

TECHNIK 23



Bundesanstalt für
Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin

Schwingungsbelastung in der Bauwirtschaft Beurteilung und Schutzmaßnahmen



TECHNIK 23



Schwingungsbelastung in der Bauwirtschaft

Beurteilung und Schutzmaßnahmen

Bearbeiter:

Dr.-Ing. Roman Melzig-Thiel

Dipl.-Ing. Jens Kinne

Dr.-Ing. Martin Schatte



Bundesanstalt für
Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin

Bearbeiter:

Dr.-Ing. Roman Melzig-Thiel

Dipl.-Ing. Jens Kinne

Dr.-Ing. Martin Schatte

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Gruppe AS 4.2 „Technischer Schwingungsschutz“

Proschhübelstrasse 8

D-01099 Dresden

Postfach 10 02 43

D-01072 Dresden

Telefon: (03 51) 80 62-4 20

Telefax: (03 51) 80 62-2 10

Grafische Gestaltung:

Evelin Kühn

Gruppe AS 5.3, Dresden

Fotografien:

Rainer Klemm

Gruppe AS 5.3, Dresden

Herausgeber:

BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN

Friedrich-Henkel-Weg 1 - 25

44149 Dortmund

Telefon (02 31) 90 71- 0

Telefax (02 31) 90 71- 4 54

Nachdruck, auch auszugsweise,
nur mit vorheriger Zustimmung der

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Juli 2001

ISBN 3-88 261-384-X

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Arbeitsplätze mit Schwingungsbelastung	7
2.1	Mobile Arbeitsmaschinen / Transportfahrzeuge	7
2.2	Arbeiten mit Handmaschinen	10
3	Übersicht zur Wirkung mechanischer Schwingungen	13
3.1	Wirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen	13
3.2	Schwingungseinwirkung auf Maschinen und Bauwerke	16
4	Messung und Beurteilung der Schwingungsbelastung	18
4.1	Allgemeine Anforderungen und Messgrößen	18
4.2	Messung der Schwingungsbelastung auf Fahrzeugen	20
4.3	Schwingungsbelastung beim Arbeiten mit Handmaschinen	25
5	Maßnahmen zur Verminderung bzw. Vermeidung der Schwingungsbelastungen	28
5.1	Auswahl schwingungsarmer Maschinen	28
5.2	Technische Schwingungsschutz-Maßnahmen	28
5.3	Organisatorische Maßnahmen des Schwingungsschutzes	41
5.4	Medizinische Maßnahmen	42
6	Literaturverzeichnis	44

1 Einleitung

Schwingungsbelastungen für Menschen, Maschinen und Bauwerke

Die am Arbeitsplatz auf den Menschen einwirkenden mechanischen Schwingungen (oft auch als Vibration bezeichnet) können zur Belästigung und zur Verminderung der Leistungsfähigkeit führen aber auch eine Schädigung der Gesundheit bewirken.

Man unterscheidet zwischen Ganzkörper-Schwingungen (GKS) und Hand-Arm-Schwingungen (HAS). Von GKS wird gesprochen, wenn mechanische Schwingungen auf den gesamten menschlichen Körper im stehenden oder sitzenden Zustand einwirken. Die Einleitungsstellen sind dabei die Füße, das Gesäß und der Rücken. Als HAS werden die beim Arbeiten mit handgehaltenen bzw. handgeführten vibrierenden Maschinen in das Hand-Arm-System eingeleiteten mechanischen Schwingungen verstanden.

Beispiele für Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen der Bauwirtschaft

Ganzkörperschwingungen können u.a. beim Führen von Fahrzeugen und mobilen Arbeitsmaschinen auf den Menschen einwirken:

- LKW auf Baustellen
- Bagger
- Gabelstapler auf unebenen Fahrbahnen
- Muldenkipper

Schwingungsquellen sind dabei überwiegend die Bewegungsvorgänge der Fahrzeuge über einen mehr oder weniger ebenen Untergrund. Einleitungsstelle ist in den meisten Fällen das Gesäß des Menschen. Bei Fahrzeugführern ist vielfach auch die Schwingungseinleitung über die Rückenlehne vorhanden.

