiv sind. Der Prozess der Kernumwandlung wird in der Regel als Kernzerfall und die abgegebene Strahlung - wegen ihrer bereits erwähnten Eigenschaft - als ionisierende Strahlung bezeichnet. Der häufig umgangssprachlich verwendete Ausdruck "radioaktive" Strahlung ist deshalb wissenschaftlich nicht korrekt. "radioaktiv" sind die Atome, die in ihrer Gesamtheit auch als Radionuklide bezeichnet werden.

Beim Kernzerfall können folgende Arten ionisierender Strahlung emittiert werden:

#### **Alphastrahlung:**

Teilchenstrahlung in Form von Kernen des Elements Helium (Alphateilchen). Alphateilchen werden durch wenige Zentimeter Luft bereits absorbiert und können weder ein Blatt Papier noch die Haut des Menschen durchdringen.

#### **Betastrahlung:**

Teilchenstrahlung in Form von Elektronen (Betateilchen). Das Durchdringungsvermögen von Betateilchen beträgt in Luft einige Zentimeter bis Meter, in Weichteilgewebe oder Kunststoff nur wenige Millimeter bis Zentimeter.

#### **Gammastrahlung:**

Elektromagnetische Wellenstrahlung. Gammastrahlung ist von gleicher physikalischer Natur wie das sichtbare Licht, allerdings erheblich energiereicher und mit hohem Durchdringungsvermögen in Materie. Zur Abschirmung von Gammastrahlung müssen deshalb schwere Materialien wie beispielsweise Blei und Beton verwendet werden. Abgesehen von der Art der Entstehung ist Gammastrahlung mit der Röntgenstrahlung vergleichbar.

#### **Neutronenstrahlung:**

Neutronen sind elektrisch neutrale Elementarteilchen. Sie werden insbesondere bei der Kernspaltung - einer speziellen Form der Kernumwandlung - freigesetzt. Die Kernspaltung ist nur für schwere Atomkerne - wie z. B. vom Element Uran - charakteristisch.

#### **Becquerel:**

Die Anzahl der pro Zeiteinheit in einem radioaktiven Stoff ablaufenden Kernzerfälle ist das Maß für die Aktivität dieses Stoffs. Die Maßeinheit der Aktivität eines radioaktiven Stoffs ist das Becquerel (Kurzzeichen: Bq). Mit der Aktivität wird also angegeben, wie viele Kernzerfälle in einem bestimmten radioaktiven Stoff pro Sekunde stattfinden. Die Aktivität 1 Bq ist sehr klein. Ein Gramm Wasser enthält etwa  $10^{23}$  Atome. Wenn darunter so viele radioaktive Atome sind, dass jede Sekunde eines davon zerfällt, dann hat dieses Gramm Wasser eine Aktivität von einem Becquerel. Aus dem Zerfall radioaktiver Atome gehen letztlich stabile Atome hervor. Die Anzahl der radioaktiven Atome in einer bestimmten Stoffmenge nimmt deshalb mit der Zeit ab. Die Zeit, die vergeht, bis nur noch die Hälfte der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Atomkerne vorhanden ist, nennt man die Halbwertszeit. Diese ist auch das Maß für die Zeit, in der die Intensität der von dem radioaktiven Stoff ausgesandten ionisierenden Strahlung auf die Hälfte des Ausgangswerts absinkt. Nach zehn Halbwertszeiten beträgt die Aktivität des Stoffs und demnach auch die Intensität der Strahlung etwa ein Tausendstel des Anfangswerts. Jedes Radionuklid hat eine eigene charakteristische Halbwertszeit. Für die verschiedenen Radionuklide reichen die jeweiligen Halbwertszeiten von Sekundenbruchteilen bis zu mehreren Milliarden Jahren.

#### **Röntgenstrahlung:**

Die Röntgenstrahlung zählt zur ionisierenden Strahlung und unterscheidet sich in ihrer physikalischen Natur nicht

von der Gammastrahlung. Röntgenstrahlung wird technisch beim Abbremsen von energiereichen Elektronen an der Anode einer Röntgenröhre erzeugt. Die kurzwellige Strahlung ist umso durchdringender, je höher die anliegende Röhrenspannung ist, mit der die Elektronen beschleunigt werden. Bei einigen technischen Prozessen entsteht Röntgenstrahlung, auch wenn es nicht beabsichtigt ist. Solche Geräte werden Störstrahler genannt. Diese sind u. a. Kathodenstrahlröhren, Plasmaanlagen, Elektronenstrahlhärtungsanlagen, Elektronenmikroskope. Auch Ultrakurz-puls-laser können unter gewissen Bedingungen Röntgenstrahlung erzeugen.

Im Unterschied zur Kernstrahlung, die in ihrer Existenz an Radionuklide gebunden ist und solange ausgesandt wird, bis auch das "letzte" Radionuklid zerfallen ist, wird keine Röntgenstrahlung mehr erzeugt, sobald das Röntgengerät/Störstrahler abgeschaltet ist.

## 6.6.2 Ermittlung und Beurteilung

### Strahlenexposition und Dosis

Zur Bemessung der Wirkung von Strahlung dient der Begriff der Dosis. Strahlung überträgt – wie bereits beschrieben – Energie. Deshalb bemisst man die Strahlungsdosis an der Energiemenge (Maßeinheit: Joule), die durch die Strahlung an eine bestimmte Materiemenge (Maßeinheit: Kilogramm) abgegeben wird. Die Dosis wird in diesem Zusammenhang als Energiedosis bezeichnet. Die Maßeinheit der Energiedosis ist das Gray; Kurzzeichen Gy. Ein Gray entspricht dabei einem Joule pro Kilogramm ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ).

Trifft ionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper, erfolgt eine Strahlenexposition. Das bedeutet, dass die Strahlung mit dem Körpergewebe in Wechselwirkung tritt und in unterschiedlichem Maße absorbiert wird. Auch die „Menge“ der vom Körper aufgenommenen Strahlung wird durch die Angabe einer Dosis ausgedrückt. Verschiedene Strahlungsarten verursachen im Körpergewebe jedoch unterschiedlich starke biologische Wirkungen. Wird z. B. ein Gewebe einer Exposition ausgesetzt, die bei gleicher Energiedosis einmal von Alphastrahlung und ein anderes Mal von Betastrahlung herrührt, ist die biologische Wirkung der Alphastrahlung etwa 20-mal größer. Mit der Angabe allein der Energiedosis kann demzufolge die biologische Wirkung der Strahlung im menschlichen Körper nicht ausreichend beschrieben werden.

Die Energiedosis wird deshalb mithilfe sog. Strahlungs-Wichtungsfaktoren präzisiert, die die biologischen Unterschiede der Strahlungswirkung berücksichtigen. Die Zahlenwerte dieser Faktoren für die verschiedenen Strahlungsarten sind dabei so ausgewählt, dass sie ein Maß für deren biologische Wirksamkeit bei niedrigen Dosen darstellen. Der Wichtungsfaktor für Strahlung mit geringer Ionisationsdichte in Gewebe, wie Röntgen-, Gamma- und Betastrahlung, wird mit 1 angenommen. Für Strahlung mit hoher Ionisationsdichte, wie Alpha- und Neutronenstrahlung, nimmt er höhere Werte an. Die Dosis, die die biologische Wirksamkeit der Strahlung „gewichtet“, wird als Äquivalentdosis bezeichnet. Man erhält sie durch Multiplikation der Energiedosis, angegeben in Gray (Gy) mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor. Die Maßeinheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Kurzzeichen: Sv).

**Tab. 6.6-1** Strahlung-Wichtungsfaktoren für verschiedene Arten ionisierender Strahlung [StrlSchV 18]

Strahlenart	Faktor
Photonen	1
Elektronen und Myonen	1
Protonen und geladenen Pionen	2
Alphateilchen, Spaltfragmente, Schwerionen	20
Neutronen, Energie $E < 1$	$2,5 + 18,2 e^{-\frac{[\ln(E)]^2}{6}}$
Neutronen, $1 \leq \text{Energie} \leq 50$	$5,0 + 17,0 e^{-\frac{[\ln(E)]^2}{6}}$
Neutronen, Energie $> 50$	$2,5 + 3,25 e^{-\frac{[\ln(0,004E)]^2}{6}}$

Strahlungswirkungen werden eingeteilt in deterministische Wirkungen, die bei einer Exposition oberhalb bestimmter Dosissschwellenwerte eintreten, und stochastische Wirkungen, die nach Ablauf einer längeren Latenzzeit mit einer bestimmten, dosisabhängigen Wahrscheinlichkeit auftreten können. (Im Abschnitt „Wirkung ionisierender Strahlung“ wird darauf näher eingegangen.)

Die Wahrscheinlichkeit, mit der im niedrigen Dosisbereich stochastische Wirkungen ausgelöst werden, ist bei gleicher Äquivalentdosis für die verschiedenen Organe und Gewebe unterschiedlich. Die Haut des Menschen ist z. B. weit weniger empfindlich gegenüber einer Strahlenexposition als verschiedene innere Organe. Um diese Unterschiede zu berücksichtigen, wird durch die Bestimmung einer effektiven Dosis das Risiko für das Auftreten mögli-

cher stochastischer Wirkungen bei Exposition einzelner Organe und Gewebe oder des gesamten Körpers bewertet. Die Organdosen der exponierten Organe und Gewebe werden dazu mit Gewebe-Wichtungsfaktoren multipliziert, die ein Maß für den Beitrag des exponierten Organs zum Schadensrisiko des gesamten Körpers darstellen.

**Tab. 6.6-2** Gewebe-Wichtungsfaktoren für verschiedene Organe und Gewebe [nach StrlSchV 18]

Organ und Gewebe	Faktor
Knochenmark (rot)	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Brust	0,12
Keimdrüsen	0,08
Blase	0,04
Speiseröhre	0,04
Leber	0,04
Schilddrüse	0,04
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
Gehirn	0,01
Speicheldrüse	0,01
Andere Organe und Gewebe	0,12

Die Summe der derart gewichteten Organdosen ist die effektive Dosis. Eine gleichmäßige Exposition des ganzen Körpers oder eine Exposition einzelner Organe und Gewebe ergeben das gleiche stochastische Risiko, wenn die effektiven Dosen übereinstimmen. Die effektive Dosis wird ebenfalls in Sievert (Sv) angegeben.

Organdosis und effektive Dosis sind Größen, die nur im Strahlenschutz und unterhalb der Schwellenwerte für deterministische Wirkungen verwendet werden. Da diese Schutzgrößen nicht direkt gemessen werden können, definiert der Strahlenschutz eine Äquivalentdosis (gemessen an einer repräsentativen Stelle des Oberkörpers einer Person) als Messgröße.

Bezieht man die Dosis auf eine bestimmte Zeiteinheit, spricht man von der Dosisleistung. Die Dosisleistung wird in der Regel auf eine Stunde bezogen und z. B. in Gray oder Sievert pro Stunde (Gy/h; Sv/h) angegeben.

Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Bei beruflich strahlenexponierten Personen ist die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Wenn die gemessenen Äquivalenzdosen unterhalb der Grenzwerte liegen sind auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich.

**Tab. 6.6-3** Größenordnungen: Im Strahlenschutz werden häufig Größen (wie Dosis, Aktivität) verwendet, deren Werte sich um sehr viele Größenordnungen unterscheiden

Vielfaches/Bruchteil	Größenordnung	mathematisches Zeichen
$10^9 = 1\,000\,000\,000$	Milliarde	G = Giga
$10^6 = 1\,000\,000$	Million	M = Mega
$10^3 = 1\,000$	Tausend	k = Kilo
$10^0 = 1$		
$10^{-3} = 0,001$	1 Tausendstel	m = Milli
$10^{-6} = 0,000\,001$	1 Millionstel	$\mu$ = Mikro
$10^{-9} = 0,000\,000\,001$	1 Milliardstel	n = Nano

### Natürliche Strahlenquellen

Wie alle Materie dieser Welt sind auch wir Menschen immer und überall ionisierender Strahlung ausgesetzt. Die Ursache dafür sind natürliche Strahlenquellen, die unabhängig vom Menschen entstanden sind und existieren. Sie sind damit Bestandteil unseres täglichen Lebens und sind gegenwärtig, wo immer wir uns befinden.

Aus der Sonne und den Tiefen des Weltalls gelangt kosmische Strahlung auf die Erde. Sie besteht im Wesentlichen aus energiereichen Teilchen und aus Gammastrahlung. Auf ihrem Weg durch die Lufthülle wird die kosmische Strahlung teilweise absorbiert. Das bedeutet, dass die Dosisleistung der kosmischen Strahlung von der Höhenlage abhängt. Sie ist auf Meeresebene am niedrigsten und beträgt hier ca. 32 nGy/h. Mit der Höhe nimmt die Dosisleistung der kosmischen Strahlung zu und ist z. B. auf der Zugspitze viermal höher als an der Küste. Im Durchschnitt führt die kosmische Strahlung in Deutschland zu einer effektiven Dosis von ca. 0,3 mSv/a.

Mit der Entstehung der Materie, aus der die Erde gebildet wurde, entstanden auch zahlreiche Radionuklide. Von diesen sind heute nur noch die Radionuklide vorhanden, deren Halbwertszeit in der Größenordnung des geschätzten Alters der Erde liegt.

