

Anhang 8:

Anforderungskatalog 3 „Anforderungen an Maschinenemissionen“

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	II
3 Arbeitsumgebung	1
3.1 Temperatur	1
3.2 Vibrationen	7
3.3 Lärm	16
3.4 Gefahrstoffe.....	33
3.5 Strahlung	40
3.6 Elektromagnetische Felder.....	48
Literaturverzeichnis	56
Abbildungsverzeichnis	58
Tabellenverzeichnis	59
Formelverzeichnis	61

Abkürzungsverzeichnis

Absorb.	absorbierenden
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BGI	Berufsgenossenschaftliche Informationen
BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschrift
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
ChemG	Chemikaliengesetz
EMF	Elektromagnetisches Feld
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
Fa	Forschungsanwendung
Fb	Forschungsbericht
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GZS	Grenze zulässiger Strahlung
MZB	maximal zulässige Bestrahlung
RöV	Röntgenverordnung
SAR	spezifische Absorptionsrate
StrlSchV	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe

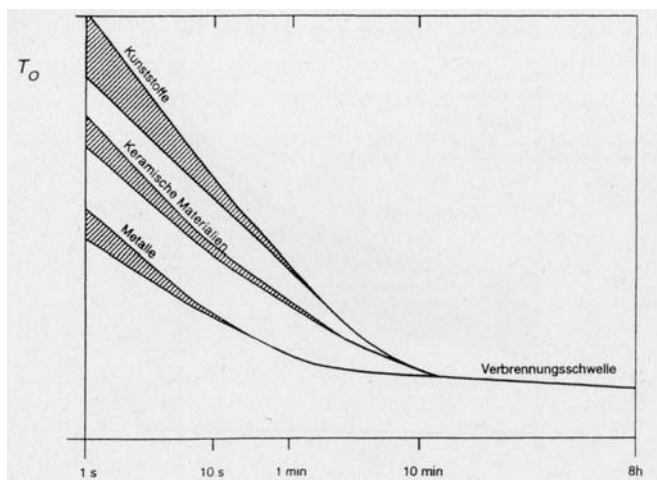
3 Arbeitsumgebung

3.1 Temperatur

3.1.a Anerkannte Regeln der Technik

DIN EN 563: Temperatur berührbarer Oberflächen, Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen, 2001

Definition Verbrennungsschwelle: Die heiße Oberfläche mit der Temperatur der Verbrennungsschwelle wird von der Haut während einer bestimmten Kontaktdauer berührt, dann liegen die Folgen für die Haut zwischen keiner und einer oberflächigen Verbrennung.



Anh. 8, Abb. 1: Veranschaulichung der Beziehungen zwischen der Verbrennungsschwelle und der Kontaktdauer bei der Berührung von heißen Oberflächen nach DIN EN 563 Bild1

- Nutzung von Verbrennungsschwellen zur Festlegung von Oberflächengrenztemperaturen von Maschinen zum Schutz gegen Verbrennungen
- Oberflächentemperaturen, die beim Kontakt mit der Haut zu Verbrennungen führen, sind abhängig vom Material der Oberfläche und von der Dauer des Kontaktes
- Unsicherheiten sind für längere Kontaktdauern kleiner als für kurze Kontaktdauern → genaue Verbrennungsschwelle für lange Kontaktdauern

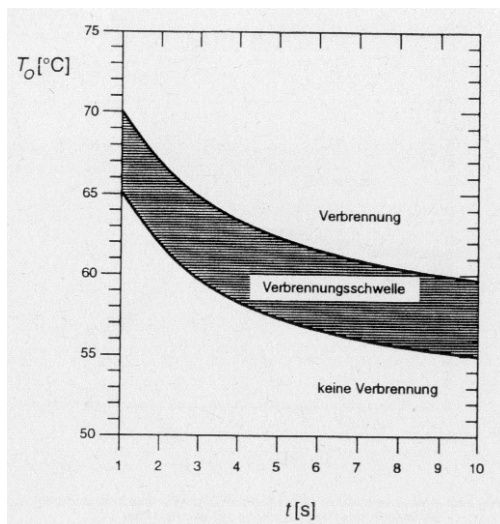
Anh. 8, Tab. 1: Verbrennungsschwellen-Bereiche bei einer Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 563
Anh. 8, Tab. 1

Material	Erweiterung von Bild Nr.	Verbrennungsschwellen-Bereich bei einer Kontaktdauer von 0,5 s C°
Blankes (unbeschichtetes Material)	2	67-37
Keramik, Glas und Stein	4	84-90
Kunststoffe	5	91-99
Holz	6	128-155

Anh. 8, Tab. 2: Erhöhung des Verbrennungsschwellen-Bereichs für beschichtete Metalle bei einer Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 563 Anh. 8, Tab. 2

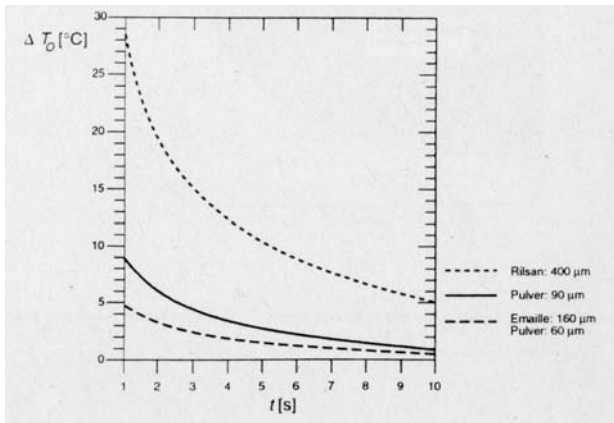
Metalle mit einer Beschichtung von	Erweiterung von Bild Nr.	Erhöhung des Verbrennungsschwellen-Bereich bei einer Kontaktdauer von 0,5 s C°
50 µm Lack	3a	13
100 µm Lack	3a	22
150 µm Lack	3a	31
400 µm Rilsan	3b	34
90 µm Pulver	3b	11
60 µm Pulver 160 µm Emaille	3b	6

Für kurze Berührungen (Kontaktdauer 1 bis 10 s) sind Verbrennungsschwellen-Bereiche nur grafisch dargestellt.

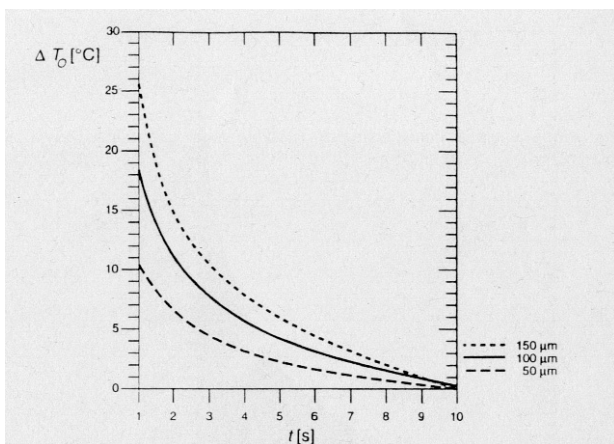


Anh. 8, Abb. 2: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus blanken (unbeschichteten) Metall nach DIN EN 563 Bild 2

Für raue metallische Oberflächen können die Werte über den Werten für glatte Oberflächen liegen, aber nicht mehr als 2 °C über der Obergrenze des dargestellten Verbrennungsschwellen-Bereich.



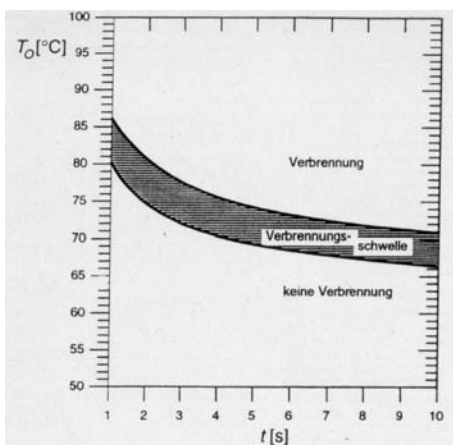
Anh. 8, Abb. 3: Erhöhung des Verbrennungsschwellen-Bereich aus Bild 2 für Metalle, die mit Lacken beschichtet sind; Schichtdicke 50 μm , 100 μm und 150 μm nach DIN EN 563 Bild 3a



Anh. 8, Abb. 4: Erhöhung des Verbrennungsschwellen-Bereich aus Bild 2 für Metalle, die mit Rilsan (Schichtdicke 400 μm), Pulver (60 μm und 90 μm) und Emaille (160 μm) beschichtet sind nach DIN EN 563 Bild 3b

Berechnen der Verbrennungsschwelle für beschichtetes Metall selbst:

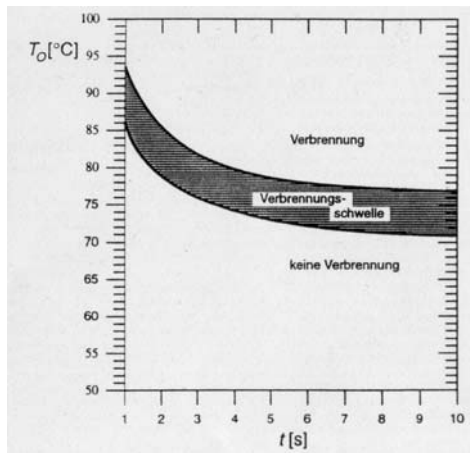
Es werden die Werte für die Temperaturerhöhung ΔT_0 in Anh. 8, Abb. 3 und 4 und Verbrennungsschwelle für unbeschichtetes Metall T_0 in Bild 2 addiert.



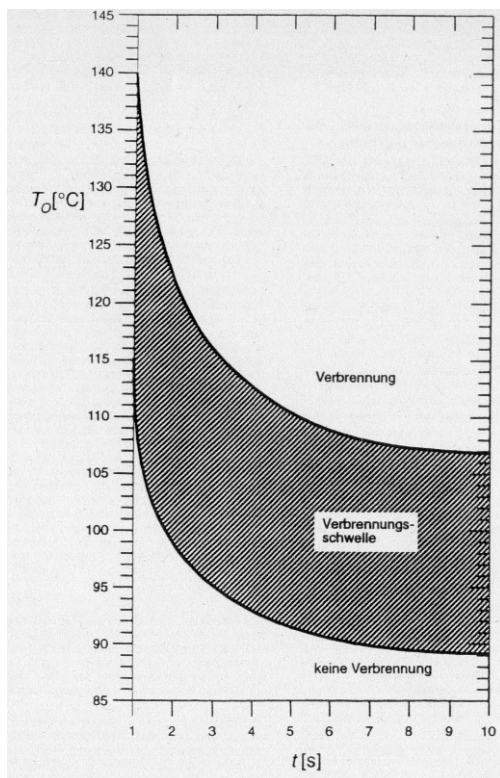
Anh. 8, Abb. 5: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus keramischen, glas- und steinartigen Materialien nach DIN EN 563 Bild 4

Verbrennungsschwellen für Marmor und Beton liegen an der unteren Grenze des Bereiches

Verbrennungsschwellen für Glas liegen an der oberen Grenze des Bereiches



Anh. 8, Abb. 6: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus Kunststoff nach DIN EN 563 nach Bild 5



Anh. 8, Abb. 7: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus Holz nach DIN EN 563 Bild 6

Verbrennungsschwellen für harte, feuchte Hölzer liegen an der unteren Grenze des Bereiches.

Verbrennungsschwellen für weiche, trockene Hölzer liegen an der oberen Grenze des Bereiches.

Anh. 8, Tab. 3: Verbrennungsschwellen nach DIN EN 563 Anh. 8, Tab. 3

Material	Verbrennungsschwelle T_0 für Kontaktdauern von		
	1 min °C	10 min °C	8 h und länger °C
Unbeschichtetes Material	51	48	43
Beschichtetes Material	51	48	43
Keramik, Glas und Stein	56	48	43
Kunststoffe	60	48	43
Holz	60	48	43

Schutzmaßnahmen gegen Verbrennungen:

- Senkung der Oberflächentemperatur
- Isolierung (z. B. Holz, Kork, Beflockung)
- Trennende Schutzeinrichtungen
- Strukturierung der Oberfläche (z. B. Aufrauen, Berippen)

DIN EN 13202: Temperatur berührbarer heißer Oberflächen, Leitfaden zur Festlegung von Temperaturgrenzwerte von heißen Oberflächen in Produktnormen unter Anwendung von EN 563, 2000

Es wird beim Kontakt mit heißen Oberflächen zwischen unbeabsichtigten und beabsichtigten Kontakt unterschieden.

Dabei werden Unterscheidung hinsichtlich der Personen gemacht.

- gesunde Erwachsene
- Kinder
- Ältere Personen
- Personen mit körperlicher Behinderung

Anh. 8, Tab. 4: Bandbreite der Verbrennungsschwellen für eine Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 13202 Anh. 8, Tab. B.1

Werkstoff	Bandverbreiterung für EN 563, Bild Nr.	Bandbreite der Verbrennungsschwelle für eine Kontaktdauer von 0,5 s (°C)
Unbeschichtetes Material	EN 563, Bild 2	67-73
Keramik, Glas und Stein	EN 563, Bild 4	84-90
Kunststoffe	EN 563, Bild 5	91-99
Holz	EN 563, Bild 6	128-155

Anh. 8, Tab. 5: Erhöhung der Bandbreite der Verbrennungsschwellen für beschichtete Metalle für eine Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 13202 Anh. 8, Tab. B.2

Metalle mit einer Beschichtung	Bandverbreiterung für EN 563, Bild Nr.	Erhöhung der Bandbreite der Verbrennungsschwelle für eine Kontaktdauer von 0,5 s (°C)
50 µm Lack	EN 563, Bild 3a	13
100 µm Lack	EN 563, Bild 3a	22
150 µm Lack	EN 563, Bild 3a	31
400 µm Rilsan	EN 563, Bild 3b	34
90 µm Pulver	EN 563, Bild 3b	11
60 µm Pulver 160 µm Emaille	EN 563, Bild 3b	6

DIN EN ISO 13732-3: Berühren von kalten Oberflächen, Teil 3: Ergonomische Daten und Leitfaden für die Anwendung, 2002

Einstufung des Kontaktes mit einer kalten Oberfläche

- a) Berühren mit den Fingern
 - Kurzzeitig (bis 120 s)
 - Kleines Kontaktgebiet
- b) Greifen mit der Hand
 - Längere Zeit (bis 1200 s)
 - Griff kontinuierlich ausgeübt

Unterhalb der jeweiligen Werkstoffkurve besteht ein Risiko für die Haut.

Es gibt folgende Schutzmaßnahmen:

- Isolierung des Gegenstandes
- Oberflächenstruktur
- Isolierte oder beheizter Werkzeugkasten
- Erwärmung der Handgriffe und Werkzeuge

3.1.b Stand der Technik

Sonderschrift S 42: Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb, 2001

Genormte Grenzwerte existieren nicht. Einfluss auf die Gesundheitsgefährdungen beim Hautkontakt mit kalten oder kalten Medien haben:

- Temperatur der Oberfläche
- Dauer des Kontaktes
- Art der Oberfläche (Material, Struktur, Beschichtung)
- gefährdetes Körperteil (z. B. Hände)
- Größe der gefährdeten Körperoberfläche
- Eignung der verwendeten persönlichen Schutzausrüstungen

Sind heiße Medien im Arbeitsbereich nicht gänzlich zu vermeiden, lassen sich Verbrennungsgefährdungen können durch folgende Schutzmaßnahmen vermindern:

- Oberflächentemperatur senken
- geschlossene Systeme für heiße Medien verwenden
- Isolierung, z. B. auf Rohrleitungen, aufbringen
- trennende Schutzeinrichtungen, z. B. Abschirmung, Absperrung anbringen
- geeignete Werkstoffe für Stellteile, z. B. Handräder, Ventile und Griffe, auswählen
- Kontaktfläche verringern durch Strukturierung der Oberfläche, z. B. durch Aufrauen, Rippen oder Noppen

3.2 Vibrationen

3.2.a Anerkannte Regeln der Technik

VDI 3831 (Entwurf): Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, 2003

Herstellermaßnahmen

- Bei handgehaltenen Maschinen darauf achten, dass durch die Maßnahmen für den Schwingungsschutz die Maschinenmasse nicht wesentlich zunimmt
- Schwingungsminderung darf nicht zu einer Reduzierung der Wirkleistung von Maschinen führen
- Geringere Schwingungsemission einer Handmaschine, die eine längere Expositionszeit zur Verrichtung der Arbeit bewirkt, ist keine wirkliche verringerte Belastung

1. Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Verminderung der Schwingungserregung an der Quelle

- Auswahl eines geeigneten Funktionsprinzips
 - Bei Maschinen, für deren Funktion Schwingungsvorgänge genutzt werden (z. B. Vibrationswalzen), lässt sich durch geeignete Auswahl und Optimierung des Wirkprozesses reduzieren
 - Auswahl des Funktionsprinzips der Maschine, so dass die Maschine möglichst geringe Schwingungen an die Umgebung überträgt
- Schwingungsarme Konstruktion
 - Optimierung der Mechanismen der Kraftübertragung
 - Anwendung von Massenausgleich
 - Vermeidung von hohen Beschleunigungen und Stößen durch Optimierung von Bewegungsabläufen
 - Auswahl des geeigneten Materials für Bauteile
 - Vermeidung von Bauteil- bzw. Maschinenresonanzen, Abstimmung der Eigenfrequenzen der Bauteile und der Maschinen außerhalb der Erregerfrequenz und deren Harmonischen durch Veränderung von Bauteilmassen und –steifigkeiten
 - Anwendung von verschleißarmen Konstruktionen zur Vermeidung des Einflusses von Verschleißteilen auf die Schwingungserregung
 - Minderung der Nickschwingung auf Fahrzeugen
 - Verwendung von Schwingungstilgern (passive Dämpfungssysteme mit phasenverschoben schwingender Tilgermasse; vgl. VDI 3833 Blatt 2)
 - Verwendung von Aktuatoren (aktive Systeme, die Bewegungen und Gegenkräfte erzeugen; siehe VDI 2062 Blatt 2)
- Anforderung an die Fertigung
 - Auswuchten rotierender Massen
 - Vermeidung von Unwuchten bei Montagevorgängen
 - Spiel in Lagerung und Führung optimieren
 - Minderung der Fertigungsschwankungen durch Anwendung eines Qualitätssicherungssystems
- Auswahl der geeigneten Werkzeuge und des Maschinenzubehörs
 - Verwendung von Arbeitswerkzeugen, die möglichst geringe zusätzliche Schwingungen erzeugen

- Anbau von Ausgleichsmassen
- Anbau von Abstützvorrichtungen

2. Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Verminderung der Schwingungsübertragung auf den Menschen