Beispiele für das Auftreten von Hand-Arm-Schwingungen sind das Arbeiten mit elektrischen oder pneumatischen Schleifmaschinen, Bohr- und Aufbruchhämmern, Bohrmaschinen und Kettensägen. Schwingungsquellen sind im Falle der HAS die bei rotierenden Handmaschinen (Schleifmaschinen, Handkreissägen) auftretenden Unwuchten und die bei Bearbeitung des Materials auftretenden Wechselkräfte. Im Falle von schlagend arbeitenden Maschinen (Druckluftschlämmer, elektropneumatische Hämmer) entstehen die Schwingungen durch das physikalische Arbeitsprinzip der Handmaschinen (auf ein Werkzeug schlagender elektrisch oder pneumatisch bewegter Kolben) selbst.

Gesundheitliche Gefährdungen bzw. Schädigungen durch Schwingungsbelastung

Die Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen kann sowohl zu akuten Gefährdungen und zur Leistungsminderung der Beschäftigten als auch – bei langandauernder Exposition – zu chronischen Schäden und zu Berufskrankheiten führen.

Die Wirkung mechanischer Schwingungen auf den menschlichen Körper hängt von messbaren Größen wie der Schwingungsamplitude, der Einwirkungsdauer und den Frequenzkomponenten sowie der Einwirkungsrichtung ab. Gleichzeitig haben aber auch die körperliche Konstitution, das Alter der Personen sowie zusätzliche Belastungsfaktoren wie Klima, Staub, Lärm und Zwangshaltungen auf die Wirkung von mechanischen Schwingungen einen Einfluss.

Ziele des Schwingungsschutzes

- Verhütung von berufsbedingten Erkrankungen
- Verhütung von Arbeitsunfällen
- Abbau physischer und psychischer Belastungen am Arbeitsplatz
- Vermeidung von Sachschäden und Störfällen.

Maßnahmen zur Verminderung bzw. Beseitigung der Gefährdungen

- Technische Schwingungsschutzmaßnahmen,
- organisatorische Schwingungsschutzmaßnahmen und
- medizinische Schwingungsschutzmaßnahmen

haben das Ziel, nachteilige Wirkungen auf den Menschen, auf Maschinen, Tragkonstruktionen, Bauwerke oder auf den Baugrund zu vermeiden. Um effektive Schutzmaßnahmen konzipieren zu können, muß man stets die gesamte Übertragungskette der Schwingungen betrachten, die aus drei Gliedern besteht: die Entstehung, die Übertragung und die Wirkung von Schwingungen.

Die Abbildung 1.1 enthält Maßnahmen des technischen Schwingungsschutzes. Bei der Auswahl von Schutzmaßnahmen sind jene zu bevorzugen, die eine Reduzierung der Schwingungsentstehung bewirken. Diese Maßnahmen mindern zwangsläufig alle negativen Auswirkungen, unabhängig vom Ort des Auftretens, vom Zeitpunkt des Auftretens oder vom vorliegenden Wirkungsmechanismus.

Wegen ihrer hervorragenden Bedeutung werden alle Maßnahmen, die die Schwingungserzeugung an der Quelle vermindern oder ganz verhindern, auch als **Primärmaßnahmen** des technischen Schwingungsschutzes bezeichnet.