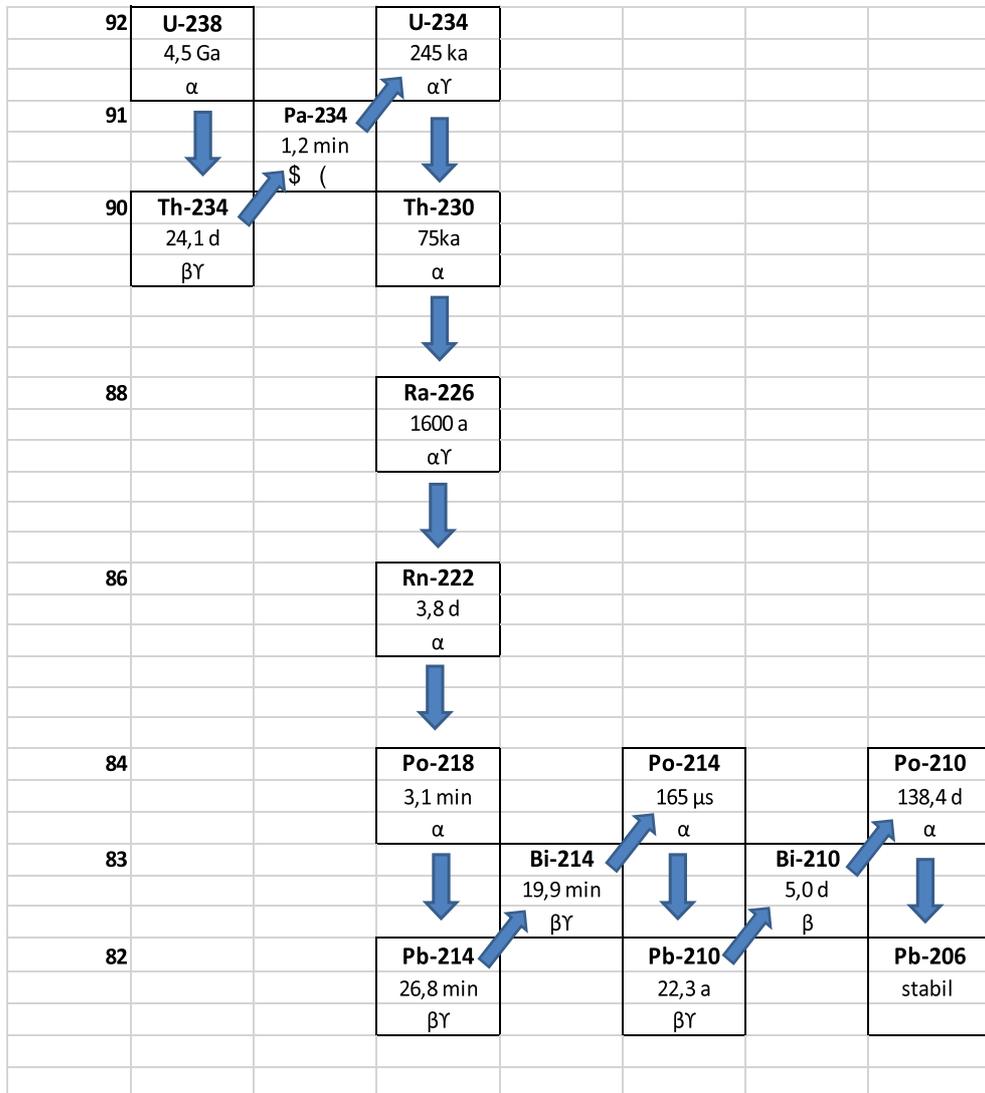
**Tab. 6.6-4** Halbwertszeit einiger natürlicher radioaktiver Nuklide [Bfs 08]

Element	Halbwertszeit
Thorium-232	14 Milliarden Jahre
Uran-235	700 Millionen Jahre
Kalium-40	1,3 Milliarden Jahre
Uran-238	4,4 Milliarden Jahre

Diese natürlichen Radionuklide und deren Zerfallsprodukte sind in unterschiedlichen Konzentrationen in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden; die von ihnen ausgehende Strahlung wird deshalb als terrestrische Strahlung bezeichnet. Die wichtigsten Elemente, die einen Beitrag zur terrestrischen Strahlung leisten, sind Kalium, Uran mit seinem Zerfallsprodukt Radium und in bestimmten Regionen Thorium.

Während im Flachland Norddeutschlands Dosisleistungen im Bereich von 40 bis 70 nSv/h vorherrschen, kann das Niveau der terrestrischen Strahlung in Gebirgsregionen mit Granitformationen, die einen erhöhten Gehalt an Uran und Radium aufweisen, Werte bis 180 nSv/h und lokal darüber erreichen. Der Mittelwert der effektiven Dosis durch terrestrische Strahlung für die Bevölkerung in Deutschland liegt bei ca. 0,3 mSv/a.

**Tab. 6.6-5** Zerfallsreihe von Uran-238. Links steht die Ordnungszahl, unter dem Nuklid dessen Halbwertszeit und die Art der auftretenden Strahlung (Quelle: Autor)



Tab. 6.6-6 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten in Bq/kg Trockenmasse [BMU 00]

Bodenart	K-40	Th-232	U-238
	spez. Aktivität (Bq/kg)		
Fahlerde	650	50	35
Schwarzerde	400	40	20
Bleicherde	150	10	7
Moorboden	100	7	7

**Tab. 6.6-7** Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern [BMU 00]

Kompartiment	Radionuklid	Wertebereich
		<i>Aktivitätskonzentration (mBq/l)</i>
Grundwasser	K-40	11 – 15 000
	U-238	1 – 200
	Ra-226	< 4 – 400
	Rn-222 (mit Folgeprodukten)	2 000 – 1 500 000
	Th-232	0,4 – 70
Oberflächenwasser	K-40	40 – 2 000
	U-238	< 2 – 40
	Th-232	< 0,04 – 0,04

Aus dem Boden gelangen die natürlichen Radionuklide in Wasser, Pflanzen und Tiere und damit in die Nahrung des Menschen. Alle unsere pflanzlichen und tierischen Nahrungsmittel sowie das Wasser enthalten geringe Konzentrationen natürlicher Radionuklide. Dabei überwiegt das radioaktive Kalium-40, das im natürlich vorkommenden Element Kalium mit 0,012 % enthalten ist. Mit jedem Kilogramm unserer pflanzlichen und tierischen Nahrung nehmen wir im Mittel etwa 100 Bq an natürlichen Radionukliden zu uns. Diese werden zum Teil in den Stoffwechsel einbezogen und verbleiben über bestimmte Zeitspannen hinweg im menschlichen Körper. Das bedeutet, dass der Mensch selbst eine gewisse Menge natürlicher Radionuklide enthält.

Die mittlere Strahlenexposition durch natürliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser liegt in der Größenordnung von 0,05 – 0,009 mSv pro Jahr und ist damit eher klein gegenüber den anderen natürlichen Quellen. Die chemische Toxizität (Giftigkeit) von Uran ist unterhalb von 60 Mikrogramm Uran/Liter (entsprechend ca. 0,7 Bq/l) Trinkwasser relevanter als die Radiotoxizität.

Die Gesamtaktivität natürlicher Radionuklide im Körper eines erwachsenen Menschen beträgt etwa 8 000 bis 9 000 Bq. Das dabei wesentliche Nuklid ist wiederum Kalium-40, da das Element Kalium ein unverzichtbarer, lebenswichtiger Baustein des menschlichen Körpers ist. Das bedeutet, dass in unserem Körper jede Sekunde 8 000 bis 9 000 Kernzerfälle stattfinden, fast 800 Millionen pro Tag. Die daraus resultierende effektive Dosis beträgt im Mittel ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Eine besondere Stellung unter den natürlichen Radionukliden nimmt das Radon ein. Radon-222 ist ein radioaktives Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, das in geringer Aktivitätskonzentration praktisch überall in unserer Lebenssphäre vorhanden ist und infolge Inhalation eine Strahlenexposition des Atemtraktes verursacht. Radon entsteht aus Uran, das in geringen, jedoch messbaren Konzentrationen in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden ist und somit auch in mineralischen Baustoffen auftritt. Uran wandelt sich durch radioaktiven Zerfall in Radium-226 um, das weiter zu Radon-222 zerfällt (siehe Tabelle 6.5-5). Aufgrund seiner Mobilität kann das Radon-222 bis in die freie Atmosphäre und in Häuser gelangen.

Sowohl in der bodennahen Atmosphäre als auch in Gebäuden ist die Radonkonzentration erheblichen Schwankungen unterworfen, die von der Jahreszeit, der Wetterlage und anderen Bedingungen abhängen.

In der bodennahen Atmosphäre wird das Radon rasch verteilt, die Radonkonzentration ist deshalb im Freien wesentlich niedriger als in Gebäuden. In die Gebäude gelangt das Radon im Wesentlichen auf zwei Wegen: aus dem Erdboden durch Risse und Undichtigkeiten im Fundament, und aus den Baustoffen, die je nach Material und Herkunft unterschiedliche Konzentrationen an Radium enthalten. Der Beitrag der Baustoffe zur Radonkonzentration in Häusern ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung. In den Wohnungen in Deutschland beträgt die Radonkonzentration im Durchschnitt 50 Bq/m<sup>3</sup>. Es wurden Jahresmittelwerte zwischen 10 und einigen tausend Bq/m<sup>3</sup> gemessen. Die Häufigkeit, mit der erhöhte Radonkonzentrationen auftreten, ist regional unterschiedlich. Diese regionale Verteilung kann im Geoportal des BfS (Radon-Konzentration im Boden) eingesehen werden.

Die Radonkonzentrationen in einem Haus weisen oft starke zeitliche Veränderungen auf, die auf Lüftungsgewohnheiten und die Witterungsverhältnisse zurückzuführen sind.

Untersuchungen zeigen, dass ein langjähriger Aufenthalt in Räumen das zusätzliche Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, um ca. 10 % ansteigen lässt, wenn die Radonkonzentration um 100 Bq/m<sup>3</sup> zunimmt.

In der Raumluft von Gebäuden ist im Durchschnitt etwa fünfmal so viel Radon enthalten wie in der Außenluft. Das spiegelt sich auch in den Mittelwerten der jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte wieder, bei deren Bestimmung die unterschiedlichen Aufenthaltszeiten im Freien und in Gebäuden berücksichtigt wurden. Während der Mensch im statistischen Mittel während des Aufenthaltes in Häusern eine Exposition von ca. 0,9 mSv pro Jahr erfährt, beträgt dieser Wert für den Aufenthalt im Freien ca. 0,2 mSv pro Jahr. Die Gesamtexposition durch Radon ergibt sich zu 1,1 mSv pro Jahr, der Wertebereich ist dabei 1 - 6 mSv. Das bedeutet, dass die jährliche Exposition durch Radon mehr als die Hälfte der jährlichen Exposition durch alle natürlichen Radionuklide zusammen ausmacht. Die durch alle Komponenten natürlicher Strahlenquellen bedingte Strahlenexposition des Menschen beträgt in Deutschland durchschnittlich etwa 2,1 mSv pro Jahr. Aufgrund natürlicher Gegebenheiten, zu denen z. B. die geologischen Bedingungen an einem bestimmten Aufenthaltsort oder dessen Höhenlage gehören, können erhebliche Abweichungen von dem Durchschnittswert auftreten.

Die natürliche Strahlenexposition kann deshalb sehr unterschiedlich sein; in Deutschland liegt sie zwischen ca. 1 und 10 mSv pro Jahr.

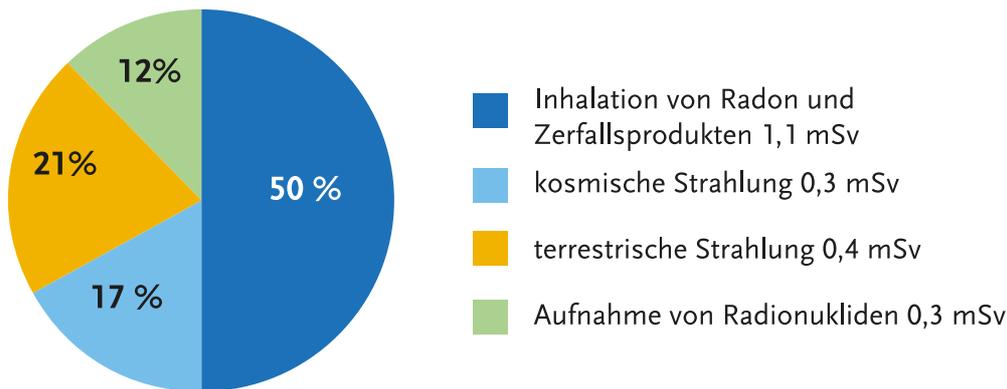


Abb. 6.6-2 Mittlere jährliche effektive Dosis der deutschen Bevölkerung der nördlichen Hemisphäre durch natürliche Strahlungsquellen, nach [BMUV22]

Die ursprüngliche Verteilung der Radionuklide in der Natur und die Höhe der natürlichen Strahlenexposition kann durch die Tätigkeit des Menschen beeinflusst werden. Diese zivilisatorischen Einwirkungen können unter Umständen erheblich sein.

Ein klassisches Beispiel dafür ist der Bergbau. In verschiedenen Regionen Deutschlands wurde bereits seit dem Mittelalter nach Erzen geschürft. Diese kamen häufig zusammen mit Uranerz vor, das damals keine Beachtung fand und mit dem Nebengestein als Abraum in der Umgebung abgelagert wurde. In Häusern, die auf diesen Halden errichtet wurden, konnten erhöhte Radonkonzentrationen auftreten. Diese Zusammenhänge wurden erst in jüngster Vergangenheit erkannt, was in vielen Fällen zur Einleitung von Maßnahmen zur Verringerung der Radonkonzentration in den Häusern führte.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde in Sachsen und Thüringen Uranerz in großem Umfang abgebaut und verarbeitet. Dies führte zu weiteren radiologischen Umweltbelastungen. Als Abraum aufgehaldete Materialien sowie Rückstände aus der Erzverarbeitung mit erhöhten Konzentrationen natürlicher Radionuklide sind Ursache lokaler Veränderungen der Strahlensituation. Diese Veränderungen sind jedoch auf bergbauliche Objekte und deren Umgebung beschränkt. Seit 1991 wurden in großem Umfang Sanierungsarbeiten durchgeführt, durch die die Belastungen der Umwelt deutlich reduziert wurden.

Weitere Beispiele für eine zivilisatorisch bedingte Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition seien hier nur kurz angeführt:

Viele Reisen werden heute mit dem Flugzeug in großen Höhen absolviert. Wegen der bereits erwähnten Abhängigkeit der Intensität der kosmischen Strahlung von der Höhe über dem Meeresspiegel werden Flugpassagiere und Besatzung dabei einer erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt. Auf einer Flughöhe von 12 000 m bei interkonti-

mentalenen Flügen beträgt die Dosisleistung auf der Nordpolarroute etwa 0,007 mSv/h. Das bedeutet, dass Flugpassagiere, die auf dieser Route mehrmals im Jahr nach Nordamerika fliegen, bei insgesamt rund 40 Flugstunden eine zusätzliche Strahlenexposition von ca. 0,2 mSv erhalten. Dies entspricht nur etwa einem Zehntel der jährlichen natürlichen Strahlendosis. Für das fliegende Personal kann es aber zu nicht mehr zu vernachlässigenden Strahlenexpositionen kommen, die dann dem Strahlenschutzrecht unterliegen.

Geringfügige Erhöhungen der natürlichen Strahlenexposition werden auch durch Kohlekraftwerke verursacht. Die in der Kohle enthaltenen natürlichen Radionuklide werden bei der Verfeuerung in der Asche angereichert, gelangen in die Atmosphäre und lagern sich auf dem Boden ab. Die dadurch zustande kommende effektive Dosis für die Bevölkerung liegt zwischen 0,001 und 0,01 mSv pro Jahr. Sie ist damit –bezogen auf die gleiche Kraftwerksleistung – etwa gleich groß wie die Jahresdosis der Bevölkerung durch Emission künstlicher Radionuklide aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb.

### Zivilisatorische Strahlenquellen

Mit der Entwicklung von Industrie, Forschung und Medizin hat sich der Mensch in zunehmendem Maße radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung nutzbar gemacht. Damit wurde den natürlichen Strahlenquellen eine Reihe künstlicher Strahlenquellen hinzugefügt. Diese sind Ursache einer zivilisatorischen Strahlenexposition.

Der weitaus größte Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition ist auf die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin zurückzuführen. Durch die Medizin, im Wesentlichen durch die diagnostische Anwendung der Röntgenstrahlung, verdoppeln sich in den Industriestaaten die durchschnittlichen natürlichen Strahlenexpositionen (siehe u. a. Abb. 6.6-2 und 6.6-3). Dieses sind statistische Durchschnittswerte, d. h., die meisten Menschen erhalten durch medizinische Maßnahmen nur eine relativ geringe Dosis, aber einige wenige können einer medizinisch bedingten Strahlenexposition ausgesetzt sein, die durchaus ein Vielfaches der natürlichen Exposition beträgt.