- Allgemeine Maßnahmen
 - Einleitungs-/Kopplungsstellen zum Griff/Sitz/Arbeitsplatz möglichst an den Ort der geringsten Schwingung legen und Isolierungselemente ebenfalls an Stellen mit geringen Schwingungen befestigen
 - Anwendung des Prinzips der Schwingungsisolierung, wobei die Eigenfrequenz einer Lagerung deutlich kleiner sein soll als das 0,7fache der zu isolierenden Erregerfrequenz
 - Berücksichtigung der Dynamik aller Massen, wodurch sich bei sinnvoller Anordnung und Anwendung der Schwingungsisolierung Erregerschwingungen reduzieren lassen
 - Begrenzung der Resonanzamplituden durch ein entsprechendes Anfahrregime und Anwendung von Dämpfern
 - Bereitstellung von verständlichen Instruktionen für die Wartung von Maschinen
- Maßnahmen für handgeführte Maschinen
 - Geräte als entkoppeltes Zwei-Massen-System gestalten, dass durch elastische Elemente miteinander verbunden sind
 - Mit den Griffen fest verbundene Masse möglichst groß, um ausreichende Isolierwirkung gegenüber der elastisch entkoppelten Erregermasse zu erhalten
 - Elastische Griffüberzüge zur Reduzierung hochfrequenter Schwingungsanteile ($f > 200$ Hz) verwenden
 - Im Gerät integrierte Griffheizungen
 - Physikalische Belastungen für den Bediener so klein wie möglich halten, dazu Bedienungshilfen, Ständer, Stützbeine, Drehmomentabstützung usw. bereitstellen
 - Griff ergonomisch geformt, entsprechend den Anforderung nach DIN EN 894-3
- Maßnahmen für Fahrzeuge
 - Bei Auslegung von schwingungsisolierenden Kabinen oder Sitzen sollten die zwischen Anregung und Sitzfläche liegende Schwingungssysteme aneinander angepasst werden
 - Bei schwingungsisolierenden Sitzen Schwingungsminderung nur zu erwarten, wenn Verhältnis von Erregerfrequenz zu Eigenfrequenz größer als 1,4 ist
 - Schwingungsisolierung auf mobilen Maschinen in erster Linie in z-Richtung auslegen
- Schwingungsisolierende Aufstellung von Maschinen
 - Nach EG-Richtlinie Angaben zur Installation und Montage in der Bedienungsanleitung
 - Berechnungsmodell

Anh. 8, Gleichung 1: Abstimmungsverhältnis zur schwingungs isolierten Aufstellung von Maschinen
(3.1)

$$\eta = \frac{f_{err}}{f_0}$$

$$f_0 < 0,7 \cdot f_{err}$$

$$f_0 \approx (0,2 \dots 0,3) \cdot f_{err}$$

η Abstimmungsverhältnis

f_{err} Erregerfrequenz

f_0 Eigenfrequenz

- unter Schwingfundament (Zwischenfundament) Schwingungs isolatoren befestigen

DIN 45695 (Vornorm): Leitfaden zur Verringerung der Gefährdung durch Schwingungen, Technische und organisatorische Maßnahmen, 1996

- Enthält CEN-Bericht 1030-1
- Schwingungsexposition des Hand-Arm-Systems bestimmt durch Frequenz, Richtung, Intensität und Amplitude der Schwingung, durch Expositionsdauer, durch Art der Ankopplung des Hand-Arm-Systems an die Maschine, durch die Griffgestaltung und eingenommene Stellung des Hand-Arm-Systems
- Mögliche Ursachen für Schwingungen:
 - Intern erzeugte Schwingkräfte, die sich aus der intermittierenden, impulsiven oder zyklischen Betriebsweise von Maschinen und Geräten ergeben
 - Unwuchten und/oder Stöße in Getrieben und Lagern
 - Unwuchtbehaftete Einsatzwerkzeuge, z. B. Unwucht einer Schleifscheibe
 - Wechselwirkungen zwischen Bedienperson, Maschine und Werkstück, z. B. Ständerschleifmaschine

1. Verminderung der Schwingungsintensität an der Quelle

- Maschine und Geräte so konstruieren, dass schwingungserzeugende Wechselwirkungen von vornherein vermieden oder reduziert Schwingungsverstärkungen verhindert und Restschwingungen gedämpft oder reduziert werden
- In einigen Fällen kann Schwingungsbelastung, Expositionsdauer und Bedienungskräfte durch geändertes Funktionsprinzip verringert werden
- Unwuchtarme Konstruktion von Maschinen
- Vermeiden von Unwuchten durch Veränderung der Masse und/oder Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung der Bauteile, die Unwuchten erzeugen sowie der Einbau von Ausgleichsmassen
- Schwingkraftminderung durch enger festgelegte Fertigungstoleranzen
- Bei handgehaltenen Maschinen und Geräten mit tieffrequenter Arbeitsweise Auswirkungen auf Bedienperson durch gegenläufige Massen oder mit gefederten Systemen verringern
- Stoß- und Schlagkräfte durch den Einbau elastischer Teile aus Gummi, verschleißarmen Kunststoff oder ähnliche Werkstoffe verringern
- Innerhalb des üblichen Drehzahlbereiches dürfen keine Resonanzeffekte auftreten, indem geeigneten Federelemente und Massen verwendet werden

- Resonanzeffekt nicht vermeidbar, dann Einbau von gedämpften Elementen notwendig

2. Verminderung der Schwingungsübertragung

- Einbau von schwingungsisolierenden Teilen, wo die Schwingungsübertragung von der Quelle zum Griff oder zu anderen, mit der Hand in Kontakt befindlichen Teilen stattfindet
- Resonanzschwingung einer Lagerung tiefer als das 0,7 fache der niedrigsten relevanten Frequenz der im Betrieb auftretender Schwingung
- Schwingungsminderung im wesentlichen durch gefederte Griffe erreicht, so sind die dynamischen Kennwerte des Griffes auf die Schwingungseigenschaften der jeweiligen Maschine abzustimmen
- Über 100 Hz z. Z. gute Schwingungsisolierung erreichbar
- Bei niedrigeren Frequenzen kann ein gefederter Griff mehr vibrieren als ein fest montierter
- Folglich ist es häufig notwendig, die Steifigkeit des gefederten Griffes über den idealen Wert zu erhöhen, auch wenn dies eine geringere Isolierung bewirkt
- Einsatz elastischer Werkstoffe bei der Griffgestaltung oft durch ergonomische Zwänge (z. B. Größe des Handgriffes) begrenzt sowie durch den Verwendung nur oberhalb von 200 Hz

3. Haltungsoptimierung und Minimierung der auf oder durch die Hand wirkenden Kräfte

- Auslegung der Maschine oder Geräte so, dass die auf die Bedienperson wirkenden Kräfte möglichst gering bleiben
- Griffgestaltung nach DIN EN 894-3

4. Gerätegestaltung unter thermischen Gesichtspunkten

- pneumatische handgehaltene Maschinen und Geräte so gestaltet, dass keine Kaltluft auf die Hände der Bedienperson einwirkt
- beheizbare Griffe für handgeführte und handgehaltene Maschinen beim überwiegenden Einsatz in niedertemperierter Arbeitsumgebung handgehaltene Maschinen

DIN EN 1299: Schwingungsisolierung von Maschinen, Angaben für den Einsatz von Quellisolierungen, 1997

- Schwingungsisolierung an der Quelle kann notwendig sein.
 - a) für die Sicherheit der Bedienungspersonen der schwingungsemitternde Maschine
 - b) für die Sicherheit an Arbeitsplätzen in der Nachbarschaft der schwingungsemitternde Maschine
 - c) für die Sicherheit von Bauwerken oder Gebäuden mit schwingungsemitternde Maschine
 - d) für die Sicherheit von Personen in Gebäuden, die starken Schwingungen ausgesetzt sind
 - e) wenn in gesetzlichen Vorschriften Schwingungsgrenzwerte festgelegt sind und diese überschritten werden
- Es kann Schwingungsisolierung zur Reduzierung von Schwingungen an der Quelle zusätzlich verwenden werde.
- Schwingungsisolierung ist kein Ersatz für Maßnahmen Schwingungsminderung.

- Anwenden, wenn
 - a) schwingungsemitternde Maschine konstruiert oder aufgestellt werden
 - b) Gebäuden mit schwingungsemitternde Maschine geplant oder umgebaut werden
- Informationsaustausch zwischen Maschinenhersteller, Lieferanten der Isolierung und Maschinennutzer zur Auswahl der geeigneten Schwingungsisolierung
- Beschreibung der von der Maschine verursachte Schwingungserregung gekennzeichnet durch Erregerkräfte und –momente in Abhängigkeit von Frequenz oder ihrem Zeitverlauf, um sichere Aufstellung und Nutzung sicherzustellen
- Notwendige Angaben des Lieferanten der Schwingungsisolierung
 - a) Art der Isolierung
 - b) Werkstoff der Isolierung
 - c) Gewicht der Isolierung
 - d) Nivelliereigenschaften
 - e) Statische Steifigkeit der Isolatoren
 - f) Minimale und maximale Belastung der Isolatoren unter Betriebsbedingungen
 - g) Maße und Anordnung der Isolierung
 - h) Kriechverhalten der Isolatoren in Abhängigkeit von Belastung und Zeit
- Beschreiben des translatorischen und rotatorischen dynamischen Verhaltens der Schwingungsisolierung
- Elemente der Schwingungsisolierung
 - a) Federn
 - Zur elastischen, schwingungs- und stossisolierenden Lagerung von Maschinen eingesetzt
 - Dämpfung stark abhängig von Federwerkstoff
 - Elastomerfedern
 - im Vergleich zu Metallfedern besitzen Elastomerfedern größere Materialdämpfung
 - Eigenfrequenz des schwingungsisolierenden Systems nur mit der dynamischen Steifigkeit berechnen
 - Eigenfrequenz in vertikaler Richtung zwischen 6 Hz und 20 Hz erreichbar
 - Metallfedern
 - Zur Schwingungsisolierung von Maschinen meist Metallfedern aus Federstahl in Form von speziell für diesen Zweck hergestellten Drähten, Platten und Stäben
 - Eigenfrequenz in vertikaler Richtung zwischen 1,5 Hz und 8 Hz erreicht
 - Im Allgemeinen Schraubendruckfedern für die Schwingungsisolierung eingesetzt
 - Luftfedern
 - zum Niveaueausgleich in unregelmäßigen und regelmäßigen Ausführungen
 - b) Dämpfer
 - Zur Begrenzung der Bewegung elastisch gelagerter Systeme während des Resonanzdurchgangs sowie bei Stoß- und stochastischer Anregung eingesetzt
 - Unterteilung in Dämpfer, bei denen die Dämpfung zwischen festen Körpern (Reibungsdämpfern) genutzt wird und Dämpfern, die die Energieumwandlung in flüssigen (Flüssigkeitsdämpfern) oder gasförmigen Medien
 - Flüssigkeitsdämpfer (Viskositätsdämpfer)

- wichtigsten Dämpfertypen
 - Geeignet für große Schwingungsamplituden bei tiefen bis mittleren Frequenzen
 - Bestehen aus Gehäuse, Dämpfungsmedium und Kolben
 - Minderung der Schwingung in allen sechs Freiheitsgraden
- c) Kombination von Federn und Dämpfern
- Dämpfung erforderlich:
- wo ein Anstieg der Schwingungsamplitude beim Durchlaufen von Resonanzbereichen vermieden werden muss
 - bei fast allen Maschinen mit rotierenden Bauteilen, deren Betriebsbedingungen unwuchtbedingte Kräfte erzeugen können
 - zur Stabilisierung von Maschinen und Anlagen
 - zur Sicherstellung eines schnellen Abklingens stoßartig angeregter Schwingungen

DIN EN ISO 11688-1: Richtlinie für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte, Teil 1: Planung, 1998

Schwingungsisolierung

- ist mit dem lokalen Einfügen einer relativ geringen Steifigkeit identisch
- mit Hilfe von Isolatoren (elastische Elemente, die aus Gummi, Luftpolstern, Stahlschraubenfedern oder ähnlichem bestehen) oder mit Hilfe von elastischen Zwischenschichten (aus Gummi, Kork oder anderen weichen Materialien) ausgeführt
- spürbare Isolationswirkung kann nur erreicht werden, wenn ein ausreichender Impedanzsprung an der Empfängerseite vorhanden ist (wenn die Struktur auf der Empfangsseite des Isolators oder der Isolierschicht ausreichend steif oder schwer ist)
- Vergrößerung der Fundamentimpedanz genauso wichtig wie die Verminderung der Steifigkeit des Isolators oder der Zwischenschicht
- verschiedene Arten:
 - Isolierung der Quelle;
 - Unstetigkeit in einem Übertragungsweg (siehe Bild 6):
 - Isolierung der äußeren Verkleidungsstruktur von der übrigen Maschine (z. B. Schallschutzkapsel)

Konstruktionsregeln zur Verminderung der Körperschallübertragung durch Schwingungsisolierung:

- Verwendung von Elementen oder Zwischenschichten, die ausreichend nachgiebig sind
- Verwendung einer ausreichend steifen und schweren Grundstruktur

Dämpfung

- Erhöhung der Dämpfung wird angewandt, um mehr Körperschallenergie in Wärme umzuwandeln (vor allem im Bereich diskreter Eigenfrequenzen in Verbindung mit Strukturunstetigkeiten und bei Anwendung an der Anregungsstelle, nahe an der Quelle, wirkungsvoll)
- zusätzliche Dämpfung ist nur wirksam, wenn die ursprüngliche Dämpfung der Struktur relativ niedrig ist
- Aufgrund verschiedener Mechanismen sind komplizierte Maschinenstrukturen meist Erhöhung der Dämpfung auf verschiedene Art und Weise:
 - spezielle dämpfende Beschichtung

- bedämpfte Sandwichplatten anstelle von einzelnen Blechen
- Vorsatzschalen mit einer geringen Anzahl von Verbindungspunkten (die Dämpfung wird durch die Strömung in der dünnen Luftschicht zwischen den zwei Platten hervorgerufen)
- Verwendung von Material mit einer höheren inneren Dämpfung
abgestimmte Dämpfer in Form von bedämpften Masse-Feder-Systemen

Konstruktionsregeln für die Verminderung der Körperschallübertragung durch Dämpfung:

- zusätzliche Dämpfung an dünnen Platten
- Anwendung der Dämpfung in der Nähe der Anregung
- Anwendung der Dämpfung im Bereich der diskreten Eigenfrequenz
- Zusätzliche Dämpfung, wenn ursprüngliche zu gering ist

3.2.b Stand der Technik

RICHTLINIE 2002/44/EG: Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen), 2002

Artikel 3: Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte

- (1) Für Hand-Arm-Vibrationen
 - a) wird der tägliche Expositionsgrenzwert, normiert auf einen Bezugszeitraum von 8 Stunden, auf 5 m/s^2 festgesetzt;
 - b) Wird der tägliche Auslösewert, normiert auf einen Bezugszeitraum von 8 Stunden, auf $2,5 \text{ m/s}^2$ festgesetzt.
- (2) Für Ganzkörper-Vibrationen
 - a) wird der tägliche Expositionsgrenzwert, normiert auf einen Bezugszeitraum von 8 Stunden, auf $1,15 \text{ m/s}^2$ oder nach Wahl des Mitgliedstaats auf einen Vibrationsdosiswert (VDV) von 21 m/s^1 , 75 festgesetzt;
 - b) wird der tägliche Auslösewert, normiert auf einen Bezugszeitraum von 8 Stunden, auf $0,5 \text{ m/s}^2$ oder nach Wahl des Mitgliedstaats auf einen Vibrationsdosiswert (VDV) von $9,1 \text{ m/s}^1$, 75 festgesetzt.

Artikel 5: Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Exposition

- (1) Unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der Verfügbarkeit von Mitteln zur Begrenzung der Gefährdung am Entstehungsort muss die Gefährdung aufgrund der Einwirkung von Vibrationen am Entstehungsort ausgeschlossen oder so weit wie möglich verringert werden. [...]
- (2) Auf der Grundlage der Risikobewertung gemäß Artikel 4 muss der Arbeitgeber, falls die in Artikel 3 Absatz 1 Buchstabe b) und Absatz 2 Buchstabe b) festgesetzten Werte überschritten werden, ein Programm mit technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung der Exposition gegenüber Vibrationen sowie der damit verbundenen Risiken ausarbeiten und durchführen; dabei ist insbesondere Folgendes zu berücksichtigen:
 - a) alternative Arbeitsverfahren, welche die Notwendigkeit einer Exposition gegenüber Vibrationen verringern;

- b) die Auswahl geeigneter Arbeitsmittel, die nach ergonomischen Gesichtspunkten ausgelegt sind und unter Berücksichtigung der auszuführenden Arbeit möglichst geringe Vibrationen verursachen;
 - c) Bereitstellung von Zusatzausrüstungen, die die Verletzungsgefahren aufgrund von Vibrationen verringern, z. B. Sitze, die Ganzkörper-Vibrationen wirkungsvoll dämpfen, und Griffe, die die auf den Hand-Arm-Bereich übertragene Vibration verringern;
 - d) angemessene Wartungsprogramme für Arbeitsmittel, Arbeitsplatz und Arbeitsplatzsysteme;
- [...]

Neugebauer, G.; Hartung, E.: Mechanische Schwingungen und Vibrationen am Arbeitsplatz, 2002

- Primärmaßnahmen: Reduzierung der Schwingungsentstehung
- Sekundärmaßnahmen: Minderung der Schwingungsübertragung und –ausbreitung
- Griffschwingungen bei Handmaschinen nach dem Prinzip der schwingungsarmen Konstruktion möglichst niedrig halten
- Schwingungsübertragung von stationären Maschinen auf den Menschen durch Schwingungsisolierung vermindern
- Schwingungsisolierende Aufstellung auf Schwingungsfundament, das auf Schwingungsisolatoren angeordnet ist
- Zusätzlich elastische Ausführung aller Anschlüsse

Seidel, E.: Wirksamkeit von Konstruktionen zur Schwingungs- und Körperschalldämmung in Maschinen und Geräten; Grundlagen, Messverfahren, Zusammenstellung typischer Bauelemente (Fb 852), 1999

- für Charakterisierung von schwingungs- und körperschalldämmenden Bauelementen und Konstruktionen ist besser geeignet, als die Angabe der Nachgiebigkeit
- eine Angabe der Dämmungseigenschaften allein mit Vierpolgrößen ist nicht möglich
- Dämmungseigenschaften im eingebauten Zustand auch von den Quellen- und Anschlussimpedanzen abhängig
- Mögliche Einteilung von schwingungs- und körperschallmindernden Konstruktionsvorschläge
 - Bauelemente mit Nachgiebigkeit, z. B. Stahlfedern
 - Bauelemente mit Dämpfungseigenschaften, z. B. Stoßdämpfer
 - Bauelemente mit Nachgiebigkeit und Dämpfung, z. B. Gummischwingungsisolatoren
 - Sperrmassen, z. B. Befestigungselemente für Verkleidungen
 - Absorberanordnungen wie Sandwichkonstruktion
 - Schwingungstilgeranordnungen wie Tilgerpendel
- in Anhang für typische Bauelemente die Vierpolparameter zusammengestellt
 - Massen (kurz, lang)
 - Gummifedern (Rundfedern, Gummibrücken, Gummischwingungsdämpfer)
 - Federn aus Metallfilz
 - Stahlfedern (Druck-, Zug- und Blattfedern)
 - Platten (Gummirippenplatten, Polyurethan-, Wikazell-, Schaumgummiplatten)
 - Dämpfer (Reibungs-Stoß-Öldämpfer)

- Voraussetzung für die Vierpolparameter ist die eindimensionale Übertragungsrichtung und die Linearität der Bauelemente

BAuA Technik 12: Schwingungsschutz am Arbeitsplatz, Technischer Schwingungsschutz, Grundlagen und Anwendung bei der Maschinenaufstellung und beim sekundären Schwingungsschutz, 1997

Die Minderung der Übertragung von Kräften und Schwingungsamplituden durch die Verwendung spezieller, elastischer Bauelemente oder Baumaterialien, die im Übertragungsweg der Schwingungen angeordnet werden, bezeichnet man als Schwingungsisolierung.