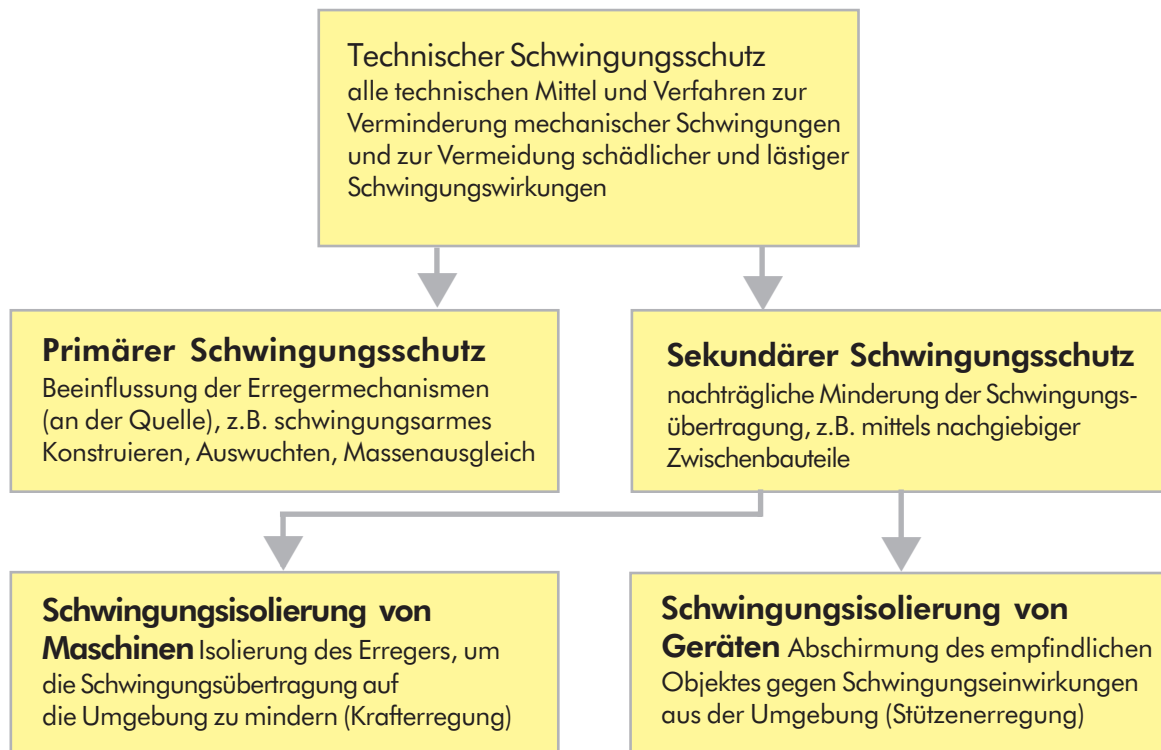


Abb. 1.1 Übersicht zu den Maßnahmen des technischen Schwingungsschutzes

Bereits bei der Planung von Arbeitsplätzen und Arbeitsstätten sind unter Beachtung der gesetzlichen Vorschriften Maßnahmen für den Schutz der Gesundheit der Beschäftigten und für die Gewährleistung der Arbeitssicherheit vorzusehen. Dabei geht es auch um die Vermeidung bzw. Verminderung der Gefährdung durch mechanische Schwingungen.

2 Arbeitsplätze mit Schwingungsbelastung

Die Mess- und Beurteilungsgröße für die Schwingungsimmission an Arbeitsplätzen ist in den meisten Fällen der Effektivwert der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung.

In Deutschland wurde mit der erstmalig im Jahr 1963 herausgegebenen VDI 2057 [1] die Bewertete Schwingstärke K als Maß für die Schwingungsbeanspruchung des Menschen eingeführt. Durch die Normierung der Schwingbeschleunigung für Ganzkörper- und Hand-Arm-Schwingungen war es möglich, durch Angabe des K -Wertes einen direkten Vergleich der Beanspruchung für unterschiedliche Schwingungseinleitung in den menschlichen Körper unabhängig von der Schwingungsrichtung durchführen zu können. Für alle Beanspruchungsfälle sollte ein Richtwert der Beurteilungsschwingstärke von $K_r = 16$ nicht überschritten werden.

In den aktuellen internationalen und europäischen Normen sowie in der EG-Maschinenrichtlinie wird die Bewertete Schwingstärke K nicht verwendet. Die Schwingungsbelastung wird einheitlich durch die frequenzbewertete Beschleunigung a_w gekennzeichnet. Aus diesem Grund wird die Richtlinie VDI 2057 z.Z. überarbeitet. In Zukunft wird auch in Deutschland die Messung und Beurteilung der Schwingungsimmission ausschließlich auf der Grundlage der frequenzbewerteten Beschleunigung a_w erfolgen [2].

2.1 Mobile Arbeitsmaschinen/Transportfahrzeuge

Messwerte der Schwingungsbelastung auf den wichtigsten Fahrzeugen und mobilen Arbeitsmaschinen enthält die Abbildung 2.1. Dargestellt sind die Bereiche der Messwerte der bewerteten Schwingbeschleunigung und die berechneten Mittelwerte. Für die Ermittlung der täglichen Schwingungsbelastung sind zusätzliche Kenntnisse über den Arbeitsablauf und die Einwirkungsdauer bei den einzelnen Tätigkeiten erforderlich (s. Abschnitt 4.1).