Röntgenuntersuchungen sind nach den Ultraschalluntersuchungen (Sonographie) die am zweithäufigsten eingesetzten bildgebenden Verfahren in der Medizin. Die Verfahren der Röntgendiagnostik wurden ständig weiterentwickelt, sodass die Zahl der Röntgenuntersuchungen in den Industriestaaten stetig anstieg. In den letzten zwei Jahrzehnten hat in Deutschland die Anzahl aber wieder abgenommen. Heute (2016) werden schätzungsweise über 137 Millionen Röntgenuntersuchungen pro Jahr (ca. 1,7 Untersuchungen pro Einwohner pro Jahr) durchgeführt [BMUV 22]. Die Fortschritte in der Röntgentechnik haben in den letzten Jahrzehnten die Voraussetzungen geschaffen, die Strahlendosis, bei gleicher diagnostischer Aussagefähigkeit, erheblich zu verringern. Andererseits wurden aber auch Untersuchungsverfahren entwickelt, die mit deutlich höheren Dosen verbunden sind, dann aber auch wesentlich höhere diagnostische Aussagekraft haben, wie z. B. die Computertomographie (CT). In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der effektiven Dosis bei einigen häufig durchgeführten Untersuchungsarten zusammengestellt.

**Tab. 6.6-8** Typische Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenmaßnahmen für Standardpatienten mit 70 kg Körpergewicht (Stand 2016) nach [BfS 17]

Untersuchungsart	Effektive Dosis in mSv
<b>Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen</b>	
Zahnaufnahme	< 0,01
Extremitäten (Gliedermaße)	< 0,01 – 0,1
Schädelaufnahmen (anterior-posterior)	0,03 – 0,06
Brustkorb, 1 Aufnahme	0,02 – 0,04
Mammographie beidseitig in je 2 Ebenen	0,2 – 0,4
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6 – 1,1
Beckenübersicht	0,3 – 0,7
Bauchraum (Abdomen-Übersicht)	0,3 – 0,7
<b>Röntgenuntersuchung mit Aufnahmen und Durchleuchtung</b>	
Magen-Darm	4 – 12
Angiographie	10 – 30
PTCA (Perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäßweiterung)	6 – 16
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,3 – 0,7
Becken-Bein-Arteriographie	5 – 9
<b>CT-Untersuchungen</b>	
Hirnschädel	1 – 3
Brustkorb (Thorax)	4 – 7
Bauchraum (Abdomen)	8 – 20

**Tab. 6.6-9** Prozentualer Anteil der verschiedenen Röntgenuntersuchungen an der kollektiven Dosis (2016), gerundet daher Summe nicht 100 % [BMUV 22]

Röntgenmaßnahme	Prozent (%)
CT	67
Angiographie/Intervention	18
Skelett	7
Verdauungs- und Urogenitaltrakt	5
Thorax	1
Mammographie	1
Sonstiges	0,8
Zahnmedizin	0,4

Die gelegentlich anzutreffende Auffassung, Röntgenstrahlung würde sich im Körper des Patienten sammeln, ist nicht richtig. Durchdringt während einer Röntgenuntersuchung die Strahlung den menschlichen Körper, wird ein Teil der Strahlung im Gewebe absorbiert und kann zu biologischen Veränderungen in den Zellen führen. Bei den meisten Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik treten Dosen auf, die deutlich geringer sind als diejenigen, denen Menschen seit jeher durch natürliche Strahlenquellen ausgesetzt sind. Bei einigen Untersuchungen, insbesondere bei CT-Untersuchungen, liegt die Dosis jedoch z. T. deutlich darüber.

Die Verantwortung für die Höhe der Strahlenexposition des Patienten liegt bei der Ärztin/beim Arzt, die dafür eine spezielle Fachkunde haben müssen. Sie treffen die Entscheidung für eine Röntgenuntersuchung unter Abwägung des möglichen diagnostischen Nutzens und der möglicherweise damit verbundenen Strahlenrisiken. In dieser sog. rechtfertigenden Indikation liegt das größte Potenzial zur Einsparung und auch Vermeidung unnötiger Dosis. Dabei sind auch alternative Untersuchungsverfahren (ohne die Anwendung von Röntgenstrahlung), wie z. B. Ultraschall, Endoskopie, Magnetresonanztomographie, zu berücksichtigen. Ist die rechtfertigende Indikation gestellt, obliegt es einer fachkundigen Ärztin/einem fachkundigen Arzt für eine optimale Durchführung der Untersuchung zu sorgen, die mit dem Stand der medizinischen Wissenschaft vereinbar ist. Die Röntgendiagnostik verursacht eine jährliche kollektive effektive Dosis von rund 1,6 mSv pro Person.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden radioaktive Stoffe verabreicht, die sich abhängig von ihren chemischen Eigenschaften im Körper unterschiedlich verteilen. Aufgrund der Radioaktivität können spezielle Messgeräte wie Gammakameras oder Positronen-Emissions-Tomographen (PET) von außen die Verteilung im Körper nachweisen und bildlich darstellen. Diese Untersuchungsmethode kann Aussagen zur Funktion einer Vielzahl von Organismen sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen wie auch der örtlichen Verteilung von Krankheitsherden (z. B. Entzündungen oder Krebs) liefern. In Deutschland werden jährlich ca. 2,5 Millionen Untersuchungen mit Radionukliden durchgeführt. Die nuklearmedizinischen Untersuchungen verursachen eine jährliche kollektive effektive Dosis pro Einwohner von rund 0,1 mSv.

**Tab. 6.6-10** Prozentualer Anteil an der kollektiven effektiven Dosis der nuklearmedizinischen Untersuchungen (2016), gerundet daher Summe nicht 100 %, nach [BMUV 22]

Nuklearmedizinische Untersuchung	Prozent (%)
Skelett	30
Herz	31
Schilddrüse	18
PET	8
Lunge	4
Gehirn	2
Tumoren	5
Sonstige	1
Niere	0,8

In Deutschland werden pro Jahr an ca. 322 000 Patienten therapeutische Strahlenanwendungen durchgeführt. Davon bei ca. 283 000 Patienten aufgrund von bösartigen Erkrankungen (Krebs). Die dabei applizierte Dosis im Zielvolumen (Tumor) muss in der Größenordnung von ca. 20–40 Sv liegen, um den Tumor mit hoher Wahrscheinlichkeit abzutöten. Bei diesen Therapien sind in der Regel deterministische Schäden nicht auszuschließen. Der Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis ist trotzdem zu vernachlässigen.

Auch wenn bei der Nutzung der Kernenergie in Leistungsreaktoren zur Erzeugung von Strom Sicherheitsaspekte absoluten Vorrang vor wirtschaftlichen Fragen haben, ist es nicht möglich, diese ohne Auswirkungen auf die Umwelt zu betreiben. Die damit verbundene Strahlenexposition ist aber durch gesetzliche Bestimmungen geregelt und deren Einhaltung wird kontinuierlich durch den Staat überwacht. Die zulässigen Werte für die Strahlenexposition sind so festgelegt, dass sie innerhalb der Schwankungsbreite des natürlichen Strahlenpegels in Deutschland liegen. Die Ableitung über Luft oder Wasser darf maximal je 0,3 mSv/a betragen. Diese Grenzwerte sollen und werden nicht ausgeschöpft, sondern weit unterschritten. Die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung beträgt im Mittel weniger als 0,01 mSv/a.

In der Industrie und in der Forschung werden eine Vielzahl von radioaktiven Stoffen eingesetzt. So wird die Dichtigkeit von Schweißnähten bei Erdgasrohrleitungen mit radioaktiven Stoffen oder Röntgengeräten vor Ort überwacht. In der Forschung werden radioaktive Stoffen u. a. eingesetzt, um Stoffwechselprozesse und Stofftransporte in Organismen zu verstehen. In Deutschland sind pro Jahr mehr als 450 000 Versandstücke mit radioaktivem Material unterwegs. Auch wenn in Deutschland ca. 440 000 Beschäftigte als strahlenexponierte Personen überwacht werden, beträgt rechnerisch die ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung dadurch im Mittel weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Der Unfall des Kernkraftwerkes Tschernobyl 1986 in der Sowjetunion führte zu einer europaweiten Verteilung von radioaktiven Stoffen, die auch heute noch in der Umwelt nachgewiesen werden kann. Das dabei freigesetzte Isotop Cäsium-137 (Cs-137) kann noch heute gemessen werden und führte zu nicht zu vernachlässigenden Expositionen in Pilzen und Wildfleisch. In Südbayern werden noch Maronen gefunden, die 4 000 Bq/kg Cs-137 aufweisen. Eine Pilzmahlzeit von 200 g würde zu einer Exposition von 0,01 mSv führen. Die Verteilung der radioaktiven Stoffe mit dem Wind war aber auch in Deutschland sehr unterschiedlich. Die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung beträgt im Mittel dabei weniger als 0,015 mSv/a.

Bis 1963 wurde von den Atommächten eine Vielzahl von Kernwaffen in der Atmosphäre gezündet. Damit wurde radioaktives Material weltweit verteilt. Dieses trägt noch heute messbar zur Strahlenexposition bei, besonders durch die langlebigen Radioisotope Strontium-90 und Cäsium-137. Die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung beträgt im Mittel dabei weniger als 0,01 mSv/a. Durch den Vertrag über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser im Jahr 1963 wurde der Anstieg dieser Exposition gestoppt.

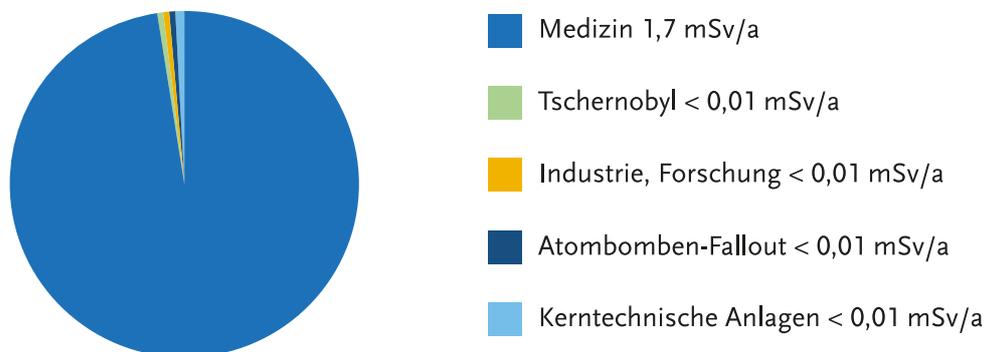


Abb. 6.6-3 Mittlere effektive Dosis der deutschen Bevölkerung durch zivilisatorische Strahlenquellen, nach [BMUV 22]

### Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland

Natürliche und zivilisatorisch bedingte Strahlenquellen sind Ursache einer Strahlenexposition, der jeder Mensch ausgesetzt ist. Die dabei aufgenommene effektive Dosis pro Jahr kann für den Einzelnen sehr unterschiedlich sein. Die Höhe der natürlichen Strahlenexposition ist vom Aufenthaltsort und von den individuellen Lebensgewohnheiten abhängig, die Höhe der zivilisatorischen Strahlenexposition wird maßgeblich durch die Inanspruchnahme medizinischer Maßnahmen unter Verwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung bestimmt. Die Strahlungsdosis der Bevölkerung wird in Werten angegeben, die über Deutschland über ein Jahr gemittelt sind.

Die mittlere effektive Dosis, die aus allen natürlichen Strahlenquellen resultiert, beträgt im Mittel etwa 2,1 mSv pro Jahr. Neben der kosmischen Komponente von 0,3 mSv und der terrestrischen Komponente von 0,4 mSv trägt die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung 0,3 mSv zur Strahlenexposition bei. Ein Teil der Exposition durch die radioaktiven Edelgase Radon und Thoron sowie ihre kurzlebigen Folgeprodukte von etwa 1 mSv ist unvermeidbar. Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition liegt in Deutschland bei etwa 2 mSv pro Einwohner und Jahr.

Der größte Beitrag wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung liegt unter 1 % der zivilisatorischen Strahlenexposition.

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht. Die Zahl der überwachten Personen liegt in Deutschland bei rund 420 000, davon der größte Teil in der Medizin. Mit Personendosimetern messbare Dosen wurden bei ca. 99 000 Personen ermittelt (Mittelwert 0,34 mSv) [BfS Internet2022]. Dies ist weniger als 5 % des Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen. Durch die kosmische Strahlung tritt auch beim Personal in Flugzeugen eine Strahlenexposition auf. Im Jahr 2020 führte dieses bei diesen 38 000 Personen zu einer mittleren Jahresdosis von ca. 0,62 mSv. Damit trägt das fliegende Personal ca. 50 % der Kollektivdosis (ca. 48,8 Pers-Sv/a) aller strahlenexponierter Personen [BfS Internet 2022]. Durch die COVID-19 Pandemie sind diese Zahlen gegenüber dem Vorjahr erheblich niedriger. Aktuelle Daten zur Strahlenbelastung in Deutschland können dem jeweiligen Jahresbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) entnommen werden.

Die Erkrankung durch ionisierende Strahlung trägt die BK Nr. 2402. Nach den Zahlen, die durch den DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) veröffentlicht wurden, gab es im Jahr 2021 399 Anzeigen mit dem Verdacht einer Berufserkrankung durch ionisierende Strahlung und in 14 Fällen wurde diese anerkannt.

### Messung ionisierender Strahlung

Der sichere Umgang mit ionisierender Strahlung setzt voraus, dass diese zuverlässig gemessen werden kann. Das ist schon allein deswegen erforderlich, weil der Mensch kein Sinnesorgan besitzt, das ihm die Wahrnehmung ionisierender Strahlung ermöglicht. Ionisierende Strahlung lässt sich in der Regel sehr gut messen. Das Prinzip der Strahlungsmessung beruht auf der Nutzung der ionisierenden Wirkung der Strahlung in Materie, beispielsweise in

einem Gas, einem Kristall oder einem Filmmaterial.

Das klassische Anwendungsbeispiel hierfür ist die Ionisationskammer. Diese besteht aus einem gasgefüllten Behälter, in dem sich zwei Elektroden befinden, an denen eine Gleichspannung anliegt. Die in das Messvolumen einfallende Strahlung ionisiert einen Teil der Gasmoleküle. Die Häufigkeit der Ionisationsvorgänge hängt von der Intensität der Strahlung ab. Im Gas werden Ladungsträgerpaare gebildet: positiv geladene Ionen und negative Elektronen. Durch die angelegte Spannung werden die Ladungsträger zu der jeweils entgegengesetzt geladenen Elektrode hin angezogen. Es fließt ein Strom, dessen Stärke gemessen werden kann. Die Stromstärke ist ein Maß für die Intensität der Strahlung. Mit einer Ionisationskammer kann je nach Messbedingung sowohl die Dosis als auch die Dosisleistung bestimmt werden. Wird zwischen den Elektroden der Messkammer eine Hochspannung angelegt, wird jeder einzelne Ionisationsvorgang im Messvolumen lawinenartig verstärkt. An den Elektroden entstehen Spannungsimpulse, die elektronisch gezählt werden. Deshalb werden diese Geräte als Zählrohre bezeichnet. Eines der bekanntesten Geräte ist das Geiger-Müller-Zählrohr, das umgangssprachlich auch als „Geigerzähler“ bekannt ist. Zählrohre sind vielseitig verwendbar. Bei der Messung von Gammastrahlung werden sie zur Bestimmung der Dosis und Dosisleistung eingesetzt. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Bestimmung des Aktivitätsgehaltes von Radionukliden in Substanzen, z. B. in Proben von Bio- oder Umweltmedien. Die zumeist sehr geringen Aktivitätskonzentrationen in diesen Proben können jedoch nur dann zuverlässig bestimmt werden, wenn die Messanordnung mit geeigneten Materialien (z. B. Blei) von der natürlichen Umgebungsstrahlung abgeschirmt wird.