Die Schwingungsisolierung wird sowohl im Bereich niedriger Frequenzen $f < 100$ Hz (Schwingungsschutz) als auch im hörbaren Frequenzbereich zur Minderung der Übertragung von Schallwellen innerhalb von Maschinen- und Bauwerksteilen (Körperschallisolierung) angewendet.

Die prinzipielle Wirkungsweise der Schwingungsisolierung lässt sich anschaulich an einem Berechnungsmodell eines schwingungsfähigen Einmassensystems mit einem Freiheitsgrad demonstrieren.

Für ein ungedämpftes System gilt:

Anh. 8, Gleichung 2: Berechnungsmodell eines schwingungsfähigen Einmassensystems (3.2)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$$

c = Steifigkeit der Federn

m = Masse des schwingenden Systems

Schirmer, W. (Hrsg.): Technischer Lärmschutz, 1996

Forderungen an die Schwingungsisolierung (auszugsweise)

- Schwingungsisolatoren unter der Maschine so anordnen, dass die Resultierende der vertikalen Federkräfte durch den Gesamtschwerpunkt der schwingenden Masse geht
- Anschlüsse der Maschine mittels geeigneter Elemente (Schläuche, elastische Rohrleitungskompensatoren usw.) elastisch ausführen
- Da bei tiefer Abstimmung bzw. überkritischem Betrieb beim Anlauf und Stillsetzen der Maschine die Resonanz durchlaufen wird, muss entweder der Vorgang sehr schnell verlaufen oder es müssen Isolatoren mit hohem Dämpfungsgrad ausgewählt werden

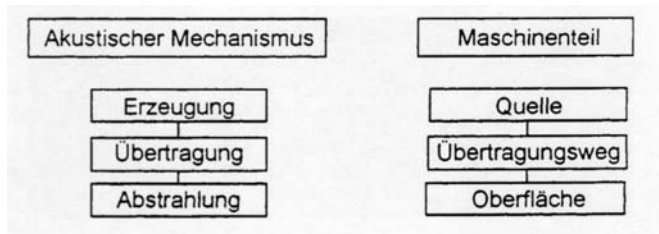
Schwingungstilger werden angewendet:

- wenn Maschinenaufstellung in Resonanz erregt werden und nicht mehr verstimmt werden können
- bei dynamischer und kinematischer Anregung wirkungsvoll

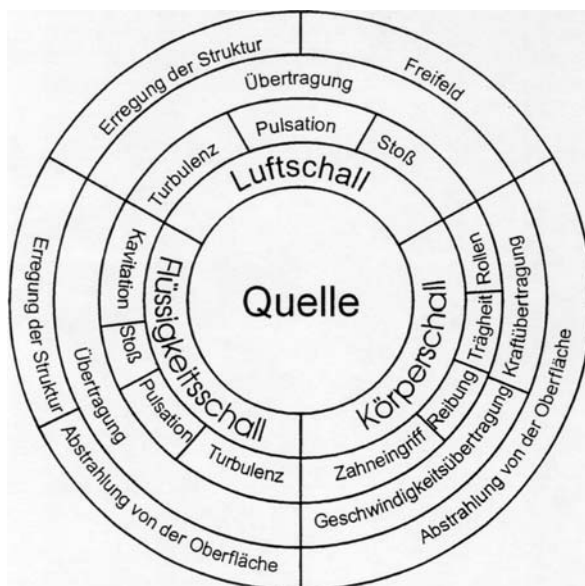
3.3 Lärm

3.3.a Anerkannte Regeln der Technik

DIN EN ISO 11688-1: Richtlinie für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte, Teil 1: Planung, 1998



Anh. 8, Abb. 8: Wirkungskette der Geräuscherzeugung nach DIN EN ISO 11688-1 Bild 2



Anh. 8, Abb. 9: Grundlegendes Modell der Geräuscherzeugung in Maschinen nach DIN EN ISO 11688-1 Bild 3

Höchste Priorität bei der Lärminderung hat die Identifizierung der Quelle. Lärminderung an Maschinen mit verschiedenen Schallquellarten muss jede Quelle, jeder Übertragungsweg und jede abstrahlende Fläche analysiert werden.

Verminderung der Geräuscherzeugung

1. Luftschallquellen

- Turbulenzen

- Schall auf verschiedene Weise erzeugt:
- Konstruktionsregeln
 - tonale Geräusche beim Umströmen eines Zylinders
 - Überströmen von Hohlräumen
 - Kanalströmungen durch scharfe Umlenkung, Streben oder Ventile
 - bei Strömungen an Düsenaustritt oder an Blattspitzen von Ventilatoren (Pegel und Spektrum abhängig von

Strömungsgeschwindigkeit, Viskosität des Mediums und Düsengeometrie)

- Konstruktionsregeln:
 - Verminderung des Arbeitsdruckes
 - Verminderung von Druckänderungen
 - Minimierung der Strömungsgeschwindigkeit
 - Optimierung von Freistrahlauslässen mit dem Ziel, die Geschwindigkeitsänderungen im Freistrahlschnitt zu minimieren
 - Minimieren der Umfangsgeschwindigkeit an Rotoren
 - Vermeiden von Hindernissen in der Strömung
 - Verbesserung der Strömungsführung
- Stoß und Pulsation
 - Volumen- und Druckpulsationen bei Kolbenmaschinen → Verminderung der Drehzahl, bei Hochdruckmaschinen – wenn möglich - Verminderung des Arbeitsdruckes
 - Stöße während Öffnen und Schließen von Ventilen in Druckluftmotoren oder Pumpen → Verringerung der Druckdifferenz oder Vergrößerung der Anstiegszeit (Dehnung der Druck-Zeit-Funktion)
 - Quasistationäre Stöße → Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit
 - Einzelne Stöße in Ventilen → breitbandige Geräusche
 - Periodische Stöße → periodische Geräusche
 - Stationäre Stöße → lauter, breitbandige Geräusche
- 2. Flüssigkeitsschallquellen
 - Geräusche durch Turbulenzen, Stöße und Pulsationen
 - Konstruktionsregeln:
 - Verminderung von Druckänderungen
 - Minimierung der Strömungsgeschwindigkeit
 - Vermeiden von Hindernissen in der Strömung
 - Verbesserung der Strömungsführung
 - Verminderung der Druckänderungsgeschwindigkeit
 - Kavitation in Bereichen, wo der Druck unter den Dampfdruck absinkt (z. B. in Ventilen oder Pumpen)
 - Konstruktionsregeln:
 - Verminderung von Druckänderungen
 - Minimierung der Strömungsgeschwindigkeit (Vermeiden von Strömungsgeschwindigkeiten über 1,5 m/s)
 - Erhöhung des statischen Druckes
 - Verbesserung der Strömungsführung
 - Verwendung kurzer Saugleitungen
 - Anordnen des Flüssigkeitsbehälters höher als der Pumpeneinlass
 - Verwenden von Armaturen mit geringem Strömungswiderstand
- 3. Körperschallquellen
 - Stoßgeräusche häufig dominierende Lärmquelle in Maschinen
 - Wichtigsten Parameter: Masse und Geschwindigkeit der aufeinander schlagenden Körper sowie Dauer
 - Konstruktionsregeln:
 - Vergrößerung der Stoßdauer
 - Verminderung der Stoßgeschwindigkeit
 - Verringerung der Masse des freibeweglichen stoßenden Körpers

- Vergrößerung der Masse des feststehenden Körpers
- Vermeidung von Spiel zwischen Teilen mit wechselnden Lasten
- Zahnradgeräusche
 - Wichtigsten Parameter: Eingriffsdauer der Zähne, Kraft-Zeit-Verlauf und Steifigkeit der Zähne
 - Zahnfehler verstärken Geräusche
 - Konstruktionsregeln:
 - Eingriffsdauer erhöhen
 - Schrägverzahnte Getriebe verwenden
 - Zahnzahl erhöhen
 - Qualität (Ausrichtung, Genauigkeit der Verzahnung) verbessern
 - Bei geringen Belastungen Kunststoff verwenden
- Rollengeräusche
 - Ursache: Raue oder unrunde Kontaktflächen
 - Konstruktionsregeln:
 - Glatte Rollflächen erhalten
 - Richtige Schmierung
 - Präzisionswälzlager verwenden
 - Toleranzen im Gehäuse minimieren
 - Gleitlager verwenden
 - Nachgiebigkeit in der Kontaktzone erhöhen
- Massenkräfte
 - Ursache: schwingende Massen oder Unwuchten in rotierenden Teilen
 - Konstruktionsregeln:
 - Durch Auswuchten der Rotoren oder Masseausgleich der verschobenen Massen Massekräfte verkleinern
 - Beschleunigte Massen verkleinern
 - Steifigkeit der Bewegung erhöhen
- Reibung, Selbsterregung
 - Konstruktionsregeln:
 - Richtige Materialauswahl
 - Richtige Schmierung
 - Dämpfung derjenigen Struktur erhöhen, bei der Selbsterregung auftreten kann
- Magnetfelder
 - Geräusche sind lastabhängig
 - Konstruktionsregeln:
 - Auswahl der Ankernuten, so dass keine Eigenschwingung in Stator und Rotor angeregt werden
 - Ankernuten nicht parallel zu den Polen
 - Symmetrisches Magnetfeld aufbauen
 - Polform optimieren
 - Berücksichtigung der durch den Wandler magnetisch induzierten Geräusche an Antrieben mit veränderlicher Drehzahl

Geräuschübertragung

1. Luftschallübertragung

- Vermindern der Geräuschübertragung m. H. von Schallschutzkapsel, Schallschirme, Schalldämpfer oder Schallabsorption

2. Flüssigkeitsschall

- Übertragung in Rohren und Kanälen

- Reflexion am Ende des Systems durch Änderung der Querschnittsfläche des Rohres oder des Schlauches oder durch Änderung der Steifigkeit der Rohrwandungen
 - Absorption durch Schläuche oder Akkumulatoren
3. Körperschallübertragung
- Übertragung von Körperschall von den Quellen zu abstrahlender Fläche durch Änderung der Masse, der Steifigkeit und Dämpfungsverteilung beeinflussbar

Anh. 8, Tab. 6: Verminderung des Körperschalls

Bereich	Maßnahmen
Tiefe Frequenzen (quasistatisches Verhalten)	Nur Schwingungsisolierung
Mittlere Frequenzen (diskrete Eigenfrequenz)	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der Masse im Anregungspunkt - Erhöhung der Dämpfung - Schwingungsisolierung der Quelle - Reflexion an Unstetigkeitsstellen
Hohe Frequenzen (hohe Eigenfrequenz)	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der Masse oder Steifigkeit im Anregungsbereich - Schwingungsisolierung der Quelle - Unstetigkeiten in Verbindung mit zusätzlicher Dämpfung an der Quellenseite

- Konstruktionsregeln für Schwingungsisolierung
 - Verwendung von Elementen oder Zwischenschichten, die ausreichend nachgiebig sind
 - Verwendung einer ausreichend steifen und schweren Grundstruktur
- Konstruktionsregeln für Dämpfung
 - Dämpfung in der Nähe der Anregung anwenden
 - Zusätzliche Dämpfung an dünnen Platten

Geräuschabstrahlung

- Abstrahlen von Luftschall aus Öffnungen
 - Anordnung der Öffnungen an der günstigsten Seite (Richtcharakteristik der Schallabstrahlung)
 - Verwendung von Schalldämpfern oder Schallschirmen vor den Öffnungen
- Abstrahlung von Körperschall
 - Abstrahlende Fläche verkleinern
 - Verkleidungen mit geringen Abstrahlgrad für dominierende Frequenz verwenden
 - Dünne Platten anstelle dicker Platten
 - Gelochte Platten
 - Verkleidungen mit Dämpfungsbelägen

DIN EN ISO 11688-2: Richtlinie für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte, Teil 2: Einführung in die Physik der Lärminderung durch konstruktive Maßnahmen, 2001

Schalltechnisches Modell

Allgemeiner Ansatz:- maschineneigene Schallquellen

- Übertragungswege im Inneren der Maschine
- Schallabstrahlung von Maschinenaußenflächen

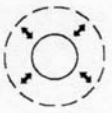
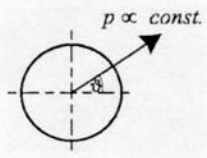
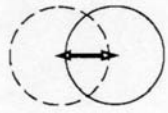
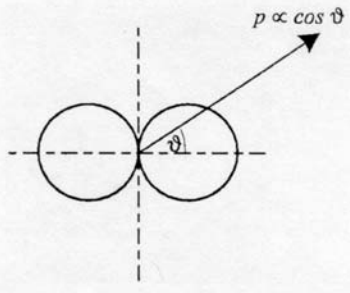
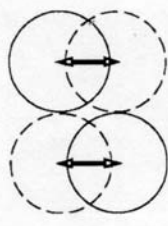
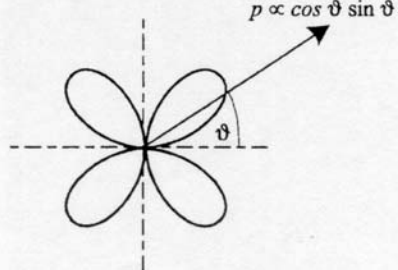
Schallquellen und Übertragungswege im Inneren der Maschine lassen sich in 3 Klassen einteilen: - Luftschall

- Flüssigkeitsschall
- Körperschall

3 Übertragungswege im Inneren der Maschine

- durch die Luft im Gehäuse zur Gehäuseöffnung
- durch die Luft im Gehäuse hin zu den Gehäusewänden
- durch die Befestigungspunkte in den Gehäusewänden

Anh. 8, Tab. 7: Eigenschaften der elementaren Schallquellen nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 1

Quellenart	Schematische Darstellung	Beispiele	Fernfeldcharakteristik
Monopol „Atmende“ Kugel		Sirene, Kolbenverdichter oder -pumpe, Auslass eines Verbrennungsmotors, Kavitationsphänomene, Pressluftmotor, Gasbrenner	
Dipol Schwingende Kugel		Langsam laufende Maschinen (Axial- und Radialventilatoren), Hindernisse in der Strömung (Ablösung der Strömung), Lüftungssysteme, Luftaufbereitungssysteme, Strömungskanäle	
Quadrupol Zwei gegenläufig schwingende Kugeln (zwei Dipol-Quellen)		Turbulente Strömung (Durchmischungszone eines Freistrahls), Druckluftdüsen, Dampfstrahlgeräte, Sicherheitsventile	

Anh. 8, Tab. 8: Zusammenfassung des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Schalleistung W , der Strömungsgeschwindigkeit u und der Dimension des Strömungsfeldes n nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 2

	Dimension n des Strömungsfeldes		
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
Veränderlichkeit des Massenflusses (Monopol)	$W \sim \rho a u^2$	$W \sim \rho u^3$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha} u^4$
Veränderlichkeit der Kraft (Dipol)	$W \sim \frac{\rho}{\alpha} u^4$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^2} u^5$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^3} u^6$
Turbulenz (Quadrupol)	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^3} u^6$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^4} u^7$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^5} u^8$

Anh. 8, Tab. 9: Übliche Werte für den akustischen Wirkungsgrad nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 3

Luftschallquelle	Zugrundeliegende elementare Schallquelle	Akustischer Wirkungsgrad η
Kolbenkompressor (Abstrahlung in ein ausgedehntes Kanalsystem)	Monopol	$\eta = \frac{p'}{\Delta p}$ *)
Sirene	Monopol	1×10^{-1}
Trompete	Dipol	1×10^{-2}
Propellerflugzeug	Dipol	1×10^{-3}
Strömung an einem Auslaß (bei Geschwindigkeiten unterhalb der Schallgeschwindigkeit, $M_a < 1$)	gemischt	$1 \times 10^{-4} M_a^5$
Dieselmotor (Strömungsgeräusch am Auslaß)	gemischt	1×10^{-4}
Gasturbine	gemischt	1×10^{-5}
Strömungserzeuger (am vorgesehenen Arbeitspunkt)	Dipol	1×10^{-6}
Turbulenter Freistrah	Quadrupol	$1 \times 10^{-4} M_a^5$
Kavitierender Schiffspropeller	Monopol	1×10^{-7}

*) Dabei ist p' der Höchstwert des Wechseldruckes, Δp die Druckdifferenz.