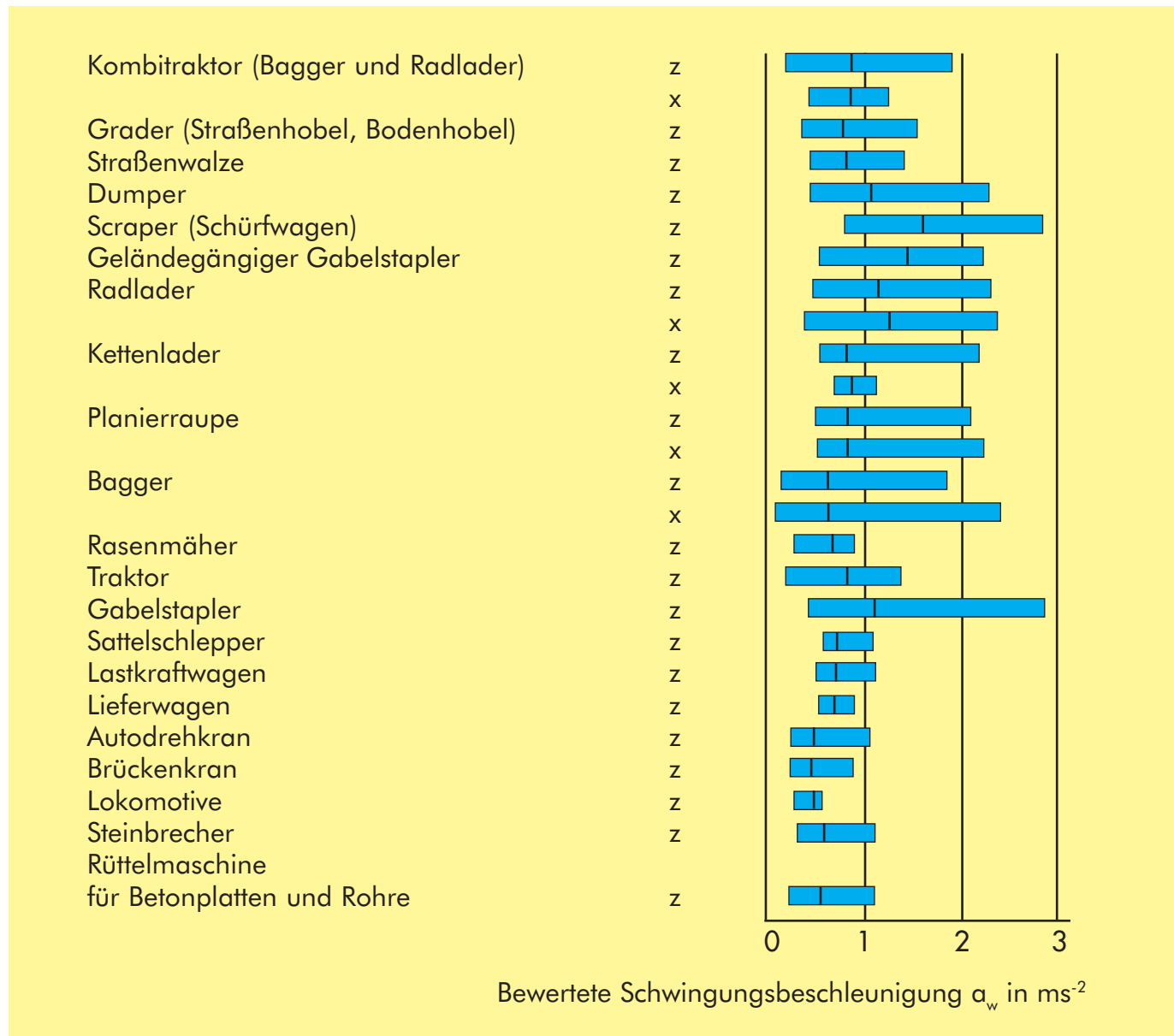


Abb. 2.1 Messwerte der bewerteten Schwingbeschleunigung auf Fahrzeugen nach [3]
(z - vertikal, x - horizontal)



Abb. 2.2 Beispiele für Schwingungsbelastung auf Fahrzeugen

2.2 Arbeiten mit Handmaschinen

Viele technologischen Prozesse werden durch mechanische Schwingungen gefördert oder überhaupt erst möglich:

- das Schlagbohren von Löchern und Durchbrüchen in Betonwände
- das Abbrechen oder Zerkleinern von Steinen, Mauerwerk, Beton o.ä. mit Druckluft oder Bohrhämmern
- das Verdichten von Baugrund, Sand- und Kiesschüttungen sowie Betonmischungen mittels Vibrationswalzen, Stampfern, Flaschenrüttlern oder Vibriertischen
- das Klassieren von Schüttgütern (z.B. Schotter) mittels Schwingsieben
- das Entgraten und Schleifen von Metall- und Holzteilen in rotierenden Trommeln und mittels handgehaltener Schwing-schleifmaschinen
- der horizontale und vertikale Transport von Schütt- und Stückgütern mittels Schwingrinnen und Vibrationsförderern.