Andere Arten von Strahlungsmessgeräten verwenden als Detektormaterial feste Stoffe in Kristallform, Gläser, Kunststoff oder andere spezielle Materialien. Die Wahl des geeigneten Messgerätes einschließlich des Detektors hängt in hohem Maße von der Messaufgabe ab. Bevor man sich für ein bestimmtes Messgerät entscheidet, muss geklärt sein, welcher Art die Strahlenquelle ist, welche Strahlung oder welches Strahlungsgemisch gemessen werden soll und in welchem Dosisleistungsbereich die Intensität der Strahlung erwartet wird. Letzteres ist von entscheidender Bedeutung bei der Wahl der Empfindlichkeit des Messgerätes. Das bedeutet, dass z. B. mit einem Gerät, das zur Überwachung von Arbeiten im Kernkraftwerk geeignet ist, keine verlässlichen Messwerte gewonnen werden können, wenn man versucht, damit die Aktivitätskonzentration von Radionukliden in Umweltmedien zu bestimmen. Mit einem Strahlungsmessgerät können nur dann zuverlässige Messergebnisse erzielt werden, wenn es gemäß den Messbedingungen verwendet wird, für die es konzipiert wurde. Eine wichtige Messaufgabe in der Praxis des Strahlenschutzes besteht darin, die Dosis zu ermitteln, die von Personen beim beruflichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung aufgenommen wird. Die dazu verwendeten Strahlungsmessgeräte werden als Personendosimeter bezeichnet. In der Regel werden die Dosimeter an der Arbeits- oder Schutzkleidung befestigt und registrieren auf diese Weise die Personendosis in einem sich örtlich und zeitlich ändernden Strahlungsfeld.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Diese Dosimeter werden deshalb als Filmdosimeter bezeichnet. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Filmdosimeter werden bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Wird mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen, ist die Oberflächenkontamination messtechnisch zu überwachen, um eine Verschleppung oder Inkorporation zu vermeiden.

Messung von Radon in Trinkwasser dürfen nur durch dafür akkreditierte Labore durchgeführt werden.

Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration in Gebäuden können sowohl mit passiven als auch direkt anzeigenden Geräten durchgeführt werden. Zu den passiven Messgeräten zählen u. a. mit Kernspurdetektoren ausgestattete Radon-Diffusionskammern. Diese passiven Dosimeter eignen sich insbesondere für Langzeitmessungen über mehrere Monate. Zur Untersuchung von zeitlichen Änderungen wie z. B. Lüften sollten direkt anzeigende Messgeräte verwendet werden. Das BfS führt jährlich Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte durch, die Ergebnisse sind im Internet auf den Seiten des BfS veröffentlicht.

### Wirkung ionisierender Strahlung auf Menschen

Von Anbeginn der Welt hat sich alles Leben unter dem Einfluss natürlicher Strahlenquellen entwickelt. Das bedeutet, dass sich alle Lebewesen, so auch der Mensch, im Zuge der Evolution dieser Bedingung anpassen mussten. Heute wissen wir, dass ionisierende Strahlung, unabhängig davon, ob sie natürlichen oder künstlichen Ursprungs ist, eine schädigende Wirkung auf die Zelle als kleinste biologische Einheit ausüben kann, indem sie die Erbsubstanz (DNS) der lebenden Zelle verändert oder beschädigen kann. Zellverluste oder Veränderungen in den Zellen

sind jedoch nicht gleichbedeutend mit der Entstehung eines gesundheitlichen Schadens. Der Organismus besitzt die Fähigkeit, Zellverluste auszugleichen sowie geschädigte Zellen zu erkennen und durch Reparaturmechanismen, Absterben der Zelle sowie durch Eingreifen der Immunabwehr einen normalen Zustand wiederherzustellen.

Die Abwehr- und Reparatursysteme können jedoch versagen oder überfordert sein. Ein ausschlaggebender Faktor dafür ist die Höhe der Dosis, mit der eine Zelle oder ein Organ exponiert wurde. Von wesentlichem Einfluss auf die „Leistungsfähigkeit“ der Reparatursysteme ist auch die Dosisleistung, d. h. der Zeitraum, in dem die Dosis aufgenommen wird, und die räumliche Verteilung der durch die Strahlung gesetzten Zellschädigungen über ein Organ oder den gesamten Organismus.

Wird z. B. eine bestimmte Dosis innerhalb eines kurzen Zeitraumes aufgenommen und dabei eine größere Anzahl von Zellen praktisch gleichzeitig geschädigt, können die Reparatursysteme an ihre Grenzen gelangen. Wird die gleiche Dosis über einen langen Zeitraum verteilt aufgenommen, werden nur wenige Zellen gleichzeitig geschädigt und der Organismus kann mit hoher Wahrscheinlichkeit in den normalen Zustand zurückgeführt werden. Ähnliches gilt für die räumliche Verteilung von Zellschädigungen, die umso effektiver repariert werden, je „vereinzelter“ sie auftreten.

Die biologische Wirkung der ionisierenden Strahlung auf den Menschen kann auf zwei Wegen auftreten: Deterministische Strahlenwirkungen können direkt auf eine Strahlenexposition zurückgeführt werden. Sie setzen hohe Strahlungsdosen voraus und treten sofort oder innerhalb weniger Wochen nach der Exposition auf. Sie machen sich erst bemerkbar, wenn ein bestimmtes Maß zerstörter oder geschädigter Zellen überschritten wird. Daher tritt diese Art von Schäden erst oberhalb einer Mindestdosis – dem Schwellenwert – auf. Dieser liegt beim Menschen bei akuter Exposition des ganzen Körpers bei rund 500 mSv (0,5 Sv). Dann können sich kurzzeitige, nur von Ärztinnen/Ärzten feststellbare Veränderungen des Blutbildes zeigen. Je höher die Strahlungsdosis ist, desto schwerer ist die Erkrankung. Betroffen sind in erster Linie die Blutbildungsorgane, die Schleimhäute des Magen-Darm-Traktes und der Luftwege sowie die Keimdrüsen. Eine akute Exposition des ganzen Körpers, die den Schwellenwert von 0,5 Sv um mehr als das Zehnfache überschreitet, führt beim Menschen, ohne medizinische Gegenmaßnahmen, in der Regel zum Tod.

Stochastische Strahlenwirkungen treten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erst Jahre oder Jahrzehnte nach der Exposition auf. Die Höhe der Dosis beeinflusst dabei nicht die Schwere der zu erwartenden Strahlenschäden, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass diese auftreten. Stochastische Strahlenwirkungen beruhen auf Vorgängen zufälliger Art: Wurde durch Strahleneinwirkung im Zellkern der Informationsgehalt einer Zelle verändert und anschließend vom Organismus nicht richtig repariert, und bleibt die Zelle aber sonst lebensfähig, kann die Veränderung an nachfolgende Zellgenerationen weitergegeben werden. Je nachdem, ob es sich um eine Keimzelle oder eine Körperzelle handelt, kann es sich um eine Veränderung der Erbanlagen handeln oder es können bösartige Neubildungen wie Krebs entstehen.

Die Wahrscheinlichkeit einer stochastischen Strahlenwirkung wird auch durch den Begriff des Schadensrisikos zum Ausdruck gebracht. Dieses Risiko wird auf der Grundlage von Modellen und Extrapolationen auch für den niedrigen Dosisbereich berechnet (für weniger als 10 mSv). Dabei wird auf grundsätzliche strahlenbiologische Überlegungen zurückgegangen und angenommen, dass auch kleinste Strahlendosen eine biologische Wirkung haben können und ihnen ein bestimmtes Schadensrisiko zuzuordnen ist.

Deshalb kann selbst für kleinste Schadensrisiken, denen große Personengruppen ausgesetzt sind, eine bestimmte, wenn auch geringe Anzahl von Spätschäden, z. B. Krebserkrankungen, abgeschätzt werden. Diese Zahl der rechnerisch ermittelten Fälle wird häufig als gesicherte biologische Realität dargestellt. Sie besitzt jedoch einen rein hypothetischen Charakter, denn sie kann nicht von spontanen Krebserkrankungen unterschieden werden, die in vergleichbaren nicht bestrahlten Bevölkerungsgruppen auftreten. Die medizinische Statistik zeigt, dass in Deutschland etwa jeder vierte Todesfall auf eine spontan auftretende Krebserkrankung zurückzuführen ist. Strahlenbedingte Krebsfälle können daher nur mit statistischen Methoden in großen Personengruppen, nicht jedoch bei Einzelpersonen am Krankheitsbild festgestellt werden.

### 6.6.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle

#### Angewandter Strahlenschutz

In Medizin, Industrie und Landwirtschaft, im Umweltschutz, bei der Energieerzeugung und im Bereich der Forschung werden radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung auf vielfältige und nützliche Weise angewendet. Jede Anwendung fügt zu der ohnehin vorhandenen natürlichen Strahlenexposition eine zivilisatorisch bedingte Strahlenexposition hinzu oder erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass diese auftritt. Auf diese Anwendungen richten sich die Maßnahmen des Strahlenschutzes; sie haben das Ziel, den Schutz des Menschen vor der schädigenden Wirkung der ionisierenden Strahlung zu gewährleisten, ohne die Anwendungen, die der Anlass für die Strahlenexposition sind, mehr als notwendig einzuschränken. Das System des Strahlenschutzes beruht dabei auf folgenden allgemeinen Prinzipien:

Jede Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung oder jede Anlage, die eine Strahlenexposition verursacht, muss gerechtfertigt sein. Das bedeutet, die Anwendung oder der Betrieb der Anlage muss einen Nutzen für den Einzelnen oder die Gesellschaft erbringen, der auf anderem Wege nicht zu erlangen ist und der das Risiko, dadurch einen Schaden zu verursachen, mehr als aufwiegt.

Ist eine Anwendung gerechtfertigt, muss ihre Durchführung optimiert werden. Dabei wird gefordert, dass alle dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Maßnahmen ausgeschöpft werden, um das Schadensrisiko für den Einzelnen und die Bevölkerung zu minimieren. Der Strahlenschutz geht dabei weltweit nach dem "**ALARA-Prinzip**" vor. ALARA steht für "As Low As Reasonably Achievable" - was bedeutet, dass die Maßnahmen, die ergriffen werden, um die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten, unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftig und sinnvoll sein müssen.

In der Praxis wird das durch die Optimierung von **vier Grundregeln des Strahlenschutzes** erreicht. Im Einzelnen sind das:

1. Abschirmung der Strahlung durch geeignete Materialien
2. Beschränkung der Aufenthaltsdauer in einem Strahlungsfeld
3. Einhaltung eines sicheren Abstandes zur Strahlenquelle
4. Verwendung einer möglichst geringen Aktivität der Strahlenquelle bei einer bestimmten Anwendung.

Der Mensch kann einer Strahlenexposition auf unterschiedliche Weise ausgesetzt sein. Befindet sich eine Strahlenquelle außerhalb des menschlichen Körpers, wie z. B. das Röntgengerät bei einer röntgendiagnostischen Untersuchung, erfolgt eine äußere Strahlenexposition. Wurden jedoch Radionuklide mit der Nahrung oder über die Atemluft in den Körper aufgenommen - der Fachmann spricht von einer Inkorporation - erfolgt eine innere Strahlenexposition.

Je nach konkretem Fall werden unterschiedliche Varianten der Optimierung angewendet. Die Röntgenassistentin schützt sich beispielsweise vor äußerer Strahlung, indem sie beim Röntgen den Raum verlässt und sich hinter eine abschirmende Wand begibt. Zur Vermeidung einer unzulässigen inneren Strahlenexposition muss hingegen durch eine Reihe anderer Maßnahmen dafür Sorge getragen werden, dass die Aktivität von Radionukliden in der Umwelt des Menschen ein bestimmtes Maß nicht übersteigt - so z. B. in Luft, Wasser oder Nahrungsmitteln.

Die Wirksamkeit der Strahlenschutzmaßnahmen wird sichergestellt, indem die Einhaltung festgelegter Dosisgrenzwerte für die Exposition von Personen kontrolliert wird. Dosisgrenzwerte werden oft fälschlicherweise wie eine Trennlinie zwischen "gefährlicher" und "ungefährlicher" Strahlenexposition interpretiert. Es wird dabei angenommen, dass bei Einhaltung des durch Gesetze vorgeschriebenen Grenzwerts die aufgenommene Dosis hinnehmbar sei, bei Überschreitung des Grenzwerts jedoch gefährlich.

Eine Überschreitung des Grenzwerts bedeutet, dass diese - bei fortdauernder Exposition - für den Einzelnen mit einem radiologischen Risiko verknüpft ist, das unter normalen Umständen nicht mehr akzeptiert werden kann. Unterhalb der Dosisgrenzwerte geht der Strahlenschutz von der Hypothese der Existenz eines geringen radiologischen Risikos aus. Gemäß ALARA-Prinzip ist es deshalb nicht ausreichend, einfach den Dosisgrenzwert einzuhalten, sondern es müssen alle vernünftigen und sinnvollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Strahlenexposition auch unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts so niedrig wie möglich zu halten. In der Praxis liegen deswegen die tatsächlichen Jahresdosen beruflich strahlenexponierter Personen weit unter den vorgeschriebenen Grenzwerten.

#### Gesetzliche Regelungen zum Schutz vor ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen

Die Maßnahmen zum Schutz vor der schädigenden Wirkung der ionisierenden Strahlung sind in speziellen Geset-

zen und Verordnungen geregelt. Die wissenschaftliche Grundlage dafür wird von der United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) einer Unterorganisation der UNO zusammengestellt. Auf dieser Grundlage entwickelt die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) Empfehlungen für den Strahlenschutz. Die Strahlenschutzgesetzgebung wird in Europa im Rahmen des EURATOM-Vertrages einheitlich und verbindlich festgelegt. Diese Richtlinien müssen von allen Mitgliedstaaten als Mindestvorschriften umgesetzt werden.

Die wichtigsten gesetzlichen Regelungen für den Strahlenschutz in Deutschland sind:

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG): 2013 wurde eine neue europäische Basisstrahlenschutz-Richtlinie 2013/59/EURATOM erlassen. Diese wurde mit dem im Juni 2017 erlassenen Strahlenschutzgesetz umgesetzt. Es bildet damit die Grundlage des deutschen Strahlenschutzrechtes.

Das Atomgesetz (AtG): Es ist das übergeordnete Gesetzeswerk, das die Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken regelt. Es enthält die wesentlichen Vorschriften, die zur Gewährleistung der Sicherheit bei der Nutzung der Kernenergie einzuhalten sind und legt die internationalen Verpflichtungen der Bundesrepublik auf dem Gebiet der Kernenergie fest.