Körperschall

1. Modell der Schallentstehung

Körperschall entsteht, wenn eine Struktur (z. B. Maschinengehäuse) durch eine zeitlich veränderliche Kraft oder Geschwindigkeit erregt wird

Anh. 8, Tab. 10: Klassifizierung der Körperschallanregungsarten nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 4

Anregungsart	Untergruppen/Beispiele	Maßnahmen zu Beeinflussung der Anregung
1. Freie Massenkraft Linienpektrum	Unerwünschte Massenkkräfte: Rotoren (Turbinen, Elektromotoren) Erwünschte Massenkkräfte: Anwendungen der Schwingungstechnik, z. B. Rüttelförderer, Sieben, Reinigung, Verdichtung	Herabsetzung der Drehzahl, Auswuchten, größtmöglicher Massenausgleich Änderung des Verfahrens, z. B. Bewegung des Verdichterbehälters als starrer Körper durch phasengleiche Anregung
2. Stoß Stetiges Spektrum für die einzelnen Stoßereignisse	Technologien, die auf Stößen und Schlägen basieren: Gesensschmieden, Schlagneten, Schreibmaschinen, Verdichtung, Transport starrer Gegenstände Konstruktionsbedingte Stöße: Anschläge, Spiel	Änderung des Verfahrens oder günstigere Gestaltung der Zeitfunktion, z. B. durch Verlängerung des Stoßes Benutzung einer elastischen Prallfläche (Anwendung für Gummi), Verringerung der zu bewegenden Massen und Stoßgeschwindigkeiten, Vermeidung von Spiel
3. Unregelmäßige Kraftfunktionen – Periodischer Vorgang: Linienpektrum – Kurzzeitiges Einzelereignis: Stetiges Spektrum	Wechselwirkungen zwischen Maschinenteilen: Getriebe, Rollgeräusche (Lager), Elektromotoren Wechselwirkungen zwischen Maschine und Werkstück: Trennen, Schneiden und Formen Anregung der Maschinenstruktur durch Pulsationen im Innern der Maschine: Kolbenmaschinen, Verbrennungskraftmaschinen und Pumpen	Steigerung der Produktionsgenauigkeit und Gleichförmigkeit, z. B. durch Schrägverzahnung Beeinflussung der räumlichen Verteilung der anregenden Kräfte (Der Abstand zwischen gegenläufigen, gleich großen Kräften muß im Vergleich zur Biegewellenlänge der Struktur klein sein.)
(fortgesetzt)		
Anregungsart	Untergruppen/Beispiele	Maßnahmen zur Beeinflussung der Anregung
4. Kräfte aufgrund von instationären Strömungsbedingungen Stetiges, breitbandiges Spektrum für stochastische Vorgänge: Kavitation Einzeltöne: Wirbelbildung Druckimpulse bei umlaufenden Gittern mit k Elementen $f = kn/60^*$	Strömungserzeuger in geschlossenen Rohrsystemen: Verdichter, Turbinen, Pumpen	Optimierte Strömungsführung
5. Selbsterregung Einzeltöne: plötzliches Einsetzen oder Enden der Emission mit hohem Pegel bei geringer Veränderung eines Parameters	Ruckgleiten: Quietschende Bremsen, Quietschen des Werkzeugs auf einer Drehbank beim spanenden Formen, Schleudervorgänge, Kurvenfahrt bei Schienenfahrzeugen	Erfüllung des Stabilitätskriteriums für ein rückgekoppeltes System; Versteifung, Versteifung und Bedämpfung des Werkzeugs und/oder Werkstücks Schmierung
*) n : Drehzahl		

2. Minderung des Körperschalls durch Isolierung

- Einbringen von weichen oder elastischen Elementen zwischen vergleichsweise steifen Komponenten der Struktur
 - Steifigkeit des elastischen Elements wesentlich geringer als die der Komponente der Struktur
 - Dämmung nicht immer mit zunehmender Frequenz zunehmend

- Empfehlenswert: nahe dem elastischen Element Zusatzmasse anzubringen
- Einbringen von Zusatzmassen auf dem Körperschallübertragungsweg
- Plötzliche Querschnittsänderung oder Umlenkung (abhängig von Wellenart)

3. Minderung der Körperschallübertragung durch Dämpfung

Anh. 8, Gleichung 3: Minderung der Körperschallübertragung **(3.3)**

$$\eta = \frac{W_{diss}}{2 \cdot \pi \cdot W_{rev}}$$

- η Verlustfaktor
 W_{diss} Energiedissipation während einer Schwingungsperiode
 W_{rev} reversible mechanische Energie

Anh. 8, Tab. 11: Verlustfaktoren für frei schwingende ebene Platten aus verschiedenen Werkstoffen nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 6

Werkstoff	η
Stahl, Aluminium, Messing	$\approx 10^{-4}$
Gußeisen	$\approx 10^{-2}$
Kupfer/Mangan-Sonderlegierungen	$\approx 3 \times 10^{-2}$
Kunststoff (Baumaterial)	$\approx 10^{-2}$ bis 10^{-1}
Glasfaserverstärkter Polyester	$\approx 10^{-2}$
Plexiglas	$\approx 2 \times 10^{-2}$
Beton	$\approx 10^{-2}$
Glas	$\approx 10^{-3}$ bis 10^{-2}

Grundsätzlich zwei alternativen zur Erhöhung der Dämpfung

- Werkstoffe mit großer innerer Dämpfung
- Anbringen speziellen Dämpfungsmaßnahmen an der Struktur

Für Platten gibt es

- einlagige Dämpfung
- Dämpfung durch eingezwängte Zwischenschichten
- Dämpfung durch Zwei-Platten-System

4. Abstrahlung

Hauptmaßnahmen zur Verminderung der Abstrahlung

- kompakte Bauweise
- Benutzung von Lochblechen
- Benutzung biegeweicher Platten, um die kritische Frequenz anzuheben, wenn Geräusche im Bereich hoher Frequenzen gemindert werden sollen

DIN EN ISO 11690-1: Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten, Teil 1: Allgemeine Grundlagen, 1997

Definition: Geräuschemission ist die Schallabstrahlung einer Maschine.

Geräuschemission wird maschinenbezogen, unter festgelegten Betriebsbedingungen und umgebungsabhängig untersucht.

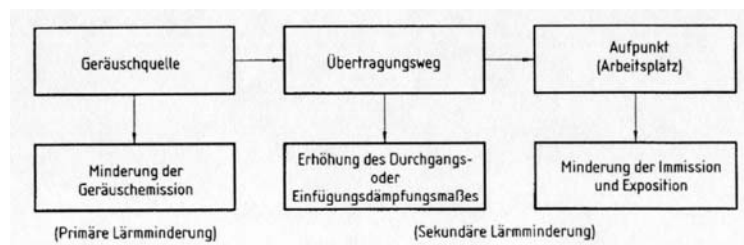
Größen für die Geräuschemission

- A-bewerteter Schallleistungspegel L_{WA} unter bestimmten Aufstellungs- und Betriebsbedingungen
- Emissionsschalldruckpegel L_{pA} an einem festen Ort unter bestimmten Aufstellungs- und Betriebsbedingungen
- Frequenzbandpegel
- Spitzenwert des C-bewerteten arbeitsplatzbezogenen Emissionswerts
- Zeitverlauf

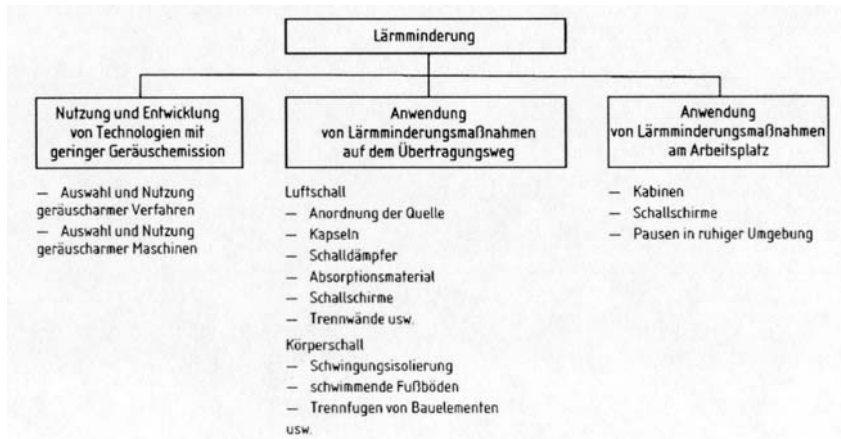
Bedeutung der Geräuschemissionswerte

- keine eindeutige und einfache Beziehung zwischen Geräuschemissionswerten einer Maschine und Geräuschimmissionswerten, wenn die Maschine in Betrieb ist
- im Allgemeinen: Geräuschimmissionspegel am Arbeitsplatz einer Maschine höher als die angegebenen Emissions-Schalldruckpegel an demselben Arbeitsplatz
- (Grund: Schallreflexion von Wänden, Anteile anderer Schallquellen und mögliche Abweichungen von angegebenen Betriebsbedingungen)

DIN EN ISO 11690-2: Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten, Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen, 1997



Anh. 8, Abb. 10: Schritte zur Verwirklichung von Lärminderungsmaßnahmen nach DIN EN ISO 11690-2 Bild 1



Anh. 8, Abb. 11: Schritte zur Verwirklichung von Lärminderungsmaßnahmen nach DIN EN ISO 11690-2 Bild 2

3.3.b Stand der Technik

RICHTLINIE 2003/10/EG: Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm), 2003

Artikel 5: Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Exposition

(1) Unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der Verfügbarkeit von Mitteln zur Begrenzung der Gefährdung am Entstehungsort muss die Gefährdung aufgrund der Einwirkung von Lärm am Entstehungsort ausgeschlossen oder so weit wie möglich verringert werden.

Die Verringerung dieser Gefährdung stützt sich auf die allgemeinen Grundsätze der Gefahrenverhütung in Artikel 6 Absatz 2 der Richtlinie 89/391/EWG; dabei ist insbesondere Folgendes zu berücksichtigen:

- a) Alternative Arbeitsverfahren, welche die Notwendigkeit einer Exposition gegenüber Lärm verringern;
- b) die Auswahl geeigneter Arbeitsmittel, die unter Berücksichtigung der auszuführenden Arbeit möglichst geringen Lärm erzeugen, einschließlich der Möglichkeit, den Arbeitnehmern Arbeitsmittel zur Verfügung zu stellen, für welche Gemeinschaftsvorschriften mit dem Ziel oder der Auswirkung gelten, die Exposition gegenüber Lärm zu begrenzen;

[...]

e) technische Lärminderung:

- i) Luftschallminderung, z. B. durch Abschirmungen, Kapselungen, Abdeckungen mit schallabsorbierendem Material;
- ii) Körperschallminderung, z. B. durch Körperschalldämmung oder Körperschallisolierung;

[...]

Schriftreihe der BAuA: Fa 8, Lärmbekämpfung, 2003

Lärmbekämpfungsprinzipien nach folgenden Abschnitten eingeteilt:

1. Eigenschaften des Schalls
2. Schallabstrahlung von schwingenden flächenhaften Strukturen
3. Schallerzeugung in Luft oder Gasen

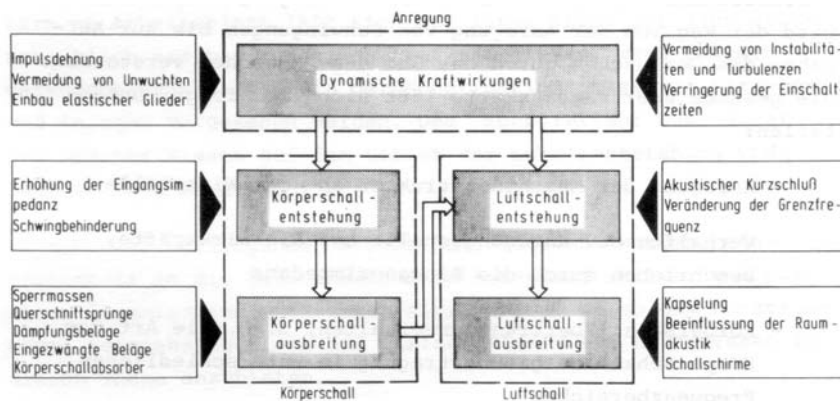
4. Schallerzeugung in strömenden Flüssigkeiten
5. Schallausbreitung in Räumen
6. Schallausbreitung in Leitungen
7. Schwingungsisolierung von Maschinen
8. Schalldämmung von Wänden

Lärminderungsmaßnahmen:

- Durch abgerundete Zahnflanken Kraftübertragung über einen längeren Zeitraum
- Getriebe mit Schrägverzahnung laufen leiser
- Über Quelle schalldämmende Haube, die mit schallabsorbierenden Material innen verkleidet ist, anbringen
- Kapselung mit dämpfendem, schallschluckendem Material
- Abdeckung aus Lochblech und Maschendraht reduzieren Schallabstrahlung
- Statt breiten Antriebsriemen mehrere schmale Riemen einsetzen, die auf getrennten Riemenscheiben laufen
- Seitenplatten von Maschinen mit Stahlbändern verstärken
- Überdruckventil mit Streuschirm
- Schallerzeugende Metallteile durch Kunststoffteile ersetzen
- Schalldämmung und Dichtung für Hauben und Verkleidung von Maschinen vorsehen
- Besonders laute Maschinenteilen einkapseln

Tönshoff, H. K.; Rohr, G.; Hanschen, M.: Praxiserprobte Maßnahmen zur Lärminderung (Fb 280), 1984

Die Arbeit versucht eine Systematik der bisher bekannten Beispiele aktiver und passiver Lärminderungsmaßnahmen vorzunehmen.



Anh. 8, Abb. 12: Möglichkeiten der Lärminderung nach Fb 280 Bild 1

Lärminderungsmaßnahmen sind i. d. R. nicht auf bestimmte Maschinengattungen begrenzt. Deshalb erfolgt eine übergeordnete Klassifizierung der Beispiele nach:

- Maschinenspezifisch
- Werkzeugspezifisch
- Werkstückspezifisch

Die Beispiele in der Beispielsammlung enthalten Lärminderungsmaßnahmen die unter Praxisbedingungen erprobt sind.

Biermann, J.-W.; Janowitz, T.: Arbeitsschutz durch Antischall (Fb 730), 1995

Die Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema Antischall.

Es gibt prinzipielle Möglichkeiten lärmarmen Konstruktion.

- durch einen Wechsel des Arbeitsverfahrens Verringerung der Schwingungsanregung
- Maßnahmen innerhalb des Arbeitsprinzips
- Zeitverlauf der Krafterleitung bei impulsförmigen Vorgängen dehnen
- Akustischer Kurzschluss zur des Abstrahlgrades zwischen gegenphasigen Bewegungen der benachbarten Strukturteilen
- Akustische Entkopplung von Bauteilen

Schalldämmung

Unter Schalldämmung versteht man die Behinderung der Schallausbreitung durch schallreflektierende Hindernisse, d. h. durch Reflexion von Schallwellen an der Trenn- oder Grenzfläche zwischen zwei verschiedenen Schallausbreitungsmedien.

Anh. 8, Gleichung 4: Schallreflexionsfaktor r (3.4)

$$r = \frac{p_r}{p_e}$$

p_r Schalldruck der reflektierten Schallwellen

p_e Schalldruck der einfallenden Schallwellen

Um eine möglichst große Dämmung zu erreichen, sollten sich die Schallkennimpedanzen von schallzuführenden Medium und Dämmmedium stark unterscheiden.

- Prinzipiell nimmt die Dämmung mit dem Flächengewicht der Wand zu.
- Hoher Frequenzen werden besser gedämpft als niedrige.

Absorber bzw. schallabsorbierende Einbauten

- verwendet, um störende Schallreflexionen an schallharten Begrenzungselementen vollständig oder teilweise zu vermeiden
- Kapseln von lärmintensiven Maschinen sowie Lärmschutzkabinen schallabsorbierend auskleiden
- Schallschluckende Verkleidungen an Decken und Wänden
- Absorptionsschalldämpfer
- Bei Schallabsorption wird Schallenergie in Wärme umgewandelt
- Verwendung von Stoffen mit homogenen Massen, z. B. Gummi, vorwiegend zur Minderung des Körperschalls
- Stoffe aus faserigen oder offenporigen Materialien zur Körperschallminderung eingesetzt

Anh. 8, Gleichung 5: Schallabsorptionsgrad α (3.5)

$$\alpha = 1 - \frac{J_r}{J_e}$$

$J_e - J_r$ absorbierten Schallintensität

J_e einzufallende Schallintensität

- allgemein gilt, dass die Absorption in den meisten Fällen mit steigender Frequenz und Absorptionsschichtdicke zunimmt und dass für tiefe Frequenzen hohe Schichtdicken (bis ca. 100 mm) erforderlich sind

- Schallabsorption innerhalb von Kapseln oder Umkleidungen reduziert Pegelerhöhungen (10 dB und mehr möglich), die auf Grund von Schallreflexionen an den Begrenzungswänden auftreten
- Schalldämpfer unterscheidet man in Absorptionsschalldämpfer sowie Reflexions- und Resonanzschalldämpfer („Schalldämmer“)
- Ziel: bestmögliche Verhinderung von Schallübertragung

Antischall

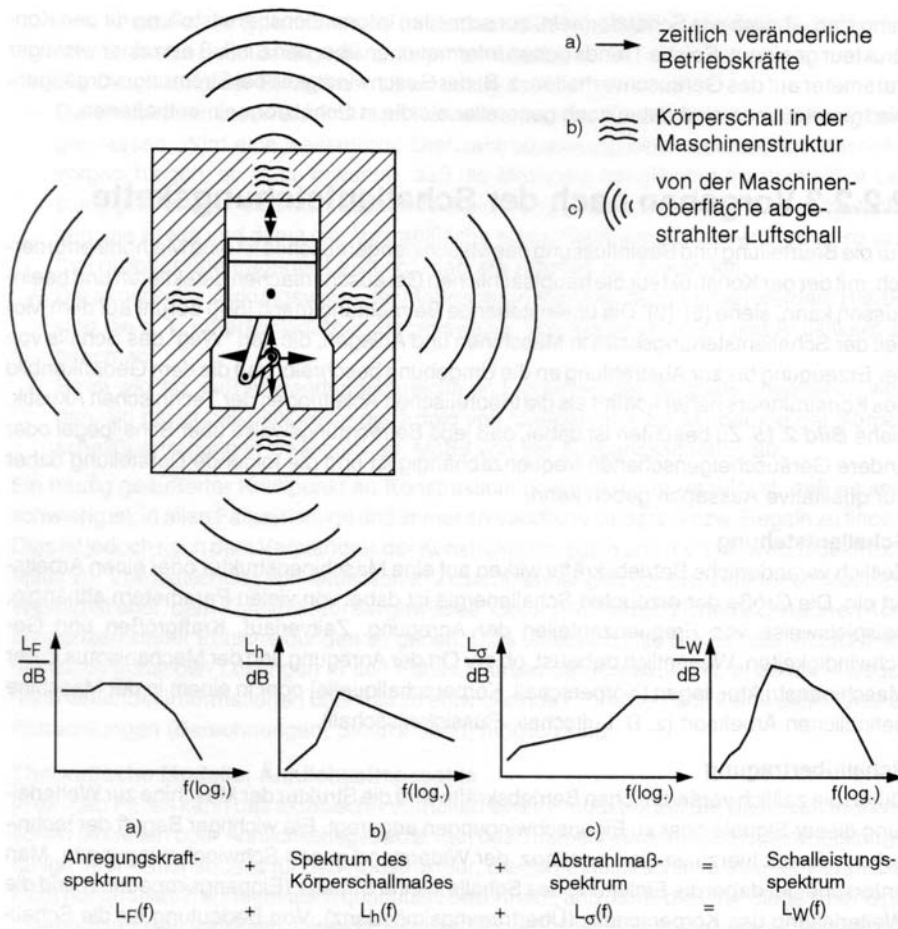
Das Prinzip beruht auf der destruktiven Interferenz akustischer Wellenfelder.