Die Abbildung 2.2 enthält die Schwingungsimmissionswerte für unterschiedliche Tätigkeiten mit vibrierenden Handmaschinen.

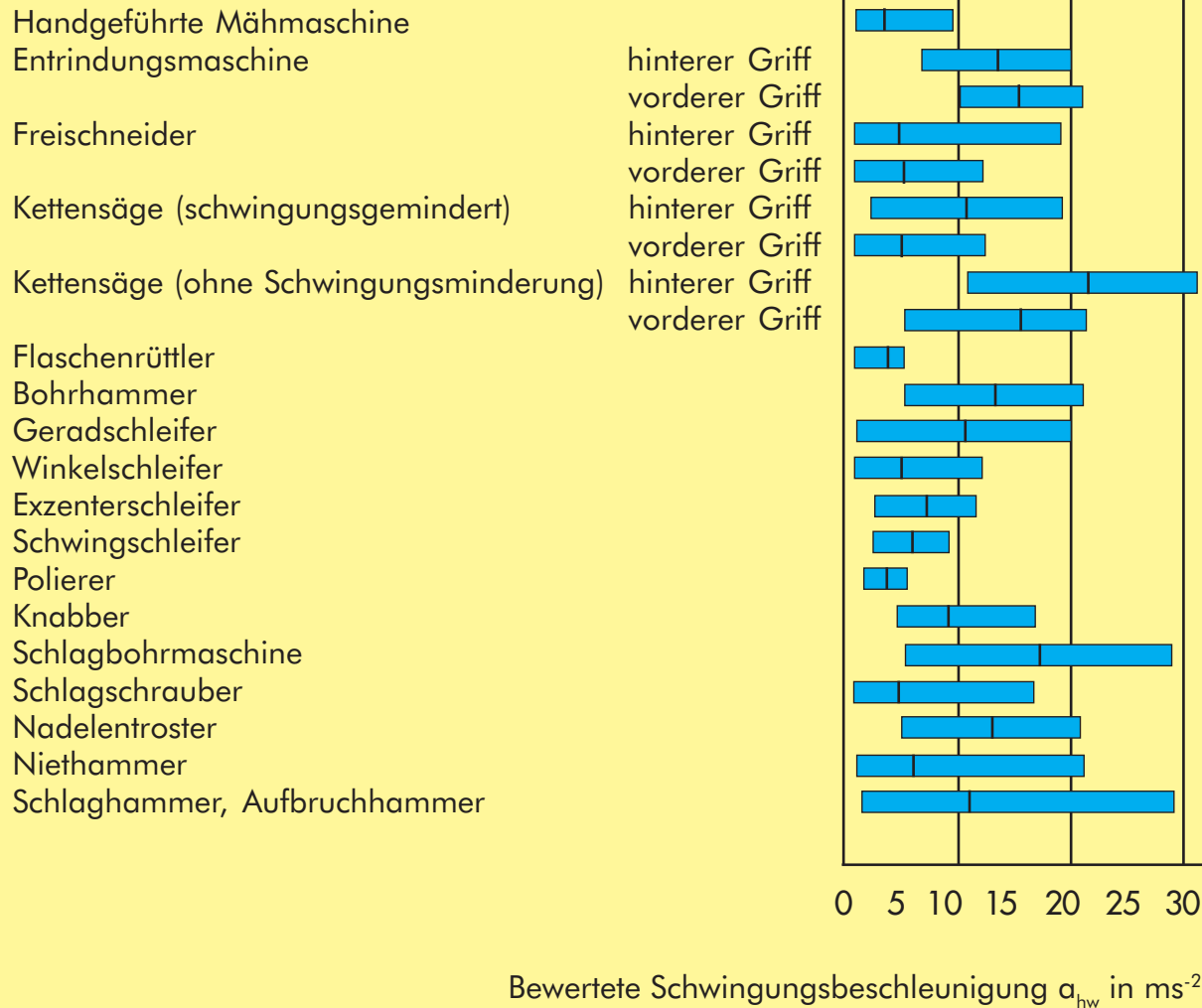


Abb. 2.3 Messwerte der bewerteten Schwingbeschleunigung beim Arbeiten mit Handmaschinen nach [3]