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV): Ab 2019 basiert die Strahlenschutzverordnung auf dem Strahlenschutzgesetz und legt nähere Regelungen des Strahlenschutzes auf allen hierfür relevanten Gebieten fest mit dem Ziel, sowohl Personen beim beruflichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung als auch die Bevölkerung vor der schädigenden Wirkung der Strahlung zu schützen. Dazu wird das Konzept der Rechtfertigung und Optimierung jeder Strahlenanwendung in ein System von Regeln umgesetzt und das Schutzziel in Form von Dosisgrenzwerten kontrollierbar festgelegt. Die Prinzipien des Strahlenschutzes bei der medizinischen Strahlenanwendung werden ebenfalls geregelt.

Auf den Internetseiten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) sind alle für den Strahlenschutz relevanten Gesetze und Verordnungen einsehbar.

### Wann ist das Strahlenschutzrecht anzuwenden?

Da ionisierende Strahlung und radioaktive Stoffe ubiquitär sind, muss für den Fall der Verwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe vorher geprüft werden, ob die Kriterien, die das Strahlenschutzrecht vorgibt, eingehalten sind. Werden die Kriterien nicht erfüllt, ist eine Genehmigung notwendig.

Die Kriterien für genehmigungsfreie Tätigkeiten sind in der Anlage 3 der StrlSchV aufgeführt.

Die Menge eines radioaktiven Stoffs, der ohne Genehmigung verwendet werden darf, ist für jedes Radionuklid als Freigrenze (Aktivität oder spezifische Aktivität) in der Anlage 4 der StrlSchV aufgeführt.

**Tab. 6.6-11** Beispiele für Freigrenzen verschiedener radioaktiver Isotope (nach Anlage 4 der StrlSchV) [StrlSchV18]

Element	Isotop	Freigrenze [Bq]	Freigrenze Bq/g]	Anwendung (Beispiel)
Kobalt	Co-60	1E+5	1E+3	Prüfstrahler
Americium	Am-241	1E+1	1E-1	Prüfstrahler
Wasserstoff	H-3	1E+9	1E+2	Markierung

Bevor Beschäftigte in fremden Anlagen oder Einrichtungen tätig werden dürfen, die eine Umgangsgenehmigung haben, ist zu prüfen, ob der entscheidende Betrieb dafür eine Genehmigung oder eine Anzeige bei der zuständigen Behörde benötigt (§§ 25 und 26 StrlSchG).

Auch bei der Beförderung (versenden, transportieren oder empfangen) radioaktiver Stoffe sind neben den Bestimmungen des Gefahrguttransportrechtes (ADR/RID) wie die Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnengewässer [GGVSEB 19] ggf. auch die Bestimmungen des Strahlenschutzrechtes (§§ 27 bis 30 StrlSchG) zu beachten.

Bei dem Umgang mit radioaktiven Stoffen kann es notwendig sein, dass dieses mit der lokal zuständigen Feuerwehr abgestimmt werden muss. Näheres dazu ist in der jeweiligen Umgangsgenehmigung der zuständigen Behörde festgelegt.

Zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen in Innenräumen müssen ggf. Messungen der Radonkonzentration durchgeführt werden (§ 127 StrlSchG). In Radon Vorsorgegebieten, die in Geoportal des BfS in Internet eingesehen werden können, muss der Arbeitgeber entsprechende Messungen durchführen lassen.

### Strahlenschutzverantwortliche

Bei allen Tätigkeiten nach Strahlenschutzrecht muss es immer einen Strahlenschutzverantwortlichen geben. Auch bei juristischen Personen muss dafür immer eine zur Vertretung berechtigte natürliche Person eingesetzt sein.

Die Aufgaben und Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen sind umfangreich und komplex und sind sowohl im StrlSchG wie auch in der StrlSchV beschrieben.

Ein Strahlenschutzverantwortlicher muss, wenn er nicht selbst im Strahlenschutz fachkundig ist, fachkundige Strahlenschutzbeauftragte bestellen. Durch die Delegation wird aber die Verantwortung des Strahlenschutzverantwortlichen nicht eingeschränkt. Dem Strahlenschutzverantwortlichen können aber nach einer umfänglich durchgeführten Bestellung von Strahlenschutzbeauftragten nur noch die Organisations- und Aufsichtspflichten obliegen.

In großen Betrieben oder Institutionen mit vielen Strahlenschutzbeauftragten kann es sinnvoll sein, Strahlenschutzbevollmächtigte zu bestellen, die die Organisation in Teilbereiche koordinieren.

### Strahlenschutzbeauftragter

Strahlenschutzbeauftragte nehmen im betrieblichen Strahlenschutz eine zentrale Funktion ein. Sie werden vom Strahlenschutzverantwortlichen schriftlich mit Angabe ihres innerbetrieblichen Entscheidungsbereichs bestellt, um den Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung zu beaufsichtigen und zu leiten. Die Rechte, Aufgaben und Pflichten müssen dabei detailliert beschrieben werden. Benennung und Abberufung sind durch den Strahlenschutzverantwortlichen der zuständigen Behörde mitzuteilen.

Der Strahlenschutzbeauftragte darf bei der Ausübung seiner Tätigkeit (im innerbetrieblichen Entscheidungsbereich) nicht behindert werden und keine Nachteile aufgrund seiner Tätigkeit erfahren.

Strahlenschutzbeauftragte müssen zwingend eine für die jeweilige Tätigkeit ausreichende und aktuelle Fachkunde im Strahlenschutz gemäß StrlSchV haben. Das Vorliegen der Fachkunde muss von einer zuständigen Behörde bescheinigt sein.

Im Gegensatz zu der Fachkraft für Arbeitsschutz oder anderen betrieblichen Beauftragten hat der Strahlenschutzbeauftragte nicht nur eine Beratungsfunktion gegenüber dem Unternehmer, sondern in seinem innerbetrieblichen Entscheidungsbereich auch Weisungsbefugnis und kann z. B., wenn er es aus Gründen des Strahlenschutzes für notwendig ansieht, die Fortführung von Arbeiten untersagen.

Die zuständige Behörde kann die Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten kontrollieren.

Der Strahlenschutzbeauftragte ist gehalten, konstruktiv mit den Fachkräften für Arbeitssicherheit, Personalvertretungen und ermächtigten Ärztinnen/Ärzten zusammenzuarbeiten.

### Zusammenarbeit Arbeitsschutz - Strahlenschutz

Der Strahlenschutzverantwortliche und der Strahlenschutzbeauftragte haben bei der Wahrnehmung/Erfüllung ihrer Aufgaben mit dem Betriebsrat/Personalrat und den Fachkräften für Arbeitsschutz zusammenzuarbeiten und sie über wichtige Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu unterrichten. Der Strahlenschutzbeauftragte hat den Betriebsrat/Personalrat auf dessen Verlangen in Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu beraten.

### Zuständige Behörde

Die für die Genehmigung des Umgangs mit ionisierender Strahlung zuständigen Behörden sind in der Regel Landesbehörden, die das Strahlenschutzrecht im Auftrage des Bundes ausführen. Welche das im jeweiligen Bundesland ist, ist von Land zu Land sehr unterschiedlich und ist für jeden Umgangsort gesondert zu ermitteln.

### Strahlenschutzanweisung

Der Strahlenschutzverantwortliche ist gesetzlich dazu verpflichtet, eine Strahlenschutzanweisung zu erlassen. Diese ist ein Dokument, das eine zusammengefasste, detaillierte Darstellung des Strahlenschutzes in dem jeweiligen

Betrieb darstellt. Darin müssen die Verhaltensanweisungen und Arbeitsabläufe beschrieben sein. Für verschiedene Tätigkeiten gibt es im Internet Musterstrahlenschutzanweisungen (z. B. auf den Seiten des Fachverbands für Strahlenschutz).

Eine Strahlenschutzanweisung kann Bestandteil sonstiger erforderlicher Betriebsanweisungen sein. Aufgrund der detaillierten gesetzlichen Vorgaben für die Strahlenschutzanweisung wird dieses aber als wenig empfehlenswert angesehen.

### Fachkunde im Strahlenschutz

Im Strahlenschutzrecht besitzt die Fachkunde im Strahlenschutz einen hohen Stellenwert. Für eine Reihe von herausgehobenen Tätigkeiten wie die der Strahlenschutzbeauftragten und der ermächtigten Ärztinnen/Ärzte schreibt das Strahlenschutzrecht sehr detailliert Anforderungen für diese Fachkunde vor.

Je nach Fachkunde sind unterschiedliche abgeschlossene Ausbildungen, eine vorgeschriebene Zeit des praktischen Sachkunderwerbs unter fachlicher Anleitung und die erfolgreiche Teilnahme an einem anerkannten Strahlenschutzkurs vorgeschrieben. Die jeweiligen Anforderungen sind in zwei Richtlinien über die im Strahlenschutz erforderlichen Fachkunden (Technik oder Medizin) im Detail beschrieben.

Die Fachkunde wird von der nach Landesrecht zuständigen Stelle geprüft und bescheinigt und sie gilt bundesweit.

Die Fachkunde muss regelmäßig, spätestens alle fünf Jahre aktualisiert werden.

### Normen

Der Stand der Technik im Strahlenschutz ist in mehreren hundert nationalen und internationalen Normen (die in die deutsche Normung übernommen worden sind) beschrieben. Zum Strahlenschutz sind zahlreiche DIN-Normen veröffentlicht worden, die den medizinischen Bereich, den „konventionellen“ industriellen Bereich, die Forschung und Lehre sowie die Kerntechnik abdecken. Das vollständige Angebot ist im Internet unter [www.din.de](http://www.din.de) einsehbar (Eine Übersicht ist u. a. auch im Strahlenschutz-Lexikon des Fachverbandes für Strahlenschutz zu finden). Einige Normen wurden von der internationalen Organisation für Normung wie der ISO oder vom Europäischen Komitee für Normung und von der internationalen elektrotechnischen Kommission übernommen als DIN-ISO-Norm, DIN-EN-Norm bzw. DIN-ICE-Norm herausgegeben.

Einige Beispiele:

- DIN 6814: Begriffe der radiologischen Technik
- DIN 6812: Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV, baulicher Strahlenschutz
- DIN 25400: Zeichen für ionisierende Strahlung
- DIN 25462: In-situ-Gammaspektrometrie zur nuklidspezifischen Umweltkontaminationsmessung
- DIN 44427: Prüfstrahler mit Aufbewahrungsbehälter
- DIN 51003: Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- DIN EN 12679: Zerstörungsfreie Prüfung - Bestimmung der Strahlergrößen von industriell genutzten Radio-Nukliden - Durchstrahlungsverfahren
- DIN IEC 62302: Umwelt- und Strahlenschutz-Messgeräte - Einrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung radioaktiver Edelgase am Arbeitsplatz, in Ableitungen und der Umwelt
- DIN ISO 9271: Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen- Prüfung von Dekontaminationswaschmitteln für Textilien

Ob es zu einer konkreten technischen Anwendung und einem Verfahren eine Norm gibt, kann auf den Internetseiten recherchiert werden.

## 6.6.4 Vorschriften, Regelwerke, Literatur

[www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de); <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

- [AtG 85] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz); 15. Juli 1985
- [ArbSchG 96] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz); 7. August 1996
- [BfS 08] STRAHLUNG UND STRAHLENSCHUTZ: Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz, Salzgitter; 2008
- [BfS 17] STRAHLUNG UND STRAHLENSCHUTZ: Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz, Salzgitter; 2017
- [BMU 00] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 1998; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; 2000
- [BMUB 15] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2013; Bundesministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit; 2015
- [BMUB 16] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2015; Bundesministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit; 2016
- [BMUV 22] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2019; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz; 2022
- [EU 80] Richtlinie 80/836/EURATOM des Rates zur Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen festgelegt wurden; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; 17. September 1980
- [EU 96] Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; 29. Juni 1996
- [EU 97] Richtlinie 97/43 EURATOM des Rates über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/EURATOM; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; 30. Juli 1997
- [3]EU 13] Richtlinie 2013/51/EURATOM zur Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe im Wasser für den menschlichen Gebrauch; 22. Oktober 2013
- [EU 13a] Richtlinie 2013/59/EURATOM zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung zur Aufhebung der Richtlinie 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM und 2003/122/EURATOM; 5. Dezember 2013
- [GGVSEB 19] Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnengewässer; BGBl. 1 S. 258] 11. März 2019
- IRPA14[IRPA 14] International Radiation Protection Association; IRPA guiding principles for establishing a radiation protection culture; Edition 2014
- [Kiefer 12] Strahlung und Gesundheit; Jürgen Kiefer; Wiley-VCH; 2012
- [StrlSchG 17] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG); 3. Juli 2017
- [StrlSchV 18] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV), 29.11.2018
- [UNSCEAR 00] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources and Effects of ionizing Radiation; United Nations publication 2000
- [UBA 05] Umweltbundesamt; Uran im Trinkwasser; Umweltbundesamt; 2005
- [UNSCEAR 06] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Effects of Ionizing Radiation; United Nations publication; 2006
- [UNSCEAR 08] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources and Effects of Ionizing Radiation; United Nations publication 2008
- [SSK 20] Strahlenschutzkommission; Organisatorische Voraussetzungen für einen erfolgreichen betrieblichen Strahlenschutz: 11./12. Februar 2020

### Internetlinks

- [Bundesamt für Strahlenschutz \(BFS\)](#)
- [Geoportal beim BFS](#)
- [BMUV - Thema "Atomenergie - Strahlenschutz"](#)

- International Atomic Energy Agency (IAEA)
- Strahlenschutzkommission
- Fachverband für Strahlenschutz e. V.

## 6.6.5 Autoren und Ansprechpartner

### Autor:

– Dr. rer. nat. Hauke Brüggemeyer

### Ansprechpartner

– Dipl.-Ing. Marlies Kittelmann  
Fachgruppe 2.4 "Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit"

### Kontakt

## 6.7 Unter- oder Überdruck

Unter- und Überdruck beeinflussen die Aufnahme bzw. Abgabe von Atemgasen.

- Unterdruck in Höhenlagen, Flugzeugen oder Unterdruckkammern schränkt die Sauerstoffversorgung ein und kann insbesondere bei gleichzeitiger körperlicher Beanspruchung zu physiologischen Störungen bis zu schwerer Höhenkrankheit und tödlichen Lungen- und Hirnödemen führen.
- Bei Überdruck beim Tauchen und im Spezialtiefbau unter Wasser reichern sich Atemgase im Körper an, die bei zu schneller Druckabnahme lebensgefährliche physiologische Störungen und Schädigung von Knochen- und Muskelgewebe, der Kreislauf Funktionen, des Zentralnervensystems und der Atemorgane hervorrufen können. Pro 10 000 Tauchgängen kommt es durchschnittlich bei Sporttauchern zu einem, bei Berufstauchern zu 9,5 Unfällen [1].

### Druck

Druck wird als die auf eine Fläche wirkende Kraft verstanden und in verschiedenen Einheiten angegeben. Üblich sind die Einheiten Pascal (Pa) und bar<sup>[1]</sup>:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 0,01 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ bar} = 1000 \text{ mbar} = 100.000 \text{ Pa} = 1000 \text{ HPa} = 100 \text{ kPa}$$

### Umgebungsdruck

Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Druckverhältnisse, denen ein Mensch ausgesetzt ist (Umgebungsdruck).

Technischer Über- oder Unterdruck in Leitungen, Geräten usw., denen der Mensch nicht als Ganzes ausgesetzt ist, gehört zu den mechanischen Faktoren (siehe dort unter "[Unkontrolliert bewegte Teile](#)").