- Nach dem Huygenschen Prinzip kann man das von einer Schallquelle erzeugte Schallfeld dadurch nachbilden, dass auf einer Hüllfläche um diese Primärquelle eine Anzahl von Sekundärschallquellen angeordnet wird
- Sekundärquellen: Schall mit gleicher Frequenz und Amplitude, um 180°gedrehter Phase abstrahlen
- Effekt: Schallfelder außerhalb der Hüllfläche heben sich gegenseitig auf
- Praktisches Problem: für vollständige Auslöschung unendlich viele Sekundärschallquellen einsetzen, um exakte Nachbildung des Feldes zu erreichen
- Aktive Beeinflussung der Schallübertragung meist auf Körperschall angewendet, bekanntestes Beispiel: aktive Lager
- Mehrdimensionale aktive Minderung der Schallübertragung, wo schwingende Flächen oder räumliche Strukturen Luftschall anregen, dazu auf der Fläche oder in der Struktur Akuratoren (Schwingerreger) verteilen, die genau gegenphasige Schwingungen erzeugen

Haje, D.: Lärmarm konstruieren XVII, Entwicklung eines Informationssystems zur Konstruktion lärmarmen Produkte, 1997

In dieser Arbeit wird ein Informationssystem zur umfassenden Unterstützung der Konstruktion lärmarmen Produkte konzipiert.

Die Methodik umfasst Anforderungsklä rung, Konzepterstellung, maschinenakustische Modellbildung, Analyse und Optimierung.



Anh. 8, Abb. 13: Schallentstehungskette nach Müller, H.W.: Praxisreport Maschinenakustik nach Fb 768

Entsprechend der Schallentstehungskette sollten folgende Schritte zur Analyse der Schallsituation vorgenommen werden:

- Definition der hauptsächlichen Schallquellen
- Untersuchung der Schallquellen auf mögliche Geräuscherzeugungsmechanismen
- Analyse und Beschreibung der direkten Geräuschübertragung
- Untersuchung der Abstrahlung des Geräusches von der Maschinenoberfläche

Sonderschrift S 42: Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb, 2001

Anh. 8, Tab. 12: Bereiche von Geräuschemissionswerten für vergleichbare Kettensägen mit Verbrennungsmotor (nach VDI 3748, Stand 1986) nach S 42 Anh. 8, Tab. 9-3

Betriebszustand	Motorleistung in kW	A-Schalleistungspegel LWA in dB		
		Niedrigster	mittlerer	höchster
Leerlauf	< 4	87	95	104
	□4	94	100	109
Vollgas mit Belastung	< 4	109	113	120
	□4	114	118	122
Vollgas ohne Belastung	< 4	112	118	122
	□4	117	119	122

Technische Maßnahmen sind:

- an den Hauptlärmquellen (akustische Voll- oder Teilkapseln, Schalldämpfer u. ä.)
- auf dem Schallübertragungsweg zu Arbeitsplätzen (akustische, mindestens 1,8 m hohe Abschirmwände, z. B. um einen Richtarbeitsplatz oder um einen Verhandlungsbereich im Mehrpersonenbüro)
- an den Arbeitsplätzen (Schallschutzkabinen, z. B. um Messwarten in Kraftwerkshallen)

Anh. 8, Tab. 13: Anhaltswerte der erreichbaren Lärminderung durch Kapseln, Abschirmwände und Kabinen nach S 42 Anh. 8, Tab. 9-6

Schallschutzmaßnahme	A-Schalldruckpegelminderung in dB
Kapsel	
- einschalig, ohne absorb. Auskleidung	5 ... 10
- einschalig, mit absorb. Auskleidung	10 ... 25
- doppelschalig, mit absorb. Auskleidung und Körperschallisolierung	20 ... 40
Schallabschirmung	
- ohne absorb. Deckenbereich darüber	bis ca. 5
- mit absorb. Deckenbereich darüber	bis ca. 10
Schallschutzkabine	15 ... 30

Schirmer, W. (Hrsg.): Technischer Lärmschutz, 1996

- bekanntestes Prinzip der Lärminderung: Schallauslöschung (Antischall)
- lärmarme Maschinen durch Verminderung der Anregung sowie Dämpfung und Dämmung von Körper- und Luftschall
- Geräuschminderung von Teilquellen, dabei ist Verminderung des Gesamtgeräusches nur sehr gering

Anh. 8, Gleichung 6: Dimensionsloser Geräuschanteil q_v (3.6)

$$q_v = \frac{P_v}{P_{ges}} = 0 \dots 1$$

P_v Schalleistung der v-ten Quelle

P_{ges} Schalleistung der gesamten Quellen

- bei einer Maschine mehrere unterscheidbare Geräuschquellen vorhanden, dann ist es notwendig, für die Teilquellen Zielwerte vorzugeben
- Maschine in geräuscherzeugende und geräuschübertragende Konstruktionsbestandteile einteilen
- Geräuscherzeugende: technische Quellen wie Anschläge, Kugellager, Antriebsmotoren, Ventilatoren und Pumpen
- Geräuschübertragende: passive Struktur wie Gestelle, Ständer, Gehäuse und Rahmen
- technische Quellen:
 - erzeugen mehrere Schallarten
 - mit ursächlicher mechanischer Geräuschenstehung erzeugen Körper- und Luftschall
 - mit ursächlicher strömungsmechanischen Geräuschenstehung erzeugen Körper-, Flüssigkeits- und Luftschall

Absorptionsschalldämpfer

- Verminderung der Schallausbreitung im Kanalsystem lufttechnischer Anlagen
- Verminderung der Schallabstrahlung in Strömungsmaschinen
- Bedämpfung von Öffnungen
- Absorptions-, Reflexions- und Resonanzschalldämpfer

Vorteile Absorptionsschalldämpfer:

- Höchsten Dämpfungswerte im mittleren Frequenzbereich
- Dämpfungsverlauf relativ breitbandig

Vorteile Resonanzschalldämpfer

- Auf diskrete Frequenzkomponenten abstimmbar
- Hohe Dämpfung auch im tiefen Frequenzbereich

Schallschutzkapseln

- Vollkapsel: lärmintensive Maschine in einer allseitig geschlossenen Haube
- Integrierte Kapsel: besonders stark schallabstrahlende Maschinenteile gekapselt werden oder unmittelbar vor schallabstrahlenden Gehäuseteilen zusätzlich Dämmwände angebracht werden
- Pegelminderung bei Teil- und integrierter Kapselung niedriger als bei Vollkapselung

Kollmann, F. G.: Maschinenakustik, 1993

Es gibt drei Ansätze der Geräuschminimierung:

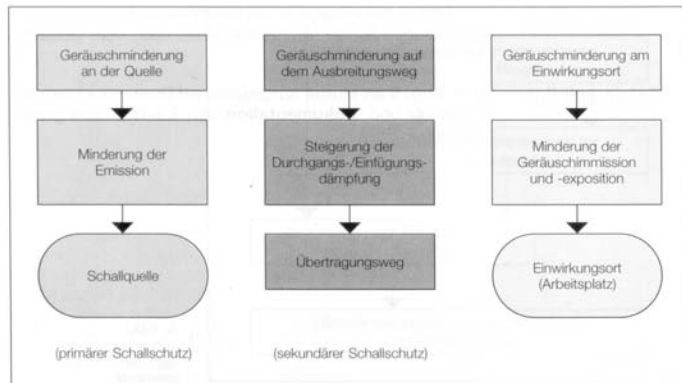
- Verringerung der Erregerkräfte
- Verringerung des Körperschalls
- Verringerung der Abstrahlung

Maßnahmen zur Schallminderung haben die größte Wirksamkeit, wenn

- Minderung des Luftschalls im Frequenzbereich der größten Amplituden des Schalleistungsspektrums
- Minderung des Körperschalls im Frequenzbereich der größten Amplituden des Schalleistungsspektrums

Die Maschine umfasst mehrere Schallquellen, dann Maßnahmen stets an derjenigen Schallquelle einsetzen, welche den größten Einzelpegel besitzt.

Neugebauer, G.: Lärminderungsprogramme im Arbeitsschutz, 1996



Anh. 8, Abb. 14: Grundlagen der Lärminderung nach G. Neugebauer Anh. 8, Abb. 6

Anh. 8, Tab. 14: Schallarten und Kenngrößen nach G. Neugebauer Anh. 8, Abb. 9

Schallart/ Minderung	Wirkungsweise	Kenngröße
Körperschall- dämmung	Minderung der Schallausbreitung an Querschnittsprüngen oder Trennflächen verschiedener Werkstoffe	Schalldämmmaß R in dB
Körperschall- dämpfung	Umwandlung mechanischer Schwingungen in Wärme	Impedanz oder Schwingwiderstand Z
Luftschall- dämmung	Minderung der Schallausbreitung an Wänden, Decken usw. durch Reflexion	Schalldämmmaß R in dB
Luftschall- dämpfung	Umwandlung der Schallenergie in Wärme	Schallabsorptionsgrad α

3.4 Gefahrstoffe

3.4.a Anerkannte Regeln der Technik

DIN EN 626-1: Reduzierung des Gesundheitsrisikos durch Gefahrstoffe, die von Maschinen ausgehen, Teil 1: Grundsätze und Festlegungen für Maschinenhersteller, 1994

Gefahrstoffe können entstehen aus:

- Irgendeinem Teil der Maschine
- Substanzen in der Maschine
- Materialien, die direkt oder indirekt aus Gegenständen und/oder Stoffen entstehen, die mit der Maschine hergestellt oder bearbeitet werden

Luftgetragene Emissionen können durch verschiedene Prozesse entstehen:

- Maschinelle Be- und Verarbeitung
- Verdampfen und thermische Übertragung
- Thermische Metallbearbeitungsprozesse
- Materialtransport
- Zerstäuben
- Lecks
- Nebenprodukte und Abgänge
- Wartungsprozesse
- Demontageprozesse
- Verbrennen von Brennmitteln
- Metallbearbeitung, z. B. Kühlschmierstoffe

Nichtluftgetragene Emissionen können durch verschiedene Prozesse entstehen:

- Migration aus offenen Quellen
- Öffnen der Maschine
- Eintreten in die Maschine
- Manueller Materialtransport
- Handhabung von Maschinenteilen
- Fehlbedienung
- Undichtigkeiten
- Trennbrüche

Maschinen so gestalten, dass Risiko einer Exposition auszuschließen ist oder vermindert wird, in folgender Reihenfolge:

- Minderung der Emission
- Minderung durch Lüftung oder andere Ingenieurmaßnahmen
- Minderung durch Maschinenhandhabung und räumliche Trennung

Maßnahmen zur Expositionsminderung gegenüber Gefahrstoffen

- Ausschließen und Verhindern von Risiken
 - Beseitigen des Vorgangs, der Emission verursacht
 - Auswahl eines alternativen Produktionsprozesses
 - Ausschließen der Verwendung des Stoffes
 - Ersatz der gefährlichen Stoffe durch weniger gefährliche
 - Geschlossene/eingehauste Prozesse und Handhabungssysteme
 - Ferngesteuerte und automatisierte Prozesse

- Minderung der Emission
 - Verwendung von Dampfrückführungssystemen
 - Verwendung von staubreduzierten Stoffarten
 - Geschlossene Systeme zur Materialhandhabung
 - Staubbindung durch Benetzen
 - Wartung und Instandhaltung von Absperrorganen, Pumpen und Flanschen
 - Verhütung von Streu- und Schüttverlusten sowie Undichtigkeiten
 - Verwendung von Flüssigkeiten, die staubfrei trocknen
 - Tauchen von Wellen und Dichtungen in reaktiven Flüssigkeiten zur Absorbierung von austretenden Gefahrstoffen
 - Anbringen von Abdeckungen, flexibler oder starrer Absperrvorrichtungen oder von Schwimmkugelverschlüssen zur Rückhaltung von Emissionen aus Fördereinrichtungen, Behältern u.ä.
 - Kondensierung von Dämpfen
 - Anwendung von Unterdrucksystemen
 - Prozesskontrolle

Minderung durch Lüftung

- örtliche Absaugung aus fast vollständiger oder teilweiser Einhausung
- örtliche Absaugung ohne Einhausung
- allgemeine Verdünnungslüftung
- natürliche Lüftung durch entsprechende bauliche Ausführung

DIN EN 626-2: Reduzierung des Gesundheitsrisikos durch Gefahrstoffe, die von Maschinen ausgehen, Teil 2: Methodik beim Aufstellen von Überprüfungsverfahren, 1996

Anh. 8, Tab. 15: Beispiele für relevante Faktoren und ihre anzeigenden Eigenschaften nach DIN EN 626-2 Anh. 8, Tab. C.1

Kategorie	Emissionsrelevante Faktoren	Kenngroßen
Materialien	Zuführ- und Auswurfraten	Massenstrom (kg h^{-1}); Vorschubgeschwindigkeit (mm min^{-1}); restliche luftgetragene Konzentration (mg m^{-3}).
	Zustand des zugeführten Materials	staubig oder fest, viskos, nicht-viskose oder flüchtige Flüssigkeiten.
	Prozeßverlauf	Zeitdauer der Materialzuführung (min).
Energie	Thermisch	Temperaturregelung (Bereich $^{\circ}\text{C}$); Rate der Temperaturerhöhung oder -erniedrigung ($^{\circ}\text{C min}^{-1}$); Temperatur des entnommenen Produktes ($^{\circ}\text{C}$); Temperatur der Kühlflüssigkeit/des Kühlgases ($^{\circ}\text{C}$); Volumenstrom des Kühlmittels (l h^{-1}).
	Elektrisch	Aufgenommene Energie (kWh); Strom des Antriebsmotors (A).
	Mechanik	Rührgeschwindigkeit (Umdrehungen min^{-1}); Geschwindigkeit des Transportbandes (m min^{-1}); Mischungsdauer (min).
	Luftbewegung	Geschwindigkeit der Kühlungs- oder Erfassungsluft (m s^{-1}); Geschwindigkeit (m s^{-1}) oder Volumenstrom ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) des Abgases.
Konstruktive Merkmale	Einstellungen, Geometrie, Richtung	offener oder geschlossener Deckel; Zeitverzögerung bis sich der Deckel öffnet (s); Position der örtlichen Absaugung; Durchmesser des Abluftkanals (mm); nächste Position einer Bedienungsperson (m); Höhe, aus der Material fällt (m); Richtung des Auswurfs.
Ausführung	Dichtungen	Dichtheit.
	Luftreiniger	Abscheidegrad (%); Differenzdruck des Filters (Pa).
	örtliche Absaugung	Erfassungsgrad (%).
	System zur Minderung der Luftverunreinigung	Reinigungsindex.
	Gesamte Emission	Emissionsrate (g min^{-1}), Konzentrationsparameter des luftverunreinigenden Stoffes (mg m^{-3}).

3.4.b Stand der Technik

Chemikaliengesetz (ChemG), 1980

§19

(3) Durch Rechtsverordnung nach Absatz 1 kann insbesondere bestimmt werden, [...]

3. wie die Arbeitsstätte einschließlich der technischen Anlagen, die technischen Arbeitsmittel und die Arbeitsverfahren beschaffen, eingerichtet sein oder betrieben werden müssen, damit sie dem Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie den gesicherten sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen, hygienischen und sonstigen arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechen, die zum Schutz der Beschäftigten zu beachten sind, [...].

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), 1993

§ 4 Gefährlichkeitsmerkmale

1. explosionsgefährlich
2. brandfördernd
3. hochentzündlich
4. leichtentzündlich
5. entzündlich
6. sehr giftig
7. giftig
8. gesundheitsschädlich
9. ätzend
10. reizend
11. sensibilisierend
12. krebserzeugend
13. fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch)
14. erbgutverändernd
15. umweltgefährlich

§ 15 Herstellungs- und Verwendungsverbote

(1) Nach Maßgabe des Anhangs IV bestehen Herstellungs- und Verwendungsverbote für:

- Asbest,
- 2-Naphthylamin, 4-Aminobiphenyl, Benzidin, 4-Nitrobiphenyl,
- Arsen und seine Verbindungen,
- Benzol,
- Antifoulingfarben,
- Bleikarbonate,
- Quecksilber und seine Verbindungen,
- zinnorganische Verbindungen,
- Di-my-oxo-di-n-butylstanniohydroxyboran,
- Dekorationsgegenstände, die flüssige gefährliche Stoffe oder Zubereitungen enthalten,
- aliphatische Chlorkohlenwasserstoffe,
- Pentachlorphenol und seine Verbindungen,
- Teeröle,

- Polychlorierte Biphenyle und Terphenyle sowie Monomethyltetrachlordiphenylmethan, Monomethyldichlordiphenylmethan und Monomethyldibromdiphenylmethan,
- Vinylchlorid,
- Starke Säure-Verfahren zur Herstellung von Isopropanol,
- Cadmium und seine Verbindungen,
- Kurzkettige Chlorparaffine
- Kühlschmierstoffe,
- DDT,
- Hexachlorethan,
- Biopersistente Fasern

§ 19 Rangfolge der Schutzmaßnahmen

(1) Das Arbeitsverfahren ist so zu gestalten, dass gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe nicht frei werden, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Das Arbeitsverfahren ist ferner so zu gestalten, dass die Arbeitnehmer mit gefährlichen festen oder flüssigen Stoffen oder Zubereitungen nicht in Hautkontakt kommen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

(2) Kann durch Maßnahmen nach Absatz 1 nicht unterbunden werden, dass gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe frei werden, sind diese an ihrer Austritts- oder Entstehungsstelle vollständig zu erfassen und anschließend ohne Gefahr für Mensch und Umwelt zu entsorgen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

(3) Ist eine vollständige Erfassung nach Absatz 2 nicht möglich, so sind die dem Stand der Technik entsprechenden Lüftungsmaßnahmen zu treffen.

(4) Ist die Sicherheitstechnik eines Arbeitsverfahrens fortentwickelt worden, hat sich diese bewährt und erhöht sich die Arbeitssicherheit hierdurch erheblich, so hat der Arbeitgeber das nicht entsprechende Arbeitsverfahren soweit zumutbar innerhalb einer angemessenen Frist dieser Fortentwicklung anzupassen.

TRGS 300: Sicherheitstechnik, 1994

Werden Verfahren eingesetzt, bei denen mit Gefahrstoffen in Anlagen umgegangen wird, sind Maßnahmen nach dem Stand der Sicherheitstechnik zu treffen [...].

Anh. 8, Tab. 16: Zusammenstellung der Sicherheitsgrundsätze für Anlagen und Verfahren nach TRGS 300 Anh. 8, Tab. 2

1. allgemeine Sicherheitsgrundsätze	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ersatz gefährlicher Stoffe und Zubereitung 2. Verringerung der Menge der eingesetzten Gefahrstoffe 3. Wahl von Verfahren mit möglichst geringen betriebsmäßigen Freisetzungen von Gefahrstoffen 4. sichere Umschließung 5. sichere Beherrschung des Stoffflusses 6. Sicherstellen des sachgemäßen Umgangs mit Gefahrstoffen sowie Sicherem gegen Fehlhandeln 7. Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre [...] 8. Vermeiden von Zündquellen 9. Reduzierung der Exposition 10. Räumliche Trennung der Beschäftigten vom Gefahrenbereich
2. störungsbezogene	<ol style="list-style-type: none"> 1. vorbeugender Brandschutz

Sicherheitsgrundsätze	<ol style="list-style-type: none"> 2. abwehrender Brandschutz 3. Schutz vor den Auswirkungen von Expositionen 4. Schutz vor den Auswirkungen durchgehender Reaktoren 5. Gewährleistung der Funktion von Alarmierungs- und Überwachungseinrichtungen 6. Schutz vor den Auswirkungen bei Freisetzung von Gefahrstoffen 7. Erhalt der Versorgung mit sicherheitstechnischen bedeutsamen Betriebsmitteln 8. Erhalt der Wirksamkeit mit sicherheitstechnischen bedeutsamen Funktionselementen 9. Überführung der Anlagen in einen sicheren Zustand, einschließlich Sichern gegen Fehlhandlungen 10. Schutz vor mechanischen Beanspruchungen 11. Gewährleistung der Handlungsfähigkeiten der Beschäftigten, einschließlich der Hilfs- und Rettungsdienste 12. Gewährleistung der allgemeinen Sicherheitsorganisation
-----------------------	---

Anh. 8, Tab. 17: Allgemeine Sicherheitsanforderungen nach TRGS 300 Anh. 8, Tab. 1 (Anhang 2)

Sicherheitsgrundsatz	Sicherheitsanforderung
3. Wahl von Verfahren mit möglichst geringen betriebsmäßigen Freisetzungen von Gefahrstoffen	Emissionsarme Arbeitsverfahren, z. B. keine Isolierung von Zwischenprodukten
4. sichere Umschließung	<ul style="list-style-type: none"> • Geeignete Werkstoffe • Funktionsgerechte Konstruktion • Geeignete Armaturen, Verbindungen usw. • Verhindern von Fehlfunktionen bei Druckentladungseinrichtungen • Sichern gegen Lösen bewegter Teile
6. Sicherstellen des sachgemäßen Umgangs mit Gefahrstoffen sowie Sichern gegen Fehlhandeln	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisierung/ Verriegelung • Benutzerfreundliche Anordnung von Funktionselementen • Verwechslungsfreie Anschlüsse
7. Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre	<ul style="list-style-type: none"> • Geeignete Konstruktion • Vermeiden von Undichtheiten • Sicherstellung der Belüftung • Sicherstellung der Absaugung
9. Reduzierung der Exposition	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung der Belüftung und Absaugung • Sicherstellung von Abdeckung und Einhausung • Alarmierung bei Überschreitung der Grenzwerte
10. Räumliche Trennung der Beschäftigten vom Gefahrenbereich	Automatisierung

Anh. 8, Tab. 18: Störungsbezogene Sicherheitsanforderungen nach TRGS 300 Anh. 8, Tab. 2
(Anhang 2)

Sicherheitsgrundsatz	Sicherheitsanforderung
1. vorbeugender Brandschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Baulicher Brandschutz • Dichter Einschluss brennbarer Stoffe
4. Schutz vor den Auswirkungen durchgehender Reaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Druckfeste Bauweise • Druckentlastung • Ausreichende Notkühlung
6. Schutz vor den Auswirkungen bei Freisetzung von Gefahrstoffen	Einhausung
10. Schutz vor mechanischen Beanspruchungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausreichende Standfestigkeit • Schutzwände und -wälle

3.5 Strahlung

3.5.a Anerkannte Regeln der Technik

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (StrlSchV), 2001

Kapitel 3: Anforderungen bei der Nutzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung

§ 36 Strahlenschutzbereiche

(1) [...] Je nach Höhe der Strahlenexposition wird zwischen Überwachungsbereichen, Kontrollbereichen und Sperrbereichen, letztere als Teile der Kontrollbereiche, unterschieden; dabei sind äußere und innere Strahlenexposition zu berücksichtigen:

1. Überwachungsbereiche sind nicht zum Kontrollbereich gehörende betriebliche Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder höhere Organdosen als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können,
2. Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert oder höhere Organdosen als 45 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können,
3. Sperrbereiche sind Bereiche des Kontrollbereiches, in denen die Ortsdosisleistung höher als 3 Millisievert durch Stunde sein kann. Maßgebend bei der Festlegung der Grenze von Kontrollbereich oder Überwachungsbereich ist eine Aufenthaltszeit von 40 Stunden je Woche und 50 Wochen im Kalenderjahr, soweit keine anderen begründeten Angaben über die Aufenthaltszeit vorliegen.

§ 43 Schutzvorkehrungen

(1) Der Schutz beruflich strahlenexponierter Personen vor äußerer und innerer Strahlenexposition ist vorrangig durch bauliche und technische Vorrichtungen oder durch geeignete Arbeitsverfahren sicherzustellen.

Röntgenverordnung (RöV), 1987

§ 19 Strahlenschutzbereiche

(1) Je nach Höhe der Strahlenexposition wird zwischen Überwachungsbereichen und Kontrollbereichen unterschieden:

1. Überwachungsbereiche sind nicht zum Kontrollbereich gehörende betriebliche Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder höhere Organdosen als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.
2. Kontrollbereiche sind Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert oder höhere Organdosen als 45 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.

§ 21 Schutzvorkehrungen

(1) Der Schutz beruflich strahlenexponierter Personen vor Strahlung ist vorrangig durch bauliche und technische Vorrichtungen oder durch geeignete Arbeitsverfahren

sicherzustellen. Bei Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten, ist sicherzustellen, dass sie die erforderliche Schutzkleidung tragen.

(2) Im Kontrollbereich von Röntgeneinrichtungen, die in Röntgenräumen betrieben werden, dürfen Arbeitsplätze, Verkehrswege oder Umkleidekabinen nur liegen, wenn sichergestellt ist, dass sich dort während der Einschaltzeit Personen nicht aufhalten. Dies gilt nicht für Arbeitsplätze, die aus Gründen einer ordnungsgemäßen Anwendung der Röntgenstrahlen nicht außerhalb des Kontrollbereichs liegen können.

BGV B2: Laserstrahlung, 2003

§2 Begriffsbestimmung

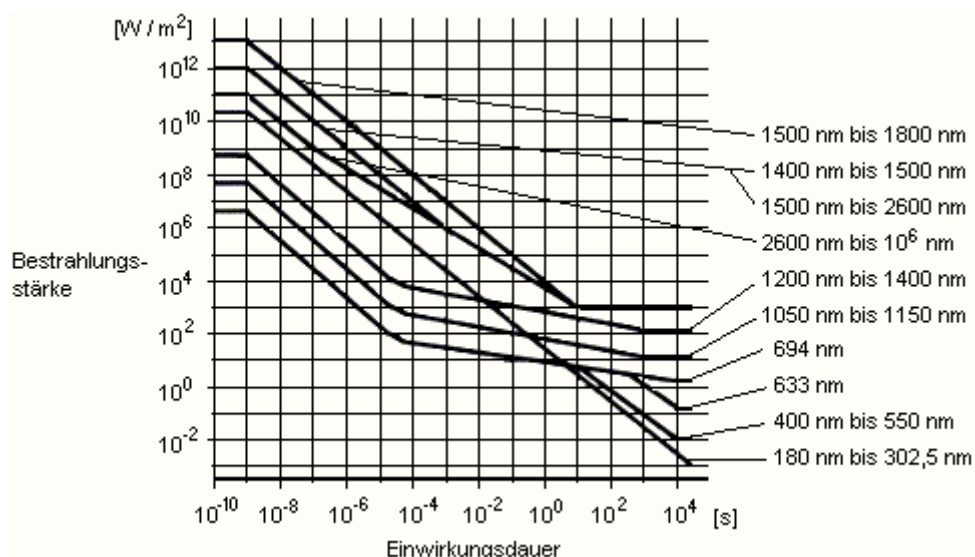
- (2) Laserstrahlung im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift ist jede elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im Bereich zwischen 100 nm und 1 mm, die als Ergebnis kontrollierter stimulierter Emission entsteht.
- (3) Die Klasse einer Lasereinrichtung im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift kennzeichnet das durch die zugängliche Laserstrahlung bedingte Gefährdungspotential nach Maßgabe folgender Bedingungen:

§4 Lasereinrichtungen

- (1) Lasereinrichtungen müssen den Klassen 1 bis 4 zugeordnet und entsprechend gekennzeichnet sein. Bei Änderung von Zuordnungsvoraussetzungen muss eine Änderung von Klassenzuordnung und -kennzeichnung vorgenommen werden.
- (3) Lasereinrichtungen der Klassen 2 bis 4 müssen so eingerichtet sein, dass unbeabsichtigtes Strahlen verhindert ist.
- (4) Optische Einrichtungen zur Beobachtung oder Einstellung an Lasereinrichtungen müssen so beschaffen sein, dass der Grenzwert der zugänglichen Strahlung für die Klasse 1 nicht überschritten wird.
- (5) Optische Geräte, die vom Hersteller als Vorsatzgeräte für Lasereinrichtungen bestimmt sind, müssen, sofern sie nicht in einer klassifizierten Lasereinrichtung fest eingebaut sind, mit Angaben versehen sein, anhand deren die Änderung der Strahl- und Expositionsdaten einer Laserstrahlenquelle durch das Vorsatzgerät beurteilt werden kann.
- (6) Lasereinrichtungen der Klassen 1 bis 3 A müssen so beschaffen sein, dass keine Vorsatzgeräte angebracht werden können, durch die sich Lasereinrichtungen der Klassen 3 B oder 4 ergeben würden.

Anh. 8, Tab. 19: Laserklassen

Klasse	Beschreibung
1	Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich.
2	Die zugängliche Laserstrahlung liegt nur im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25 s) ungefährlich auch für das Auge.
3A	Die zugängliche Laserstrahlung wird für das Auge gefährlich, wenn der Strahlungsquerschnitt durch optische Instrumente verkleinert wird. Ist dies nicht der Fall, ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm) bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25 s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich.
3B	Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge und in besonderen Fällen auch für die Haut.
4	Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- oder Explosionsgefahr verursachen.



Anh. 8, Abb. 15: Maximal zulässige Bestrahlung der Hornhaut des Auges für einige ausgewählte Wellenlängen nach DIN EN 60 825-1 nach BGV B2 Bild 1

Anh. 8, Tab. 20: Vereinfachte maximal zulässige Bestrahlungswerte auf der Hornhaut des Auges (MZB-Werte) nach BGV B2 Anh. 8, Tab. 1

Wellenlängenbereich	Bestrahlungsstärke E				Bestrahlung H	
	Impulsdauer in s	W/m ²	Impulsdauer in s	W/m ²	Impulsdauer in s	J/m ²
180 - 315	≥ 30 000	0,001	< 10 ⁻⁹	3 * 10 ¹⁰	10 ⁻⁹ bis 3 * 10 ⁻⁴	30
315 - 1400	> 5 * 10 ⁻⁴ bis 10	10	< 10 ⁻⁹	5 * 10 ⁶	10 ⁻⁹ bis 5 * 10 ⁻⁴	0,005
1400 - 10 ⁶	> 0,1 bis 10	1000	10 ⁻⁹	10 ¹¹	10 ⁻⁹ bis 0,1	100

BGI 832: Betrieb von Lasereinrichtungen, Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ BGV B2 auf neue Laserklassen und MZB-Werte nach DIN EN 60825-1(VDE 0837-1), 2001

Anh. 8, Tab. 21: Laserklassen nach BGI 832

Kl.	Beschreibung	Anmerkung
1	Die zugängliche Laserstrahlung ist unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen ungefährlich.	Die „vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen“ sind beim bestimmungsgemäßen Betrieb eingehalten. Bei Lasereinrichtungen der Klasse 1 können im oberen Leistungsbereich z. B. Blendung, Beeinträchtigung des Farbsehens und Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.
1M	Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, z. B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird.	Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 1M eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 1. Bei Einsatz optisch sammelnder Instrumente können vergleichbare Gefährdungen wie bei Klasse 3R oder 3B auftreten.
2	Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) auch für das Auge ungefährlich. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches	Bei Lasereinrichtungen der Klasse 2 ist das Auge bei zufälliger, kurzzeitiger Einwirkung der Laserstrahlung, d. h. bei Einwirkungsdauer bis 0,25 s nicht gefährdet. Lasereinrichtungen der Klasse 2 dürfen deshalb ohne weitere Schutzmaßnahmen eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass weder ein absichtliches Hineinschauen für die Anwendung über längere Zeit als 0,25 s, noch wiederholtes Hineinschauen in die Laserstrahlung bzw. spiegelnd reflektierte Laserstrahlung erforderlich ist. Von dem

Kl.	Beschreibung	Anmerkung
	von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1.	Vorhandensein des Lidschlussreflexes zum Schutz der Augen darf in der Regel nicht ausgegangen werden. Daher sollte man, falls Laserstrahlung der Klasse 2 ins Auge trifft, bewusst die Augen schließen oder sich sofort abwenden. Für kontinuierlich strahlende Laser der Klasse 2 beträgt der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) $P_{\text{grenz}} = 1 \text{ mW}$ (bei $C_6 = 1$).
2M	Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm. Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, z. B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1M.	Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 2M eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 2. Bei Einsatz optisch sammelnder Instrumente können vergleichbare Gefährdungen wie bei Klasse 3R oder 3B auftreten.
3A	Die zugängliche Laserstrahlung wird für das Auge gefährlich, wenn der Strahlquerschnitt durch optische Instrumente, z.B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird. Ist dies nicht der Fall, ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm) bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich.	Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3 A handelt es sich um Laser, die nach der alten Norm klassifiziert worden sind. Lasereinrichtungen der Klasse 3 A, die nur im sichtbaren Wellenlängenbereich emittieren, können behandelt werden wie solche der Klasse 2M. Lasereinrichtungen der Klasse 3 A, die nur im nicht sichtbaren Spektralbereich emittieren, können behandelt werden wie solche der Klasse 1M. Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 3 A, die nur im sichtbaren Spektralbereich emittieren, eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 2. Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3 A, die nur im nicht sichtbaren Spektralbereich emittieren, besteht eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 1.
3R	Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm	Lasereinrichtungen der Klasse 3R sind für das Auge potenziell gefährlich wie Lasereinrichtungen der Klasse 3B. Das Risiko eines Augenschadens

Kl.	Beschreibung	Anmerkung
	bis 10^6 nm und ist gefährlich für das Auge. Die Leistung bzw. die Energie beträgt maximal das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung der Klasse 2 im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm und das Fünffache des Grenzwertes der Klasse 1 für andere Wellenlängen.	wird dadurch verringert, dass der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) im sichtbaren Wellenlängenbereich auf das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung (GZS) für Klasse 2, in den übrigen Wellenlängenbereichen auf das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung (GZS) für Klasse 1 begrenzt ist. Für kontinuierlich strahlende Laser der Klasse 3R beträgt der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) $P_{\text{grenz}} = 5 \text{ mW}$ (bei $C_6 = 1$) im Wellenlängenbereich 400 nm bis 700 nm.
3B	Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut.	Das direkte Blicken in den Strahl bei Lasern der Klasse 3B ist gefährlich. Ein Strahlbündel kann üblicherweise sicher über einen geeigneten diffusen Reflektor betrachtet werden, wenn folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind: <ul style="list-style-type: none"> •der minimale Beobachtungsabstand zwischen diffusem Reflektor und Hornhaut des Auges beträgt 13 cm, •die maximale Beobachtungsdauer beträgt 10 s, •keine gerichteten Strahlanteile können ins Auge treffen. Bei vielen Diffusoren ist mit gerichteten Strahlanteilen zu rechnen. Eine Gefährdung der Haut durch die zugängliche Laserstrahlung besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 3B, wenn die Werte der maximal zulässigen Bestrahlung (MZB) nach Anhang 2 überschritten werden.
4	Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- und Explosionsgefahr verursachen.	Lasereinrichtungen der Klasse 4 sind Hochleistungslaser, deren Ausgangsleistungen bzw. -energien die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für Klasse 3B übertreffen. Die Laserstrahlung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 ist so intensiv, dass bei jeglicher Art von Exposition der Augen oder der Haut mit Schädigungen zu rechnen ist. Außerdem muss bei der Anwendung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 immer geprüft werden, ob ausreichende Maßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefahren getroffen sind.

Anh. 8, Tab. 22: Schutzstufen für Laserabschirmung nach BGI 832 Anh. 8, Tab. 9

Schutzstufe	Max. spektraler Transmissionsgrad bei den Laser-Wellenlängen \square (\square)	Verwendung bis zu einer maximalen mittleren Leistungs- und Energiedichte im Wellenlängenbereich									
		80 nm bis 315 nm			> 315 nm bis 1050 nm	1050 nm bis 1400 nm	> 315 nm bis 1400 nm	> 1400 nm bis 10^6 nm			
		für die Laserbetriebsart / Betriebsdauer in s									
		D > 0,25	I, R > 10^{-9} bis 0,25	M $\square \cdot 10^{-9}$	D > $5 \cdot 10^{-3}$	D > $2 \cdot 10^{-3}$	I, R > 10^{-9} bis 0,01	M $\square \cdot 10^{-9}$	D > 0,1	I, R > 10^{-9} bis 0,1	M $\square \cdot 10^{-9}$
E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	H J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²		
A 1	10^{-1}	0,01	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{11}$	10	$2,5 \cdot 10^2$	0,05	0,0015	10^4	10^3	10^{12}
A 2	10^{-2}	0,1	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{12}$	10^2	$2,5 \cdot 10^3$	0,5	0,015	10^5	10^4	10^{13}
A 3	10^{-3}	1	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{13}$	10^3	$2,5 \cdot 10^4$	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
A 4	10^{-4}	10	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{14}$	10^4	$2,5 \cdot 10^5$	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
A 5	10^{-5}	10^2	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{15}$	10^5	$2,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^2$	15	10^8	10^7	10^{16}
A 6	10^{-6}	10^3	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{16}$	10^6	$2,5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
A 7	10^{-7}	10^4	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{17}$	10^7	$2,5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
A 8	10^{-8}	10^5	$3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{18}$	10^8	$2,5 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
A 9	10^{-9}	10^6	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{19}$	10^9	$2,5 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
A 10	10^{-10}	10^7	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{20}$	10^{10}	$2,5 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

DIN EN 12198-1: Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung, Teil 1: Allgemeine Leitsätze, 2000

Die Norm gilt für die Emission aller Arten von elektromagnetischer nichtionisierender Strahlung. Sie gilt nicht für die Emission von Laserstrahlen aber z. B. für infrarotes, sichtbares und ultraviolettes Licht. Mehr dazu siehe Abschnitt 3.6 .