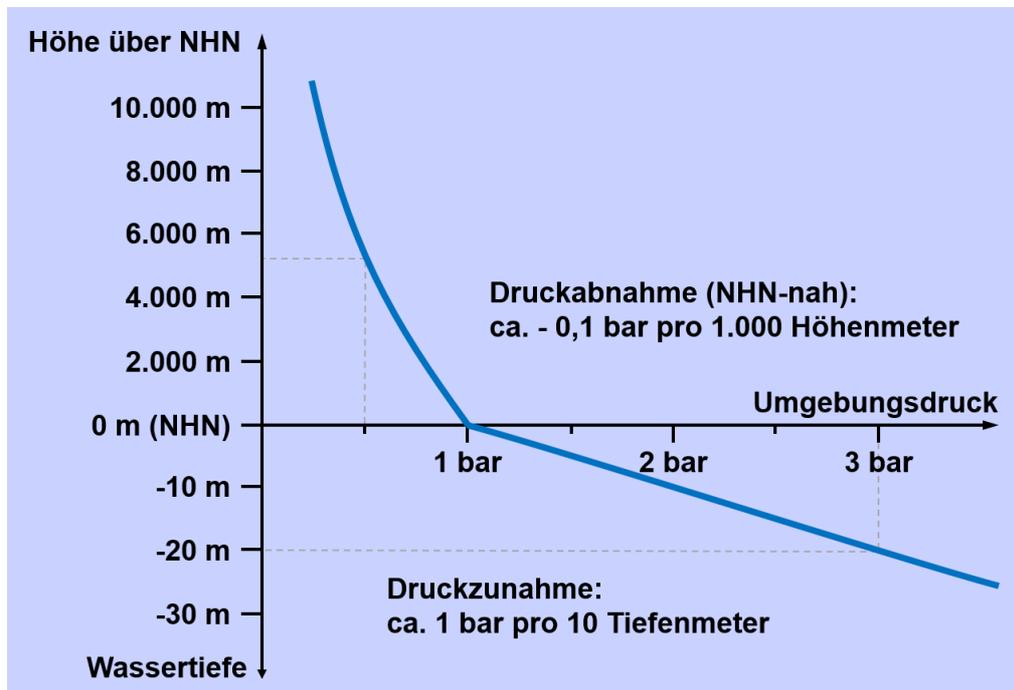


Abb. 6.7-1. Druckzu- und abnahme in Abhängigkeit von Wassertiefe beziehungsweise Höhe über Normalhöhennull (Quelle: Autor)

### Atmosphärendruck auf Normalhöhennull (NHN)

Der Atmosphärendruck auf Normalhöhennull (NHN; entspricht etwa dem Meeresspiegel) beträgt etwa 1 bar. Durch Aufenthalt in größeren Höhen über dem Meeresspiegel oder unter der Wasseroberfläche verändern sich die Umgebungsdruckverhältnisse (vgl. Abb. 6.7.1). Für bestimmte Arbeitsverfahren wird der Umgebungsdruck gezielt erhöht.

Angaben zu Unterdruck oder Überdruck beziehen sich meist auf den Atmosphärendruck auf Meereshöhe. Ein Überdruck von 0,5 bar entspricht beispielsweise einem Umgebungsdruck (auch Absolutdruck genannt) von 1,5 bar; ein Unterdruck von 0,2 bar entspricht dem Umgebungsdruck von 0,8 bar.

### Unterdruck

Unterdruck bezeichnet den Zustand, bei dem ein Mensch einem Umgebungsdruck ausgesetzt ist, der den normalen Luftdruck auf Meereshöhe von etwa 1 bar unterschreitet.

#### Unterdruckarbeiten

Als Arbeiten in Unterdruck gelten ([2], S. 64):

- Tätigkeiten bei einem Umgebungsdruck kleiner als 0,73 bar
- Tätigkeiten in großen Höhenlagen ab etwa 2 500 Metern über dem Meeresspiegel

#### Auftreten und Tätigkeiten

Unterdruck tritt u. a. auf

- in Luftfahrzeugen während des Flugs<sup>[2]</sup> (bei Piloten, Flugbegleitern und Passagieren),
- an hoch gelegenen Arbeitsplätzen (z. B. Bergführer, professionelle Bergsteiger, Arbeiten auf hoch gelegenen Baustellen, Tätigkeiten in hoch gelegenen Hotels, an Skiliften usw., Auslandstätigkeiten, Entwicklungshelfer usw. in großen Höhenlagen),
- in Unterdruckkammern (z. B. Forschungstätigkeiten, Training von Leistungssportlern in Unterdruckkammern, Lagerung von Salaten in Unterdruckkammern).

**Nicht** zu Arbeiten in Unterdruck zählen Arbeiten unter Unterdrucklüftung, bei denen ein leichter Unterdruck verhindern soll, dass gefährliche Stoffe (z. B. Asbest, biologische Arbeitsstoffe) in die Umwelt gelangen (z. B. in chemi-

schen oder biologischen Laboratorien). Hier treten in der Regel nur geringe Unterdrücke unter 0,1 bar Unterdruck auf.

## Überdruck

Überdruck bezeichnet den Zustand, bei dem ein Mensch einem Druck ausgesetzt ist, der den normalen Luftdruck von etwa 1 bar übersteigt.

### Überdruckarbeiten

Als Arbeiten in Überdruck gelten

- Arbeiten in Umgebungsdruck mit einem Überdruck von mehr als 0,1 bar,
- Arbeiten unter Wasser, bei denen der Beschäftigte über ein Tauchgerät mit der erforderlichen Atemluft versorgt wird.

**Nicht** als Arbeiten in Überdruck sind anzusehen:

- Tätigkeiten in Räumen und Schutzanzügen, in denen aus Lüftungstechnischen Gründen, um das Eindringen unerwünschter Stoffe zu verhindern, ein Umgebungsdruck mit weniger als 0,1 bar Überdruck herrscht (Überdruckbelüftung, z. B. in Reinräumen, Operationssälen, ABC-Schutzanlagen, Flucht- und Rettungswegen; in Schutzanzügen in speziellen chemischen oder biologischen Laboratorien).
- Arbeiten mit Atemschutzgeräten, die z. B. entsprechend DIN EN 137 als Überdruckpressluftatmer in Normaldruck zum Einsatz kommen

### Auftreten und Tätigkeiten

Überdruck wird zum einen gezielt erzeugt, um das Eindringen von unerwünschten Stoffen zu vermeiden, etwa im Spezialtiefbau, meist um Wasser zu verdrängen und unter Wasser trockenes Arbeiten zu ermöglichen (Taucherglocke, Senkkasten/Schwimmtauchergeräte (sog. Caissons), Schildvortrieb im Tunnelbau – hier fallen u. a. Bau-, Schweiß- und Transportarbeiten, Überwachungs- und Instandhaltungsarbeiten an). Gezielt erzeugter Überdruck wird auch als Arbeitsdruck bezeichnet.

Überdruck tritt zum anderen beim Tauchen als unerwünschte Begleiterscheinung auf. Bei Tauchgängen werden handwerkliche Tätigkeiten sowie Bergungs-, Sicherungs-, Such-, Überwachungs- und Messarbeiten durchgeführt. Die meisten arbeitsbedingten Tauchereinsätze erfolgen in Häfen und an Wasserbauwerken in Wassertiefen bis ca. 30 m [3].

<sup>[1]</sup> Veraltete Einheiten sind z. B. die technische Atmosphäre (1  $t_a = 1 \text{ kp/cm}^2 = 0,981 \text{ bar}$ ), die physikalische Atmosphäre (1  $\text{atm} = 1,013 \text{ bar}$ ), Millimeter-Quecksilbersäule (1  $\text{mmHg} = 1 \text{ Torr} = 1,33 \text{ mbar}$ ) oder im angloamerikanischen Bereich Pounds-force per square inch (1  $\text{psi} = 69 \text{ mbar}$ ).

<sup>[2]</sup> Übliche Flughöhen sind 30 000 bis 42 000 ft (entspricht 10 000 bis 12 000 m, entspricht einem Luftdruck von 0,27 bis 0,19 bar). In dieser Flughöhe werden Flugzeuge mit Druckkabinen eingesetzt, die einen höheren Kabinendruck aufrechterhalten (0,76 bar 2 438 m über NHN).

## 6.7.1 Art der Gefährdungen und deren Wirkungen

### Gefährdungen durch Unterdruck

Gefährdungen treten insbesondere bei zu schnellem Aufstieg in größere Höhen bzw. bei zu schneller Druckminderung auf.

#### Wirkungen auf den Menschen

Sehr schnelle Druckschwankungen (z. B. in Aufzügen, Seilbahnen, bei Flugzeugstarts, plötzlichem Druckabfall in Kabinen oder Kammern) wirken sich zunächst vorwiegend auf das Mittelohr und die Nasennebenhöhlen (Druckgefühl) aus.

Hauptproblem bei Arbeiten in Unterdruck ist der mit dem Druck abnehmende Sauerstoffgehalt in der Atemluft: Die reduzierte Sauerstoffversorgung belastet den Kreislauf und mindert die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit, ggf. verstärkt durch erhöhten Sauerstoffbedarf bei gleichzeitig körperlicher Anstrengung oder erhöhten Aufmerksamkeitsanforderungen. Schon bei Höhenlagen unterhalb 2 000 m (unterhalb einem Umgebungsdruck von 0,8 bar) können geringfügige Leistungseinbußen auftreten; ab 3 000 m ist die Leistungsfähigkeit signifikant gemindert [4].

Schon vier Stunden Schlaf im Flugzeug (bei 0,76 bar) führen zu signifikanter Reduzierung der Sauerstoffsättigung des Blutes, flacherem Schlaf und signifikanter Minderung der Leistungsfähigkeit in der folgenden Wachphase [5].

#### Höhenbeschwerden

Ab einer Druckabnahme von etwa 0,2 bar treten bei fast jedem Exponierten leichte Höhenbeschwerden wie leichte Kopfschmerzen, Schlaf- und Appetitstörungen sowie Dyspnoe (erschwerter Atem) auf, die aber nach mehreren Tagen Höhenanpassung verschwinden.

#### Höhenkrankheit

Bei höherer Druckabnahme (z. B. bei schnellem Aufstieg in Höhen über 3 000 m) zeigen sich innerhalb von 4 bis 24 Stunden Symptome der akuten Höhenkrankheit. Es können stärkere Kopfschmerzen, Herzrasen, Kurzatmigkeit, Appetit- und Schlaflosigkeit, Schwindel, Übelkeit, Kältschweißigkeit, Erbrechen, Konzentrations- und Koordinationsstörungen, ungewohntem Leistungsverlust, Reizbarkeit, Apathie, Selbstüberschätzung und Fehleinschätzungen, verengtes Gesichtsfeld, Bewusstseinsveränderung (sog. Höhenrausch) sowie Abfall der Lichtempfindlichkeit und Störungen der Nachtsehfähigkeit auftreten. Es schließen sich Störungen der Motorik und Koordination an bis hin zum denkbaren Hypoxiekollaps (Sauerstoffmangel im Gewebe). Ab 5 000 m Höhe ist jeder Zweite betroffen. Bei empfindlichen Personen treten diese Erscheinungen auch schon in geringeren Höhen auf. Es bestehen Einschränkungen der Höhenverträglichkeit bei bestimmten Erkrankungen.

#### Ödeme

Oberhalb von 4 000 Metern (entspricht Umgebungsdruck unter 0,62 bar) können innerhalb von 24 Stunden in 1-3 % ein Höhenlungenödem bzw. oberhalb von 5 000 Metern seltener das Höhenhirnödem auftreten, die in 25 % bzw. 40 % der Fälle tödlich verlaufen.

#### Wechselwirkungen

Wechselwirkungen bestehen z. B. im Flugverkehr durch Nacht- und Schichtarbeit und wechselnde Tagesrhythmen (Jetlag).

Die oben beschriebenen Wahrnehmungseinschränkungen und Rauschzustände erhöhen das Unfallrisiko stark.

Die verminderte Durchblutung bei Unterdruck erhöht das Risiko von Erfrierungen insbesondere der Extremitäten.

### Gefährdungen durch Überdruck

Gefährdungen beziehen sich insbesondere auf Phasen der Kompression bzw. Dekompression, aber auch auf die Isopressionsphase.

#### Wirkungen auf den Menschen

Bei zunehmendem Druck werden die in der Atemluft enthaltenen Gase, insbesondere Stickstoff vermehrt aufgenommen. Die Sättigung hängt vom Arbeitsdruck bzw. der Tauchtiefe und der Expositions- bzw. Tauchzeit, aber auch von der Kreislaufaktivität (körperlich schwere Arbeiten) ab, wobei es anfangs zur Sättigung der Körperflüssigkeiten, dann von gut durchbluteten, später aller Gewebe kommt. Bei Dekompression (abfallender Druck) werden die eingelagerten Gase über das Kreislaufsystem und die Lunge wieder freigesetzt und ausgeschieden.

Gesundheitsprobleme können in der Regel ab einem Überdruck > 0,1 bar auftreten.

#### **Atemgasintoxikation**

Bei hohem konstantem Überdruck (Isopressionsphase) besteht die Gefahr von Atemgasintoxikation [3]. Auch Verunreinigungen der Atemluft mit Kohlenmonoxid, nitrosen Gasen und Kohlendioxid kommen vor und können zu Intoxikationserscheinungen führen.

Erkrankung durch Arbeit in Druckluft ist in der Liste der Berufskrankheiten als [BK 2201](#) enthalten.

Beim Auftauchen und nach Tauchgängen treten jährlich mehrere Hundert Dekompressionsunfälle auf [1]. Pro 10 000 Tauchgänge kommt es durchschnittlich bei Sporttauchern zu einem, bei Berufstauchern zu 9,5 Unfällen [1]. Zwischen 1993 und 2014 haben die Unfallversicherungsträger 267 Anzeigen wegen "Erkrankung durch Arbeit in Druckluft" (BK 2201) erhalten und 126 Fälle als Berufskrankheit anerkannt (Auswertung der Meldedaten an die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung).

#### **Wechselwirkungen**

Darüber hinaus bestehen in Überdruck über Wechselwirkungen mit anderen Gefährdungen erhöhte Risiken:

- Dekompressionserscheinungen können verstärkt werden, wenn sich Exponierte innerhalb der folgenden Stunden in Unterdrucksituationen begeben, z. B. einen Flug antreten oder in höhere Lagen fahren.
- Da Druckluft mehr Sauerstoff enthält, erhöht sich die Brandgefahr. Die Zündtemperatur ist verringert und die Abbrandgeschwindigkeit nimmt zu.
- Rauchgase, die beim Schweißen und Schneiden entstehen, wirken in Überdruck erheblich gesundheitsschädlicher. Die für Normaldruck ausgelegten Luftgrenzwerte sind nicht anwendbar.
- In Überdruck erzeugen Schallquellen höhere Lärmimmissionen. Gefahr von Gehörschädigung tritt bei geringerer Schallemission auf als bei Normalumgebungsdruck.

## 6.7.2 Ermittlung und Beurteilung

Eine Gefährdung besteht, wenn ein Mensch

- einem Unterdruck kleiner als 0,73 bar ausgesetzt sein kann oder
- Arbeiten in Höhenlagen ab etwa 2 500 m über Normalhöhennull (NHN) ausführt oder
- in Druckluft mit einem Überdruck von mehr als 0,1 bar arbeitet oder
- bei Unterwasserarbeiten ein Tauchgerät zur Atemluftversorgung nutzt.

Weitere Orientierung, bei welchen Tätigkeiten solche Gefährdungen bestehen, geben die Abschnitte "Auftreten und Tätigkeiten" in der Einführung.

Für die Risikobeurteilung der Gefährdungen durch Unter- bzw. Überdruck stehen spezifische Beurteilungsverfahren nicht zur Verfügung. Für viele Anwendungsfälle können aber qualitative Anforderungen in Vorschriften und Regeln sowie Literatur zum Stand der Technik zur Risikobeurteilung herangezogen werden (vgl. Abschnitt "Vorschriften, Regelwerke, Literatur").

Werden die für den Anwendungsfall zutreffenden qualitativen Anforderungen

- **vollständig und zuverlässig eingehalten**, kann von einem geringen Restrisiko im Akzeptanzbereich ausgegangen werden. Eine weitere Risikoreduzierung ist aber ggf. möglich und anzustreben.
- **weitgehend vollständig, aber nicht hinreichend zuverlässig eingehalten**, besteht ein Risiko im Besorgnisbereich, das Maßnahmen insbesondere des aktiven Risikomanagements erfordert, um sicherzustellen, dass das noch tolerierbare Risiko zuverlässig eingehalten und möglichst weit unterschritten bleibt.
- **nicht oder unzureichend eingehalten**, besteht Gefahr, d. h. ein nicht tolerierbares Risiko. Maßnahmen der Risikoreduzierung sind erforderlich.

Arbeiten unter Druckluft und Arbeiten mit Tauchgeräten gelten als besonders gefährliche Arbeiten nach Anhang II der Baustellenverordnung. Die Betriebsärztin/der Betriebsarzt ist bei Bedarf bei der Risikobeurteilung hinzuzuziehen.

Bei der Risikobeurteilung sind besondere Personengruppen, wie z. B. Jugendliche, Schwangere, stillende Mütter, und für diese geltende besondere Anforderungen zu berücksichtigen.

**Nicht beschäftigt** werden dürfen nach § 9 DruckLV<sup>[1]</sup>

- Arbeitnehmer allgemein in Druckluft von mehr als 3,6 bar Überdruck,
- Arbeitnehmer unter 18 oder über 50 Jahre in Druckluft von mehr als 0,1 bar Überdruck.

Taucharbeiten dürfen nur Personen ab 21 Jahren und bis 50 Jahre durchführen. Beschäftigungsverbote bestehen auch bei akuten und chronischen Erkrankungen, auch Zahnerkrankungen.

Schwangere und stillende Mütter dürfen unter Überdruck nicht arbeiten (§ 11 MuSchG).

[1] Für Arbeiten in Druckluft von mehr als 3,6 bar Überdruck sowie für Beschäftigte über 50 Jahre bei Arbeiten in Druckluft von mehr als 0,1 bar Überdruck sind entsprechend § 6 DruckLV auf Antrag und unter bestimmten Voraussetzungen Ausnahmegenehmigungen möglich.

### 6.7.3 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle

Arbeitsschutzmaßnahmen sind auf der Grundlage einer Beurteilung der Arbeitsbedingungen gemäß § 5 ArbSchG in aller Regel vor Aufnahme der Tätigkeit zu ergreifen, um sicherzustellen, dass Beschäftigte bei Tätigkeiten mit Unter- bzw. Überdruck nur akzeptablen, zumindest aber tolerablen Restrisiken ausgesetzt sind.

Um dies zu gewährleisten, ist eine entsprechende Wirksamkeit der Maßnahmen vor Aufnahme der Tätigkeit zu kontrollieren. Der Arbeitgeber muss sicherstellen, dass die Maßnahmen dauerhaft wirksam bleiben. Dies ist in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren. Dabei hat der Arbeitgeber eine stetige Verbesserung der Arbeitsbedingungen anzustreben (vgl. § 3 Absatz 1 ArbSchG).

#### Unterdruck

##### Unterdruck vermeiden

Der Aufenthalt in Höhenlagen sowie Flughöhen ohne Druckkabine über 3 000 Meter (entspricht Umgebungsdruck unter 0,73 bar) sind möglichst zu vermeiden.

##### Sicherheitstechnische Maßnahmen

Für Flüge über 6 000 m (20 000 ft) über NHN müssen Flugzeuge mit Druckkabinen ausgerüstet sein. Flugzeuge mit Druckkabinen müssen mit einer Sauerstoffanlage ausgerüstet sein und bei Flügen über 3 000 m einen ausreichenden Sauerstoffvorrat mitführen (§ 21 Betriebsordnung für Luftfahrtgerät (LuftBO)).

##### Persönliche Schutzausrüstung

In Höhenlagen ab 2 500 m können aufblasbare Drucksäcke (ggf. mit Sauerstoffzufuhr) zur schnellen Linderung bei auftretender Höhenkrankheit bereitgestellt werden.

In Höhenlagen ab 3 000 m wird für unangepasste Personen das Mitführen eines Sauerstoffspendegerätes empfohlen.

##### Organisatorische und verhaltensbezogene Maßnahmen

In Höhenlagen ab 2 500 m ist in den ersten Tagen schwere körperliche Arbeit zu vermeiden. Nach mehrtägiger Anpassung ist jedoch Arbeit bis zu einer Höhe von 5 000 bis 6 000 m (> 0,48 bar) noch möglich.

Zur Vorbeugung der Höhenkrankheit ist ein langsamer Anstieg und ausreichende Flüssigkeitszufuhr zu empfehlen.

Treten bei Höhen ab 2 500 m erste Anzeichen einer Höhenkrankheit auf, ist neben Rast und Flüssigkeitszufuhr insbesondere der zügige Abstieg in niedrigere Lagen erforderlich.

#### Überdruck

##### Übergreifende Gestaltungskonzepte

##### Überdruck vermeiden

Da Arbeiten in Überdruck mit hoher Belastung und Gesundheitsrisiken verbunden sind, sind alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um solche Arbeiten zu vermeiden und zu minimieren. Dabei geht es unter Einbeziehung von Experten darum, alternative Produktions- und Arbeitsverfahren auszuloten bzw. zu entwickeln.

Für das Inverkehrbringen von Geräten mit einem Überdruck von 0,5 bar ist ggf. die [Druckgeräteverordnung](#) zu beachten.

##### Sicherheitstechnische Maßnahmen

Beim Einsatz von Atemgeräten kann bei höherem Überdruck die Zusammensetzung des Atemgases verändert werden, z. B. Ersatz von Stickstoff durch Helium oder/und Wasserstoff oder Reduzierung des Sauerstoffanteils (z. B. Nitrox, Heliox oder Trimix). Derartige Gasgemische ermöglichen Arbeiten unter noch höherem Druck (z. B. 20-30 bar) bzw. in größeren Tauchtiefen bis zu mehreren Hundert Metern.

Der Einsatz von Atemgasen ohne Stickstoff oder/und Sauerstoffatmung über Sauerstoffmaske in der Dekompression ermöglicht eine schnellere Dekompression und senkt das Risiko von Dekompressionserkrankungen signifikant. Weitere Hinweise enthält die DGUV Information [201-061](#).

An Arbeitskammern und Einrichtungen werden zahlreiche Beschaffenheitsanforderungen gestellt (§§ 4 und 5 [Druckluftverordnung \(DruckLV\)](#) in Verbindung mit Anhang 1).

Weitere technische Gestaltungsmaßnahmen enthalten Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen [RAB 25](#), Anhang, Abschnitt 4.

### Organisatorische Maßnahmen

Um zeitaufwendige Dekompressionsphasen zu vermeiden, halten sich Druckluftarbeiter bzw. Taucher zwischen den Arbeits- bzw. Tauchgängen über längere Zeit in Druckkammern mit Arbeitsdruck auf (Sättigungstauchen).

Insbesondere Dekompressionsprozesse müssen sehr langsam ablaufen, damit die im Gewebe gesättigten Gase (besonders Stickstoff) ohne gefährliche Bläschenbildung aus dem Gewebe entweichen können. Bei einem 30-minütigen Tauchgang in 100 m Tiefe dauert die Dekompression mehrere Stunden. Eine vollständige Entsättigung ist erst nach ca. 36 Stunden erreicht.

An die Ausschleusungs- und Wartezeiten zwischen den Einsätzen in Druckluft werden abhängig von den Einsatz- und Rahmenbedingungen unterschiedliche, spezifische Anforderungen gestellt (§ 21 [DruckLV](#)). Anhang 2 der [DruckLV](#) enthält Tabellen für Ausschleusungs- und Wartezeiten bei unterschiedlichen Bedingungen (abrufbar beim [Bundesgesetzblatt](#), 1979, Nr. 39)). Weitere Hinweise sind in den Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen [RAB 25](#), Teil 3 zu finden.

Durch organisatorische Maßnahmen können die Gesundheitsrisiken verringert werden (siehe Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen ([RAB 25](#), Anhang, Abschnitt 3):

- Die ersten beiden Einsätze in Druckluft (auch nach längeren Pausen) sollten verkürzt erfolgen.
- Vor dem Ausschleusen trockene Kleidung anziehen.
- Während der Druckluftarbeiten und des Ausschleusens auf ausreichende Flüssigkeitsaufnahme achten.
- Zusätzlichen Dekompressionsstress durch druckgeminderte Höhenlagen (z. B. Flug, Höhengaufenthalt, Passfahrten), körperliche Anstrengung, längere Autofahrten vermeiden bzw. in Abstimmung mit dem Druckluftarzt zusätzliche Maßnahmen ergreifen wie verlängerte Dekompressions- und Wartezeiten, verkürzte Arbeitszeiten.
- Für den Fall von Drucklufterkrankungen ist ein Verfahrensablauf festzulegen und allen Mitarbeitern zu vermitteln, um eine schnelle fachgerechte Behandlung sicherzustellen ([DGUV Information 250-006](#)).
- Verhaltensbezogene Maßnahmen

Die Dekompression muss sich an festgelegten Regelungen orientieren ([DruckLV](#), Anhang 2; [DGUV Vorschrift 40](#)).

Es wird empfohlen, dass jeder Beschäftigte auch außerhalb der Arbeitszeit eine rote Notfallkarte bei sich führt, die u. a. lebensrettende Hinweise zur Behandlung von Druckfallbeschwerden enthalten kann ([DGUV Information 250-006](#)).

### Arbeitsmedizinische Vorsorge bzw. ärztliche Untersuchung

Der Arbeitgeber darf einen Arbeitnehmer zu Taucherarbeiten nur nach einer arbeitsmedizinischen Vorsorge (Pflichtvorsorge gem. § 4 [ArbMedVV](#) mit Anhang 3 (1) Nummer 5) beschäftigten. Der Arbeitgeber hat über die in Druckluft Beschäftigten eine Vorsorgekartei zu führen mit Angaben, dass, wann und aus welchen Anlässen arbeitsmedizinische Vorsorge stattgefunden hat (§ 3 Absatz 4 [ArbMedVV](#)).

Arbeitnehmer dürfen nur in Druckluft beschäftigt werden, wenn sie von einem gem. § 13 [DruckLV](#) ermächtigten Arzt untersucht worden sind, und zwar

- vor der ersten Beschäftigung bzw.
- vor Ablauf eines Jahres seit der letzten Untersuchung.

Die Bescheinigung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit ist Tätigkeitsvoraussetzung. Die Untersuchungen müssen erfolgt sein

- innerhalb von zwölf Wochen vor Beginn der Beschäftigung
- und anschließend jeweils vor Ablauf von zwölf Monaten.

Vor der Weiterbeschäftigung nach Erkrankungen, Erkältungen oder sonstigem Nichtwohlfühlen muss der ermächtigte Arzt festgestellt haben, dass gesundheitliche Bedenken gegen die Weiterbeschäftigung nicht bestehen (§ 11 [DruckLV](#)).

### Spezifische Maßnahmen bei Druckluftarbeiten

Arbeitgeber, die Beschäftigte in Luftdruck über 0,1 bar Überdruck einsetzen wollen, müssen die erforderlichen Schutzmaßnahmen ergreifen:

#### Anzeigepflicht

Arbeiten unter Druckluft sind bei der zuständigen Behörde spätestens zwei Wochen vor Aufnahme der Arbeiten anzuzeigen. Auch geplante oder eingetretene Änderungen gegenüber der Anzeige hat der Arbeitgeber unverzüglich schriftlich anzuzeigen (§ 3 DruckLV).

Erholungsräume, sanitäre Einrichtungen, Druckluftkammer

- Der Arbeitgeber muss bestimmte Erholungsräume und sanitäre Einrichtungen für die Beschäftigten bereitstellen (§ 17 DruckLV).
- Ab einem Arbeitsdruck von 0,7 bar ist am Arbeitsplatz eine Krankendruckluftkammer zur Rekompensation bereitzustellen, mit der im Falle einer auftretenden Drucklufterkrankung eine Behandlung sehr schnell eingeleitet werden kann und damit irreversible Spätfolgen infolge verspäteter Behandlung vermieden werden können (§ 17 DruckLV).

#### Technische Prüfungen

Arbeitskammern sind vor der Inbetriebnahme und nach wesentlichen Änderungen einer Prüfung durch behördlich anerkannte Sachverständige zu unterziehen. Schleusen und Schachtrohre müssen darüber wiederkehrend geprüft werden, vor Ablauf von drei Jahren bzw. nachdem sie zum dritten Mal neu installiert worden sind (§ 7 DruckLV).

#### Ermächtigter Arzt

Der Arbeitgeber hat einen ermächtigten Arzt mit spezieller arbeitsmedizinischer Fachkunde bezüglich Arbeiten in Druckluft (Druckluftarzt genannt) zu beauftragen, die notwendigen Maßnahmen zur Verhütung von Gesundheitsgefahren zu veranlassen, die Arbeitnehmer zu beraten und Drucklufterkrankte zu behandeln. Dazu muss der Arzt in der Regel während der Arbeits- und Wartezeiten jederzeit an der Arbeitsstelle erreichbar sein, d. h. innerhalb von maximal 30 Minuten an der Arbeitsstelle zur Verfügung stehen (§ 12 DruckLV). Die Einleitung der Behandlung von drucklufterkrankten Beschäftigten kann der ermächtigte Arzt auf einen Bereitschaftsarzt übertragen. Für Ausnahmen auf Antrag geben die Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen "Arbeiten in Druckluft" (RAB 25) weitere Hinweise.

#### Geschulte Fachkräfte

Der Arbeitgeber hat bestimmte speziell geschulte Fachkräfte zu bestellen, die während des Betriebs festgelegte Überwachungs- und bei Bedarf Brandbekämpfungs- oder Erste-Hilfe-Maßnahmen wahrnehmen (§ 18 DruckLV). Unter anderem muss er einen Fachkundigen mit einem behördlichen Befähigungsschein bestellen, der die Arbeiten in Druckluft leitet und überwacht sowie Erlaubnisscheine (vgl. DGUV Information 201-061, Anlage 8) ausstellt. Weitere Hinweise zu den Aufgaben und Qualifikationsanforderungen der zu bestellenden Fachkräfte enthalten die Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen "Arbeiten in Druckluft" (RAB 25) sowie die DGUV Information 201-061 in Abschnitt 5.2.