DIN EN 60825-1: Sicherheit von Laser-Einrichtungen, Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien, 2003

Anh. 8, Tab. 23: Laserklassen nach DIN EN 60825-1

Kl. neu	Grundkonzept	Wellenlänge, für die die Klasse definiert ist	Zeitbasis	GZS für das Sichtbare	Messung	Kommentar
1	augensicher	alle	100 s oder 30000 s	Wellenlängen-abhängig	50 mm in 2 m 7 mm in 14 mm	alte Klasse 1
1M	augensicher ohne Verwendung optischer Instrumente; unsicher bei Verwendung optischer Instrumente	302,5 - 4000 nm	100 s oder 30000 s	Wellenlängen-abhängig	Wie MZB-Werte	Früher: nicht sichtbarer Teil der Klasse 3A und Geräte, die nicht in 3A, sondern wegen der Leistungsgrenze (fünfmal Klasse 2) in Klasse 3B waren
2	augensicher durch Abwendungsreaktion plus Lidschlussreflex	400 - 700 nm	0,25 s	1 mW	50 mm in 2 m 7 mm in 14 mm	alte Klasse 2
2M	Lidschlussreflex; je nachdem, ob es sich um einen divergenten oder aufgeweiteten Strahl handelt, kann er mit optischen Instrumenten unsicher sein	400 - 700 nm	0,25 s	1 mW	Wie MZB-Werte	Früher: sichtbarer Teil der Klasse 3A und Geräte, die nicht in 3A waren, sondern wegen der Leistungsgrenze 5 mW in Klasse 3B waren
3 R	- überschreitet die MZB-Werte - die Strahlung ist max. fünfmal höher als die GZS-Werte von Klasse 1 (bzw. Klasse 2) - das Risiko ist etwas geringer als in der Klasse 3B	400 - 700 nm 302,5 - 400 nm und 700 nm - 10 ⁶ nm	0,25 100 s	5 mW	50 mm in 2 m 7 mm in 14 mm	alte Klasse 3B* im Sichtbaren erweitert in den Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 1 mm
3 B	alte Klasse 3 B ohne 3 R	alle	100 s	500 mW	50 mm in 2m 7 mm in 14 mm	alte Klasse 3B ohne 3 R
4	alte Klasse 4	alle	100 s 30000 s	> 500 mW		alte Klasse 4

3.6 Elektromagnetische Felder

3.6.a Anerkannte Regeln der Technik

26. BImSchV - Verordnung über elektromagnetische Felder, 1996

Anh. 8, Tab. 24: Hochfrequenzanlagen: Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle nach 26. BImSchV

Frequenz (MHz)	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)
10 - 400	27,5	0,073
400-200	1,375 $f_{0,5}$	0,0037 $f_{0,5}$
2000 - 300000	61	0,16

Anh. 8, Tab. 25: Niederfrequenzanlagen: Effektivwert der elektrischen Feldstärke nach 26. BImSchV

Frequenz (Hz)	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (μ T)
50-Hz-Felder	5	100
162/3-Hz-Felder	10	300

BGV B2: Laserstrahlung, 2003

§2 Begriffsbestimmung

- (2) Laserstrahlung im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift ist jede elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im Bereich zwischen 100 nm und 1 mm, die als Ergebnis kontrollierter stimulierter Emission entsteht.

Siehe 3.5b

BGV B11: Elektromagnetische Felder, 2001

Die zulässigen Werte für Expositionsbereich 1 orientieren sich am Konzept der Vermeidung von Gefährdungen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren. Es sind Effekte berücksichtigt, wie Reizung von Sinnesorganen, Nerven- und Muskelzellen, Beeinflussung der Herzaktion und Wärmeeffekte. Die Werte gelten längstens für eine Arbeitsschicht.

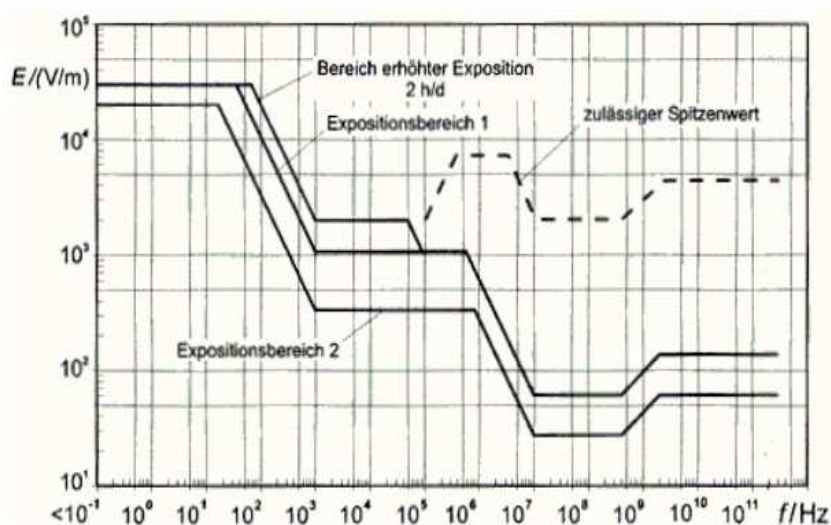
Für den Expositionsbereich 2 gelten Werte, die aufgrund der allgemeinen Zugänglichkeit und zur Vermeidung möglicher Belästigungen zusätzliche Sicherheitsfaktoren berücksichtigen.

Anh. 8, Tab. 26: Basiswerte für unmittelbare Wirkung nach BGV B11 Anh. 8, Tab. 1 (Anlage 1)

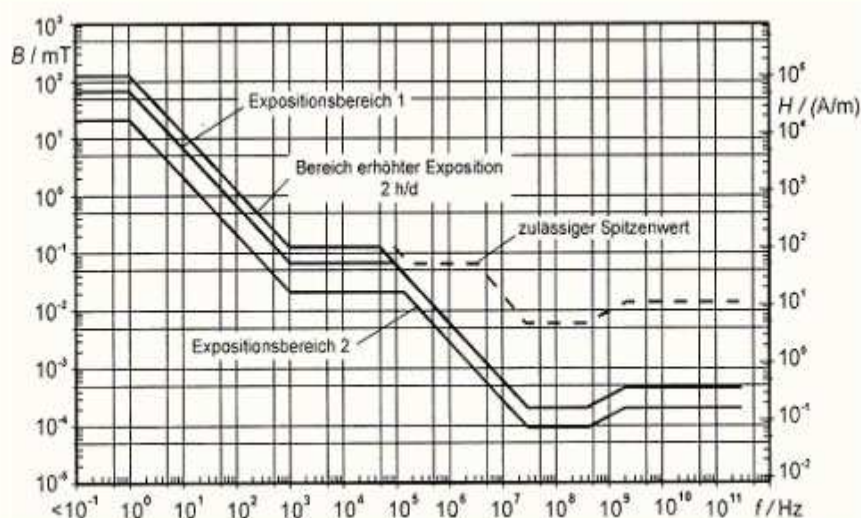
Frequenzbereich	Effektivwert der elektrischen Stromdichte J in A/m^2 ⁽¹⁾	Spezifische Absorptionsrate SAR in W/kg ⁽⁴⁾			Spezifische Absorption für Impulsfelder SA in J/kg ^{(5), (6)}	Leistungsdichte S in W/m^2 ^{(7), (8)}
		Ganzkörpermittelwert	Lokale SAR ⁽⁵⁾ Kopf und Rumpf	Gliedmaßen		
>0 – 1 Hz	0,040	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1 – 4 Hz	$0,040 / f$ ⁽²⁾	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

4 – 1000 Hz	0,010	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
1 – 100 kHz	$f / 100$ ⁽³⁾	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
0,1 – 10 MHz	$f / 100$ ⁽³⁾	0,4	10	20	(-)	(-)
0,01– 10 GHz	(-)	0,4	10	20	0,01	(-)
10 – 300 GHz	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	50

(1) Über jedes Flächenelement von 1 cm² senkrecht zur Stromrichtung sowie über jedes Zeitintervall von 1 s zu mitteln; (2) f in Hz; (3) f in kHz; (4) Über jedes 6 Minuten-Intervall arithmetisch zu mitteln; (5) Mittelungsmasse 10 g; (6) Trägerfrequenz $f > 300$ MHz und Pulslänge $T < 30$ μ s; (7) Über jedes Flächenelement von 20 cm² und jedes Zeitintervall von jeweils $68/f$ 1,05 –Minuten (f in GHz) zu mitteln; (8) Die maximale örtliche Leistungsdichte gemittelt über jedes Flächenelement von 1 cm² darf 1 kW/m² nicht überschreiten; (-) bei diesen Frequenzen nichtrelevant



Anh. 8, Abb. 16: Zulässige Werte der elektrischen Feldstärke in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 Bild 1 (Anlage 1)



Anh. 8, Abb. 17: Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 Bild 2 (Anlage 1)

Bei Verzicht der Anwendung der abgeleiteten Werte für Ganzkörperexposition ist sicherzustellen, dass unter allen auftretenden Bedingungen die Basiswerte eingehalten sind. Dabei werden die Basiswerte der Anh. 8, Tab. 1 als zusätzliche Sicherheit mit den Faktoren der nachfolgenden Anh. 8, Tab. multipliziert.

Anh. 8, Tab. 27: Reduktionsfaktoren zur Bewertung mit Basiswerten BGV B11 Anh. 8, Tab. 16 (Anlage 1)

Frequenz	Expositionsbereich 1	Expositionsbereich 2
0 Hz – 91 kHz	0,6	0,2
91 kHz – 300 GHz	1,0	0,2

Im Bereich erhöhter Exposition sowie für Teilkörperexposition sind die Basiswerte nach Anh. 8, Tab. 1 sicher einzuhalten.

Anh. 8, Tab. 28: Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte nach BGV B11 Anh. 8, Tab. 1 (Anlage 2)

Exposition	Magnetische Flussdichte
Mittelwert für 8 h (gemittelt über den ganzen Körper)	212 mT
Spitzenwert für Kopf und Rumpf	2 T
Spitzenwert für Extremitäten	5 T

Anh. 8, Tab. 29: Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte unter Berücksichtigung besonderer Voraussetzungen nach BGV B11 Anh. 8, Tab. 2 (Anlage 2)

Exposition	Magnetische Flussdichte
Spitzenwert für Kopf und Rumpf (maximal 2 h/d)	4T
Bei Expositionen größer 2 h/d gilt Anh. 8, Tab. 1	
Spitzenwert für Extremitäten	10 T

DIN EN 12198-1: Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung, Teil 1: Allgemeine Leitsätze, 2000

Die Norm gilt für die Emission aller Arten von elektromagnetischer nichtionisierender Strahlung. Sie gilt nicht für die Emission von Laserstrahlen.

Anh. 8, Tab. 30: Einteilung der nichtionisierenden Strahlung nach DIN EN 12198-1 Anh. 8, Tab.

Art der Strahlen	Typ	Frequenz/Wellenlänge
Elektrische und magnetische Felder	Sehr niedrige und niedrige Frequenzen	$0 < f < 30 \text{ kHz}$
Elektromagnetische Wellen	Hochfrequenz	$30 \text{ kHz} < f < 300 \text{ GHz}$
Optische Strahlung	Infrarot	$1 \text{ mm} > l > 780 \text{ nm}$
Optische Strahlung	Sichtbar	$780 \text{ nm} > l > 380 \text{ nm}$
Optische Strahlung	Ultraviolett	$380 \text{ nm} > l > 100 \text{ nm}$
f = Frequenz l = Wellenlänge		

Anh. 8, Tab. 31: Einteilung der Maschinen nach Strahlenemissionspegel nach DIN EN 12198-1 Anh. 8, Tab. 2

Kategorie	Beschränkungen und Schutzmaßnahmen	Informationen und Ausbildung
0	Keine Beschränkung	Keine Information erforderlich
1	Beschränkungen: Zugangsbegrenzung, Schutzmaßnahmen eventuell erforderlich	Informationen über Gefahren, Risiken und sekundäre Wirkungen
2	Besondere Beschränkungen und grundlegende Schutzmaßnahmen	Informationen über Gefahren, Risiken und sekundäre Wirkungen; Ausbildung kann erforderlich sein

Die Gesamtkategorie der Maschine ist die mit der höchsten Zahl der Kategorie, die für alle unterschiedlichen Arten der Strahlenemission während der Einricht-, Betriebs- und Reinigungsphase beim Einsatz der Maschine ermittelt werden.

1. Anforderung an die Konstruktion

Funktionale Strahlenemission

- Auf den niedrigsten Pegel festlegen, der für die sichere Funktion der Maschine während der Einricht-, Betriebs- und Reinigungsphase beim Einsatz der Maschine ausreichend ist
- Bleibende Emission messen und Kategorie ermitteln
- Gegebenenfalls Schutzmaßnahmen anwenden

Unerwünschte Strahlenemission

- Möglichst verhindern
- Falls nicht vermeidbar, sollten die Werten der Kategorie 0 entsprechen
- Falls die Werte überschreiten, die der Kategorie entsprechen, geeignete Schutzmaßnahmen anwenden

2. Schutzmaßnahmen für die Beseitigung oder Verminderung der von Strahlenemission ausgehenden Risiken

Kategorie 0: keine besonderen Schutzmaßnahmen erforderlich

Kategorie 1: Hersteller muss verbleibenden Strahlenemissionspegeln in den unterschiedlichen Bereichen im Umfeld der Maschine angeben und geeignete Schutzmaßnahmen festlegen

Kategorie 2: Schutzmaßnahmen erforderlich

Auswahl der geeignetesten Schutzmaßnahmen muss nach jüngsten Entwicklungsstandes erfolgen.

In folgender Reihenfolge:

- Strahleneinwirkung beseitigen
durch Beseitigung der Strahlenquelle oder vollständige Kapselung der Prozesse
- Risiken, die nicht vermeidbar sind, in nachfolgender Prioritätsreihenfolge vermindern
 - Verminderung der Strahlungsleistung durch gekapselte Werkstoffbearbeitungssysteme, Schirmung, Trennung, Filterung, Erdung, Verhindern von Lecks und unkontrollierter Freisetzung von Strahlung
 - Verminderung durch Schirmung oder andere technische Mittel
 - Verminderung der Strahleneinwirkung durch Trennung zwischen Verarbeitungseinheit und Bedienung der Steuereinheit
- Informationen über verbleibendes Risiko und Angaben zu Maßnahmen

DIN EN 12198-3: Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung, Teil 3: Verminderung der Strahlung durch Abschwächung oder Abschirmung, 2003

Strategien für die Konstruktion der Schirmung:

- Hersteller muss mögliche Änderungen der Strahlenemission berücksichtigen, die durch den umweltbedingten Wechsel der Betriebsbedingungen oder der Betriebsarten der Maschine verursacht werden
- Strahlungsfeld oder Strahl möglichst eingeschlossen, vor unbeabsichtigtem Zugang zu schützen
- Quelle so anordnen, dass Gehäuse bei bestimmungsgemäßen Betrieb oder irgendeiner Einzelfehlerbedingung, die zu einer Änderung der Emissionseigenschaften führen würde, nicht beschädigt wird, falls erforderlich zusätzlich mechanischen Schutz anbringen
- Zusätzlicher mechanischer Schutz weder Strahlungsgefahr noch andere Gefährdungen erhöhen
- Falls Öffnen der Schutzeinrichtung einen „Stillsetz“-Befehl zur Folge hat, darf Schließen der Schutzeinrichtung die Emission nicht ohne weitere Betätigung wieder in Gang setzen
- Quelle oder ihr Gehäuse sicher befestigen
- Gehäuse und seine Halterung müssen Einsetzen ohne wesentlicher Strahleneinwirkung erleichtern
- Verbindungen und Wartungsöffnungen in den Abschirmungen den gleichen Abschwächungsgrad aufweisen wie das Material selbst
- Schirme so anordnen und befestigen, dass sie weder bei bestimmungsgemäßen Betrieb noch unter irgendeiner Einzelfehlerbedingung, die zu einer Beeinträchtigung

- Schirme nicht so angeordnet, dass sie vor Beschädigung sicher sind, einen weiteren mechanischen Schutz vorsehen
- Bei isotropen Strahlern, wenn der Schirm näher zur Quelle liegt, kleinere geometrische Maße erforderlich
- Falls Pegel des Konstruktionsziels bei Entfernung des Schirmes oder Änderung der Emission überschritten, dann:
 - Quelle automatisch abschalten
 - mechanische Blenden bzw. andere Mittel, um Emission auf den Pegel des Konstruktionsziel zu senken

3.6.b Stand der Technik

F. Gunstrau, A. Bahr, S. Goltz, S. Eggert, K. Henschel, I. Ruppe: Berechnung feldinduzierter Ströme und Stromdichten in Modellen des menschlichen Körpers im Frequenzbereich 10 Hz bis 30 Hz (Fb 906), 2000

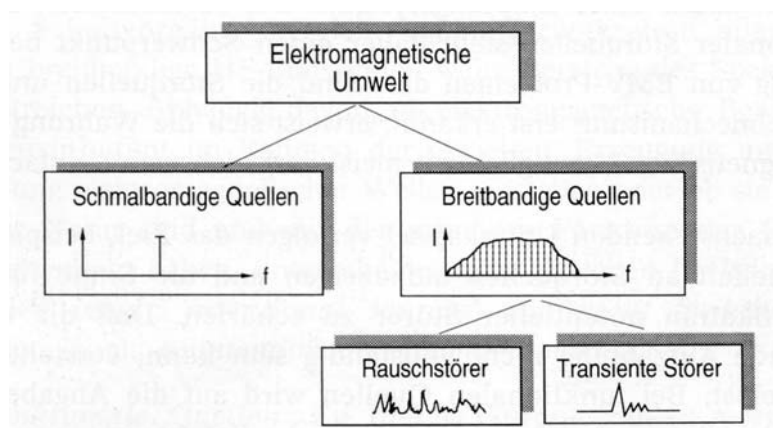
Die Arbeit enthält eine Software mit deren Hilfe können EMF-Arbeitsplätze untersucht werden, in dem alle notwendigen Schritte in einer erprobten Feldsimulator eingearbeitet werden und somit ein anwendungsgerechtes Werkzeug zur Verfügung gestellt wird.