#### Unterweisung

Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass der leitende Fachkundige und der beauftragte Arzt die Arbeitnehmer vor Beginn der Beschäftigung und mindestens halbjährlich über die Unfall- und Gesundheitsgefahren und die Einrichtungen und Maßnahmen zur Abwendung dieser Gefahren belehren. Vor Beginn der Beschäftigung hat der Arbeitgeber jedem Arbeitnehmer zudem ein entsprechendes Merkblatt in dessen Sprache auszuhändigen (§ 20 DruckLV).

### Spezifische Maßnahmen bei Baumaßnahmen

#### Baustellenkoordinator

Arbeiten in Überdruck auf Baustellen zählen zu den besonders gefährlichen Arbeiten nach § 2 Absatz 3 Baustellenverordnung (BaustellV). Da es sich meist um Bauvorhaben größeren Umfangs mit mehreren Arbeitgebern handelt, muss der Bauherr in der Regel einen Koordinator bestellen, der einen Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan erstellt sowie eine Unterlage für spätere Arbeiten zusammenstellt. Der Koordinator muss in der Regel

unter Einschaltung zusätzlicher Fachleute auf die Auswahl von Bauverfahren mit möglichst geringen Risiken hinwirken (siehe Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen - [RAB 25](#) "Arbeiten in Druckluft", Anhang, Abschnitt 11). Umfangreiche Empfehlungen zu Arbeiten in Druckluft insbesondere im Tiefbau sind in der DGUV Information [201-061](#) zusammengestellt. Insbesondere im Tunnelbau können Einsätze mit Arbeitsdrücken über 3,6 bar und Taucharbeiten in der Stützflüssigkeit einer Tunnelbohrmaschine unvermeidlich sein. DGUV Information 201-061 beschreibt in den Abschnitten 6 und 7 die erhöhten Anforderungen für diesen Sonderfall.

### Spezifische Maßnahmen bei Tauchgängen

Bei Tauchgängen muss der Arbeitgeber unabhängig von Druckluftarbeiten folgende Pflichten erfüllen:

#### Taucheinsatzleiter

Taucheinsätze müssen unter der Leitung eines schriftlich bestellten Taucheinsatzleiters erfolgen. Dieser muss die Einsatzbedingungen beurteilen, den Tauchgang schriftlich planen, den sicheren Ablauf des Tauchereinsatzes überwachen und die bei Unfällen und Störungen erforderlichen Maßnahmen treffen können (§§ 8 und 15 bis 16 [DGUV Vorschrift 40](#)).

#### Signalmann, Tauchhelfer

Taucherarbeiten dürfen nur von Tauchergruppen aus mindestens zwei geprüften Tauchern, Signalmann sowie Tauchhelfer erfolgen. Die Verständigung zwischen Tauchern und Signalmann muss sichergestellt sein (§§ 9 bis 13 und 18 [DGUV Vorschrift 40](#)).

#### Ausrüstung

- Es ist eine festgelegte Ausrüstung bereitzustellen, die bestimmte Beschaffenheitsanforderungen erfüllt (§§ 14 und 3 bis 7 [DGUV Vorschrift 40](#)).
- Anforderungen an Bau und Ausrüstung sowie Betrieb von Taucherdruckkammern enthält DGUV Regel 101-022.

#### Vorschriften, Regelwerk

- Für die Vorbereitung und Durchführung von Tauchgängen sind zahlreiche Regeln zu beachten (§§ 19 bis 25 [DGUV Vorschrift 40](#)).
- Weitere Regelungen betreffen die Not-Dekompression, Maßnahmen nach dem Tauchgang, zusätzliche Bestimmungen für Helmtauchergeräte und Leichttauchergeräte, Prüfung der Ausrüstung und Verhalten bei Taucherunfällen (§§ 26 bis 32 [DGUV Vorschrift 40](#)).
- Hinweise für Tauchereinsätze mit Mischgas enthält [DGUV Information 201-033](#).
- Für Tauchereinsätze mit wissenschaftlicher Zielsetzung, d. h. Forschungstauchereinsätze, gelten spezielle Regeln gemäß [DGUV Regel 101-023](#).
- Umfangreiche Empfehlungen zu Arbeiten in Druckluft insbesondere im Tiefbau sind in der DGUV Information [201-061](#) "Handlungsanleitung für sicheres Arbeiten in Druckluft" zusammengestellt.

## 6.7.4 Vorschriften, Regelwerk, Literatur

### Gesetze, Verordnungen

[www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)

- Verordnung über Arbeiten in Druckluft (Druckluftverordnung - DruckLV)
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
- Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO)
- Betriebsordnung für Luftfahrtgerät (LuftBO)
- Mutterschutzgesetz (MuSchG)
- Verordnung über die Prüfung zum anerkannten Abschluss Geprüfter Taucher/Geprüfte Taucherin (TauchPrV)

### Technische Regelwerke zu den Arbeitsschutzverordnungen

- RAB 25: Arbeiten in Druckluft

### DGUV Regelwerk

- DGUV Vorschrift 40: Taucharbeiten (mit Durchführungsanweisungen)

### Weitere Regeln der Technik

- DGUV Regel 101-022: Tauchdruckkammern
- DGUV Regel 112-190: Benutzung von Atemschutzgeräten
- DGUV Regel 101-023: Einsatz von Forschungstauchern
- DGUV Information 201-033: Handlungsanleitung Tauchereinsätze mit Mischgas
- DGUV Information 201-025: Taucher-Dienstbuch
- DGUV Information 201-061: Handlungsanleitung für sicheres Arbeiten in Druckluft
- DGUV Information 250-006: Merkblatt für die Behandlung von Erkrankungen durch Arbeiten in Überdruck (Arbeiten in Druckluft, Taucharbeiten)
- DGUV Grundsatz 312-190: Ausbildung - Fortbildung und Unterweisung im Atemschutz  
Merkblatt zu Berufskrankheit Nr. 2201 "Erkrankungen durch Arbeit in Druckluft"

### Literatur

- [1] Vann, R. D.; Butler, F. K.; Mitchell, S. J.; Moon, R. E.: Decompression illness Lancet 2011; 377, S. 153 ff.
- [2] Ebner, W.; Gminski, R.; Zimmer, G.:  
**Rechtsmedizin, Arbeitsmedizin, Umweltmedizin, Toxikologie.**  
Endspurt Klinik Skript 19. Stuttgart: Georg Thieme (2014)
- [3] Pressel, G.; Neubauer, B.:  
**Erkrankungen durch Arbeit unter erhöhtem Luftdruck.**  
In: Handbuch der Arbeitsmedizin. Landberg/Lech: ecomed Medizin Losebl.-Ausgabe 37. Erg.-Lfg. September 2004, IV – 3.6
- [4] Schommer, K.; Mairbäurl, H.: Arbeiten in großer Höhe. In: Handbuch der Arbeitsmedizin. Landberg/Lech: ecomed Medizin Losebl.-Ausgabe 33. Erg.-Lfg. Juni 2014, D II-2.1.2
- [5] Rooney, D.; Elmenhorst, E.-M.; Wittkowski, M.; Wenzel, J.:  
**Schlaf im Flugzeug: ein unerkanntes Risiko?**  
49. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrtmedizin (DGLRM), 08.-10. September 2011, Sinsheim (nicht veröffentlicht)

### Internetangebote/Links

- [Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin](#)
- [Sachgebiet Tiefbau des Fachbereichs Bauwesen der DGUV](#)

## 6.7.5 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter

### Prüffragen

- Tritt Unterdruck unter 0,73 bar auf?
- Wird in Höhenlagen über 2 500 m gearbeitet?
- Tritt Überdruck von mehr als 0,1 bar auf?
- Sind Taucharbeiten unter 1 m Wassertiefe vorgesehen?
- Überschreitet der Überdruck 3,6 bar?

### Gefährdungen

- geringfügige Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit bereits unter 2 000 m Höhe
- signifikante Verminderung der Leistungsfähigkeit und der Gesundheitsbeeinträchtigung ab 3 000 m Höhe
- erhöhte Gesundheitsrisiken ab 4 000 m Höhe
- Gefährdung lufthaltiger Körperhöhlen bei zu schneller Kompression
- Sauerstofftoxizität ab 2 bar Überdruck
- narkotische Wirkung von Stickstoff ab 2,5 bar Überdruck
- Störung zahlreicher Körperfunktionen bis zum Tod bei zu schneller oder nicht fachgerechter Dekompression

### Wichtige Maßnahmen

#### Bei Unterdruck

- ab 2 500 m Höhenanpassung erforderlich (mehrtägige Schonung)
- ab 2 500 m ggf. Drucksäcke zur schnellen Behandlung auftretender Höhenkrankheiten bereithalten
- ab 3 000 m ggf. Sauerstoffspendegerät mitführen
- Flugzeugausrüstung mit Druckkabinen und Sauerstoffanlage bei Flügen über 6 000 m
- Schwangere im Flugdienst nicht einsetzen

#### Bei Überdruck

- Mindestalter von 18 Jahren bei Druckluftarbeiten bzw. 21 Jahren bei Taucharbeiten einhalten
- Höchstalter von 50 Jahren bei Druckluftarbeiten einhalten
- schwangere oder stillende Mütter nicht in Überdruck einsetzen
- nur Taucher mit Taucherzeugnis nach Verordnung über die Prüfung zum anerkannten Abschluss geprüfter Taucher einsetzen
- sicherstellen, dass nur Beschäftigte in Überdruck arbeiten, die vor nicht länger als zwölf Wochen vor dem ersten Einsatz bzw. anschließend vor nicht länger als zwölf Monaten durch einen gem. § 13 DruckLV ermächtigten Arzt untersucht worden sind und die vollkommen gesund und nachgewiesen nicht erkältet sind
- Druckluftarbeiten spätestens zwei Wochen vor der Aufnahme der Arbeiten bei der zuständigen Behörde anzeigen; Änderungen unverzüglich anzeigen
- bei Druckluft über 3,6 bar Überdruck staatliche Ausnahmegenehmigung erforderlich
- Bereitstellen spezieller Räume und Einrichtungen nach § 17 Druckluftverordnung (DruckLV) vor Beginn der Arbeiten unter Luftdruck
- bei Druckluft über 0,7 bar eine Krankendruckluftkammer am Arbeitsplatz bereitstellen
- regelmäßige Prüfung von Arbeitskammern, Schleusen und Schachtrohre entsprechend § 7 DruckLV sicherstellen
- einen Arzt mit spezieller arbeitsmedizinischer Fachkunde bezüglich Arbeiten in Druckluft beauftragen, die notwendigen Maßnahmen zur Verhütung von Gesundheitsgefahren zu veranlassen, die Arbeitnehmer zu beraten und Drucklufterkrankte zu behandeln
- Erreichbarkeit des beauftragten Druckluftarztes während der Arbeits- und Wartezeiten an der Arbeitsstelle sicherstellen
- Bestellung und Schulung eines leitenden Fachkundigen sowie weitere nach § 18 DruckLV erforderliche Fachkräfte
- schriftliche Bestellung eines verantwortlichen und kompetenten Taucheinsatzleiters, der die Einsatzbedingungen beurteilt, den Tauchgang schriftlich fachgerecht plant, den sicheren Ablauf des Taucheinsatzes überwacht und bei Unfällen und Störungen die erforderlichen Maßnahmen treffen kann
- Taucharbeiten nur von Tauchgruppen aus zwei geprüften Tauchern, Signalmann sowie Tauchhelfer zulassen
- Prüfung der Tauchausrüstung gemäß §§ 14 und 3 bis 7 DGVU Vorschrift 40

- Einhaltung der Regeln für die Vorbereitung und Durchführung von Tauchgängen gemäß §§ 19 bis 25 [DGUV Vorschrift 40](#) in jedem Einzelfall sicherstellen
- Prüfung der erforderlichen Ausrüstungsgegenstände (Geräte, Einrichtungen und Hilfsmittel) vom Tauchereinsatzleiter vor jedem Tauchgang sicherstellen
- Einsatz von Sauerstoffatmung und ausreichende Flüssigkeitszufuhr bei der Dekompression sicherstellen
- Ausschleusungs- und Wartezeiten entsprechend Anhang 2 [DruckLV](#) sowie weitere Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen [RAB 25 "Arbeiten in Druckluft"](#), Anhang, Abschnitt 3 einhalten
- Gestaltungsmaßnahmen nach [RAB 25 "Arbeiten in Druckluft"](#), Anhang, Abschnitt 4 ergreifen
- zusätzlichen Dekompressionsstress durch druckgeminderte Höhenlagen (z. B. Flug, Höhengaufenthalt, Passfahrten), körperliche Anstrengung, längere Autofahrten vermeiden bzw. in Abstimmung mit dem Druckluftarzt zusätzliche Maßnahmen ergreifen
- Festlegen eines Verfahrensablaufs für eine schnelle, fachgerechte Behandlung bei Drucklufterkrankungen und Einweisung allen Mitarbeiter
- jedem Beschäftigten die rote Notfallkarte gemäß [DGUV Information 250-006](#) mit lebensrettenden Hinweisen zur Behandlung von Druckfallbeschwerden bereitstellen

## 6.7.6 Autor und Ansprechpartner

### Autor:

Dipl.-Ing. Christof Barth  
systemkonzept GmbH, Köln

### Ansprechpartnerin:

Dipl.-Ing. Marlies Kittelmann  
Fachgruppe 2.4 "Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit"

### Kontakt

## Impressum

### Zitiervorschlag:

Marlies Kittelmann, Lars Adolph, Alexandra Michel, Rolf Packroff, Martin Schütte, Sabine Sommer, Hrsg., 2023.  
Handbuch Gefährdungsbeurteilung  
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
DOI: 10.21934/baua:fachbuch20230531  
[Bitte Zugriffsdatum einfügen]  
Verfügbar unter: [www.baua.de/gefaehrungsbeurteilung](http://www.baua.de/gefaehrungsbeurteilung)

### Fachliche Herausgeber:

Marlies Kittelmann, Lars Adolph, Alexandra Michel, Rolf Packroff, Martin Schütte, Sabine Sommer

### Herausgeber:

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)  
Friedrich-Henkel-Weg 1–25, 44149 Dortmund  
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund

Telefon: 0231 9071-2071  
Telefax: 0231 9071-2070  
E-Mail: [info-zentrum@baua.bund.de](mailto:info-zentrum@baua.bund.de)  
Internet: [www.baua.de](http://www.baua.de)

**Redaktion:** Strategische Kommunikation und Kooperation, BAuA

**Gestaltung:** Susanne Graul, BAuA; eckedesign, Berlin

**Fotos:** Uwe Völkner, Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln; Kapitel "Biostoffe": Nancy Heubach, BAuA

Diese Handlungshilfe benutzt eine geschlechtergerechte Sprache. Dort, wo das nicht möglich ist oder die Lesbarkeit stark eingeschränkt würde, gelten die gewählten personenbezogenen Bezeichnungen für beide Geschlechter.

Alle Urheberrechte bleiben vorbehalten. Die auf der Website der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hinterlegten Datenbankinhalte, Texte, Grafiken, Bildmaterialien, Ton-, Video- und Animationsdateien sowie die zum Download bereitgestellten Publikationen sind urheberrechtlich geschützt. Wir behalten uns ausdrücklich alle Veröffentlichungs-, Vervielfältigungs-, Bearbeitungs- und Verwertungsrechte an den Inhalten vor.

Die Inhalte dieser Handlungshilfe wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.