A. J. Schwab: Elektromagnetische Verträglichkeit, 1994

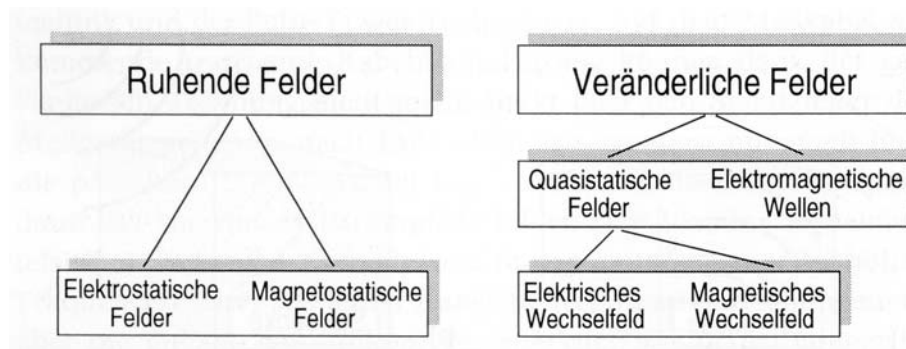
Die Quellen elektromagnetischer Beeinflussung unterscheidet man zwischen:

- *funktionellen Quellen*: vor allem Kommunikationssender, die bewusst elektromagnetische Wellen mit dem Ziel der Informationsverbreitung über Senderantennen in die Umwelt abstrahlen. Weiter gehören Sender dazu, die elektromagnetische Wellen für nicht-kommunikative Zwecke erzeugen, z.B. Mikrowellenherde, Garagentoröffner
- *nichtfunktionellen Quellen*: z. B. Kfz-Zündanlagen Leuchtstofflampen, Schweiß-einrichtungen, Stromrichter, Schaltkontakte usw.

Bei nichtfunktionale Quellen erweist sich die elektromagnetische Verträglichkeit als problematisch.



Anh. 8, Abb. 18: Einteilung von Sendern elektromagnetischer Energie in schmal- und breitbandige Quellen nach A. J. Schwab Bild 2.1



Anh. 8, Abb. 19: Klassifizierung elektrischer und magnetischer Felder nach A. J. Schwab Bild 5.2

Filter, Überspannungsableiter und andere Entstörungskomponenten werden sowohl unmittelbar an der Störquelle zur Verringerung der Emission als auch unmittelbar von einem Empfänger zur Unterdrückung der Immission angeordnet.

Filter

- Dämpfung der Ausbreitung von Störungen längst der Leitung
- Selektive Dämpfung der Störung ohne merkliche Beeinträchtigung des Nutzsignals

Überspannungsableiter

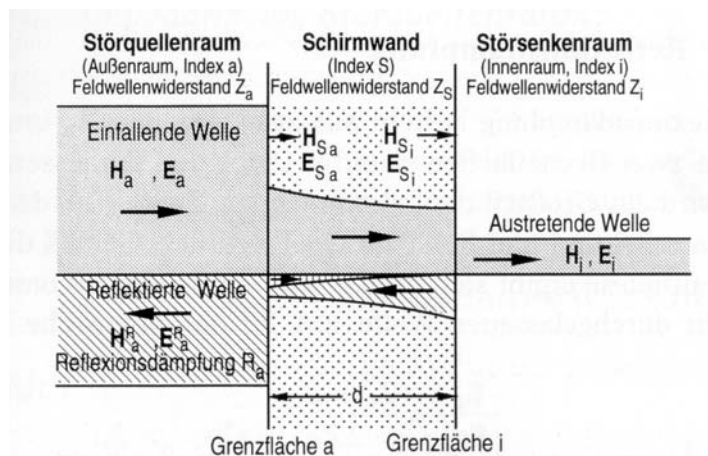
- dienen der Begrenzung transienter Überspannungen
- sind nichtlineare Widerstände, die im Bereich der Betriebsspannungspegel sehr hochohmig sind, d.h. als Bauelemente praktisch nicht existieren, bei Überspannung aber sehr niederohmig sind

Optokoppler und Lichtleiterstrecken

- bieten sehr hohe Gleichtaktunterdrückung
- oft zur Auftrennung von Erdschleifen eingesetzt
- Optokoppler vorzugsweise in der Digitaltechnik eingesetzt

Trenntransformatoren

- erlauben die galvanische Trennung von Wechselstromkreisen
- häufig zur Unterbrechung von Erdschleifen eingesetzt



Anh. 8, Abb. 20: Wanderwellenanalgie für eine ebene Welle, die auf eine quer zur Ausbreitungsrichtung orientierte, unendlich ausgedehnte Schirmwand trifft (Reflexion, Transmission und Absorption) nach A. J. Schwab Bild 6.8

Ähnlich wie Wanderwellen erfahren auch elektromagnetische Wellen an Diskontinuität des freien Raumes Reflexion und innerhalb der Materie eine Schwächung.

Schirmdämpfung des elektromagnetischen Schirms S

Anh. 8, Gleichung 7: Elektromagnetischer Schirm S (3.7)

$$S = a + R + A + B$$

A. Kohling: EMV von Gebäuden, Anlagen und Geräten, 1998

Anh. 8, Tab. 32: Anwendung allgemeiner EMV-Maßnahmen nach Kohling Anh. 8, Tab. 3.1

Ort	Störquelle	Störüberwachungsweg	Störsenke
Art	Begrenzung der Erzeugung von Störungen	Begrenzung der Übertragung von Störungen	Begrenzung der Wirkung von Störungen
Technische EMV-Maßnahmen	Schirmung Trennung Anordnung Filterung Maßung	Schirmung Trennung Anordnung Filterung Maßung Verdrillung Übertragung Mechanisch Hydraulisch Optisch Akustisch	Schirmung Trennung Anordnung Filterung Maßung
Technische-organisatorische EMV-Maßnahmen	Vereinbarung über Betriebsabläufe, z. B. räumliche oder zeitliche Beschränkungen		

Literaturverzeichnis

- DIN 45695 (Vornorm):** Leitfaden zur Verringerung der Gefährdung durch Schwingungen, Technische und organisatorische Maßnahmen, 1996
- DIN EN 563:** Temperatur berührbarer Oberflächen, Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen, 2001
- DIN EN 626-1:** Reduzierung des Gesundheitsrisikos durch Gefahrstoffe, die von Maschinen ausgehen, Teil 1: Grundsätze und Festlegungen für Maschinenhersteller, 1994
- DIN EN 626-2:** Reduzierung des Gesundheitsrisikos durch Gefahrstoffe, die von Maschinen ausgehen, Teil 2: Methodik beim Aufstellen von Überprüfungsverfahren, 1996
- DIN EN 1299:** Schwingungsisolierung von Maschinen, Angaben für den Einsatz von Quellsisolierungen, 1997
- DIN EN 12198-1:** Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung, Teil 1: Allgemeine Leitsätze, 2000
- DIN EN 12198-3:** Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung, Teil 3: Verminderung der Strahlung durch Abschwächung oder Abschirmung, 2003
- DIN EN 60825-1:** Sicherheit von Laser-Einrichtungen, Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien, 2003
- DIN EN 13202:** Temperatur berührbarer heißer Oberflächen, Leitfaden zur Festlegung von Temperaturgrenzwerte von heiße Oberflächen in Produktnormen unter Anwendung von EN 563, 2000
- DIN EN ISO 11688-1:** Richtlinie für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte, Teil 1: Planung, 1998
- DIN EN ISO 11688-2:** Richtlinie für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte, Teil 2: Einführung in die Physik der Lärminderung durch konstruktive Maßnahmen, 2001
- DIN EN ISO 11690-1:** Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten, Teil 1: Allgemeine Grundlagen, 1997
- DIN EN ISO 11690-2:** Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten, Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen, 1997
- DIN EN ISO 13732-3:** Berühren von kalten Oberflächen, Teil 3: Ergonomische Daten und Leitfaden für die Anwendung, 2002
- VDI 3831 (Entwurf):** Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, 2003
- RICHTLINIE 2002/44/EG:** Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen), 2002
- RICHTLINIE 2003/10/EG:** Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm), 2003
- Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen** (StrlSchV), 2001
- 26. BImSchV,** Verordnung über elektromagnetische Felder, 1996
- Röntgenverordnung (RöV),** 1987
- Chemikaliengesetz (ChemG),** 1980
- Gefahrstoffverordnung (GefStoffV),** 1993

- G. Neugebauer, E. Hartung:** Mechanische Schwingungen und Vibrationen am Arbeitsplatz, 2002
- E. Seidel:** Wirksamkeit von Konstruktionen zur Schwingungs- und Körperschalldämmung in Maschinen und Geräten; Grundlagen, Messverfahren, Zusammenstellung typischer Bauelemente (Fb 852), 1999
- H. K. Tönshoff, G. Rohr, M. Hanschen:** Praxiserprobte Maßnahmen zur Lärminderung (Fb 280), 1984
- J.-W. Biermann, T. Janowitz:** Arbeitsschutz durch Antischall (Fb 730), 1995
D. Haje: Lärmarm konstruieren XVII, Entwicklung eines Informationssystems zur Konstruktion lärmarmen Produkte, 1997
- W. Schirmer (Hrsg.):** Technischer Lärmschutz, 1996
- F. G. Kollmann:** Maschinenakustik, 1993
- G. Neugebauer:** Lärminderungsprogramme im Arbeitsschutz, 1996
- A. J. Schwab:** Elektromagnetische Verträglichkeit, 1994
- F. Gunstrau, A. Bahr, S. Goltz, S. Eggert, K. Henschel, I. Ruppe:** Berechnung feldinduzierter Ströme und Stromdichten in Modellen des menschlichen Körpers im Frequenzbereich 10 Hz bis 30 Hz (Fb 906), 2000
- A. Kohling:** EMV von Gebäuden, Anlagen und Geräten, 1998
- BAuA Technik 12:** Schwingungsschutz am Arbeitsplatz, Technischer Schwingungsschutz, Grundlagen und Anwendung bei der Maschinenaufstellung und beim sekundären Schwingungsschutz, 1997
- Schriftreihe der BAuA:** Fa 8, Lärmbekämpfung, 2003
Sonderschrift S 42: Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb, 2001
- TRGS 300:** Sicherheitstechnik, 1994
- BGV B2:** Laserstrahlung, 2003
- BGV B11:** Elektromagnetische Felder, 2001
- BGI 832:** Betrieb von Lasereinrichtungen, Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ BGV B2 auf neue Laserklassen und MZB-Werte nach DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1), 2001

Abbildungsverzeichnis

Anh. 8, Abb. 1: Veranschaulichung der Beziehungen zwischen der Verbrennungsschwelle und der Kontaktdauer bei der Berührung von heißen Oberflächen nach DIN EN 563 Bild1.....	1
Anh. 8, Abb. 2: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus blanken (unbeschichteten) Metall nach DIN EN 563 Bild 2.....	2
Anh. 8, Abb. 3: Erhöhung des Verbrennungsschwellen-Bereich aus Bild 2 für Metalle, die mit Lacken beschichtet sind; Schichtdicke 50 µm, 100 µm und 150 µm nach DIN EN 563 Bild 3a.....	3
Anh. 8, Abb. 4: Erhöhung des Verbrennungsschwellen-Bereich aus Bild 2 für Metalle, die mit Rilsan (Schichtdicke 400 µm), Pulver (60 µm und 90 µm) und Emaille (160 µm) beschichtet sind nach DIN EN 563 Bild 3b	3
Anh. 8, Abb. 5: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus keramischen, glas- und steinartigen Materialien nach DIN EN 563 Bild 4.....	3
Anh. 8, Abb. 6: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus Kunststoff nach DIN EN 563 nach Bild 5.....	4
Anh. 8, Abb. 7: Verbrennungsschwellen-Bereiche für den Kontakt der Haut mit einer heißen glatten Oberfläche aus Holz nach DIN EN 563 Bild 6	4
Anh. 8, Abb. 8: Wirkungskette der Geräuscherzeugung nach DIN EN ISO 11688-1 Bild 2.....	16
Anh. 8, Abb. 9: Grundlegendes Modell der Geräuscherzeugung in Maschinen nach DIN EN ISO 11688-1 Bild 3	16
Anh. 8, Abb. 10: Schritte zur Verwirklichung von Lärminderungsmaßnahmen nach DIN EN ISO 11690-2 Bild 1	24
Anh. 8, Abb. 11: Schritte zur Verwirklichung von Lärminderungsmaßnahmen nach DIN EN ISO 11690-2 Bild 2	25
Anh. 8, Abb. 12: Möglichkeiten der Lärminderung nach Fb 280 Bild 1.....	26
Anh. 8, Abb. 13: Schallentstehungskette nach Müller, H.W.: Praxisreport Maschinenakustik nach Fb 768.....	29
Anh. 8, Abb. 14: Grundlagen der Lärminderung nach G. Neugebauer Anh. 8, Abb. 6	32
Anh. 8, Abb. 15: Maximal zulässige Bestrahlung der Hornhaut des Auges für einige ausgewählte Wellenlängen nach DIN EN 60 825-1 nach BGV B2 Bild 1.....	42
Anh. 8, Abb. 16: Zulässige Werte der elektrischen Feldstärke in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 Bild 1 (Anlage 1).....	49
Anh. 8, Abb. 17: Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 Bild 2 (Anlage 1).....	49
Anh. 8, Abb. 18: Einteilung von Sendern elektromagnetischer Energie in schmal- und breitbandige Quellen nach A. J. Schwab Bild 2.1	53
Anh. 8, Abb. 19: Klassifizierung elektrischer und magnetischer Felder nach A. J. Schwab Bild 5.2	54
Anh. 8, Abb. 20: Wanderwellenanalogoie für eine ebene Welle, die auf eine quer zur Ausbreitungsrichtung orientiert, unendlich ausgedehnte Schirmwand trifft (Reflexion, Transmission und Absorption) nach A. J. Schwab Bild 6.8.....	55

Tabellenverzeichnis

Anh. 8, Tab. 1: Verbrennungsschwellen-Bereiche bei einer Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 563 Anh. 8, Tab. 1.....	1
Anh. 8, Tab. 2: Erhöhung des Verbrennungsschwellen-Bereichs für beschichtete Metalle bei einer Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 563 Anh. 8, Tab. 2.....	2
Anh. 8, Tab. 3: Verbrennungsschwellen nach DIN EN 563 Anh. 8, Tab. 3.....	5
Anh. 8, Tab. 4: Bandbreite der Verbrennungsschwellen für eine Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 13202 Anh. 8, Tab. B.1	5
Anh. 8, Tab. 5: Erhöhung der Bandbreite der Verbrennungsschwellen für beschichtete Metalle für eine Kontaktdauer von 0,5 s nach DIN EN 13202 Anh. 8, Tab. B.2	5
Anh. 8, Tab. 6: Verminderung des Körperschalls.....	19
Anh. 8, Tab. 7: Eigenschaften der elementaren Schallquellen nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 1	20
Anh. 8, Tab. 8: Zusammenfassung des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Schalleistung W, der Strömungsgeschwindigkeit u und der Dimension des Strömungsfeldes n nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 2	21
Anh. 8, Tab. 9: Übliche Werte für den akustischen Wirkungsgrad nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 3	21
Anh. 8, Tab. 10: Klassifizierung der Körperschallanregungsarten nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 4	22
Anh. 8, Tab. 11: Verlustfaktoren für frei schwingende ebene Platten aus verschiedenen Werkstoffen nach DIN EN ISO 11688-2, Anh. 8, Tab. 6.....	23
Anh. 8, Tab. 12: Bereiche von Geräuschemissionswerten für vergleichbare Kettensägen mit Verbrennungsmotor (nach VDI 3748, Stand 1986) nach S 42 Anh. 8, Tab. 9-3	29
Anh. 8, Tab. 13: Anhaltswerte der erreichbaren Lärminderung durch Kapseln, Abschirmwände und Kabinen nach S 42 Anh. 8, Tab. 9-6.....	30
Anh. 8, Tab. 14: Schallarten und Kenngrößen nach G. Neugebauer Anh. 8, Abb. 9	32
Anh. 8, Tab. 15: Beispiele für relevante Faktoren und ihre anzeigenden Eigenschaften nach DIN EN 626-2 Anh. 8, Tab. C.1	35
Anh. 8, Tab. 16: Zusammenstellung der Sicherheitsgrundsätze für Anlagen und Verfahren nach TRGS 300 Anh. 8, Tab. 2.....	37
Anh. 8, Tab. 17: Allgemeine Sicherheitsanforderungen nach TRGS 300 Anh. 8, Tab. 1 (Anhang 2)	38
Anh. 8, Tab. 18: Störungsbezogene Sicherheitsanforderungen nach TRGS 300 Anh. 8, Tab. 2 (Anhang 2)	39
Anh. 8, Tab. 19: Laserklassen	42
Anh. 8, Tab. 20: Vereinfachte maximal zulässige Bestrahlungswerte auf der Hornhaut des Auges (MZB-Werte) nach BGV B2 Anh. 8, Tab. 1	43
Anh. 8, Tab. 21: Laserklassen nach BGI 832.....	43
Anh. 8, Tab. 22: Schutzstufen für Laserabschirmung nach BGI 832 Anh. 8, Tab. 9	46
Anh. 8, Tab. 23: Laserklassen nach DIN EN 60825-1.....	47
Anh. 8, Tab. 24: Hochfrequenzanlagen: Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle nach 26. BImSchV	48
Anh. 8, Tab. 25: Niederfrequenzanlagen: Effektivwert der elektrischen Feldstärke nach 26. BImSchV	48
Anh. 8, Tab. 26: Basiswerte für unmittelbare Wirkung nach BGV B11 Anh. 8, Tab. 1 (Anlage 1)	48

Anh. 8, Tab. 27: Reduktionsfaktoren zur Bewertung mit Basiswerten BGV B11 Anh. 8, Tab. 16 (Anlage 1)	50
Anh. 8, Tab. 28: Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte nach BGV B11 Anh. 8, Tab. 1 (Anlage 2)	50
Anh. 8, Tab. 29: Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte unter Berücksichtigung besonderer Voraussetzungen nach BGV B11 Anh. 8, Tab. 2 (Anlage 2)	50
Anh. 8, Tab. 30: Einteilung der nichtionisierenden Strahlung nach DIN EN 12198-1 Anh. 8, Tab.	51
Anh. 8, Tab. 31: Einteilung der Maschinen nach Strahlenemissionspegel nach DIN EN 12198-1 Anh. 8, Tab. 2	51
Anh. 8, Tab. 32: Anwendung allgemeiner EMV-Maßnahmen nach Kohling Anh. 8, Tab. 3.1	55

Formelverzeichnis

Anh. 8, Gleichung 1: Abstimmungsverhältnis zur schwingungsisolierten Aufstellung von Maschinen (3.1)	9
Anh. 8, Gleichung 2: Berechnungsmodell eines schwingungsfähigen Einmassensystems (3.2)	15
Anh. 8, Gleichung 3: Minderung der Körperschallübertragung (3.3)	23
Anh. 8, Gleichung 4: Schallreflexionsfaktor r (3.4)	27
Anh. 8, Gleichung 5: Schallabsorptionsgrad α (3.5)	27
Anh. 8, Gleichung 6: Dimensionsloser Geräuschanteil q_v (3.6)	30
Anh. 8, Gleichung 7: Elektromagnetischen Schirm S (3.7)	55