Abb. 2.4 Beispiele für Schwingungsbelastung beim Arbeiten mit Handmaschinen

3 Übersicht zur Wirkung mechanischer Schwingungen

3.1 Wirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen

- **Ganzkörper-Schwingungen (GKS)**

Akute Wirkungen der GKS sind als Veränderungen im biomechanischen Schwingungsverhalten, bei physiologischen Körperfunktionen und bei der subjektiven Schwingungswahrnehmung festzustellen. Beeinflusst werden die Schwingungswirkungen von den Eigenfrequenzen des menschlichen Körpers (Abb. 3.1). In Abhängigkeit von der Erregerfrequenz kann es dabei zu verminderter Leistungsfähigkeit und zu Stressreaktionen kommen:

- 1 < f < 4 Hz:** Beeinträchtigung der Atmung und des Sprechens
- 2 < f < 16 Hz:** Beeinträchtigung der Geschicklichkeit;
Gefahr: Führen eines Fahrzeugs kann erschwert werden.
- 20 < f < 25 Hz:** Reizung der Augäpfel möglich.
Gefahr: Minderung der Sehleistung.

Über mehrere Jahre lang andauernde Schwingungsbelastungen können zu chronischen Schäden führen, die im Fall von GKS insbesondere die Wirbelsäule und vereinzelt auch den Magen-Darm-Trakt betreffen. Besonders gefährdet durch GKS ist der Bereich der Lendenwirbelsäule. Treten bei mehrjähriger hoher Schwingungsbelastung starke Schmerzen im Lendenbereich verbunden mit einer Einschränkung der Beweglichkeit auf, so kann es sich um eine Berufskrankheit handeln. Seit 1993 sind "Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkungen von Ganzkörper-Schwingungen im Sitzen, die zur Unterlassung von Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können" als Berufskrankheit Nr. 2110 anerkennungsfähig [4].



Abb. 3.1 Eigenfrequenzen des Menschen und seiner Körperteile

● Hand-Arm-Schwingungen (HAS)

Akute Schwingungseinwirkungen im Hand-Arm-System infolge von HAS äußern sich vor allem in der Veränderung des biomechanischen Schwingungsverhalten, in physiologischen Veränderungen im muskulären Bereich, im peripheren Nerven- und Kreislaufsystem und in der Schwingungswahrnehmung.

Bei langandauernder Schwingungsexposition sind u.a. degenerative Knochen- und Gelenkschäden im Hand-Arm-System zu beobachten. Hierdurch werden die Bewegungsfunktionen der oberen Extremitäten der Betroffenen zum Teil erheblich beeinträchtigt. Bewegungseinschränkungen und Gelenk-, zum Teil auch Muskel- und Sehnenschmerzen sind schmerzhaft Begleiterscheinungen dieser Krankheiten. Diese berufsbedingten Schwingungswirkungen sind als "Erkrankungen durch Erschütterungen bei der Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Maschinen" als Berufskrankheit Nr. 2103 anerkennungsfähig [4].

Weiterhin können die Veränderungen im peripheren Kreislauf und im peripheren Nervensystem chronischen Charakter annehmen. Als Krankheitsbild ist hier das "Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom" (VVS) bekannt. Hierbei ist der periphere Blutkreislauf derartig gestört, dass sich bei den Betroffenen anfallsartige Kältegefühle in den Händen und Fingern mit schmerzhaften

Begleiterscheinungen einstellen. Diese Anfälle treten vorrangig nach Beendigung der Vibrationsexposition während körperlicher Ruhephasen auf und können eine solche Intensität erreichen, dass die Betroffenen in der Nacht davon aufwachen. Die in diesem Fall mögliche berufsbedingte Erkrankung wird unter Nr. 2104 "Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können" in der Liste der Berufskrankheiten geführt [4].

● Statistik der Berufskrankheiten

In Deutschland werden jährlich eine große Zahl von Erkrankungen als Folge von Schwingungsbelastungen angezeigt (Abb. 3.2). Obwohl nur ein Teil dieser Anzeigen als Berufskrankheiten anerkannt werden, sind hohe Ausgaben für die Behandlung und Entschädigung dieser Gesundheitsschäden erforderlich.

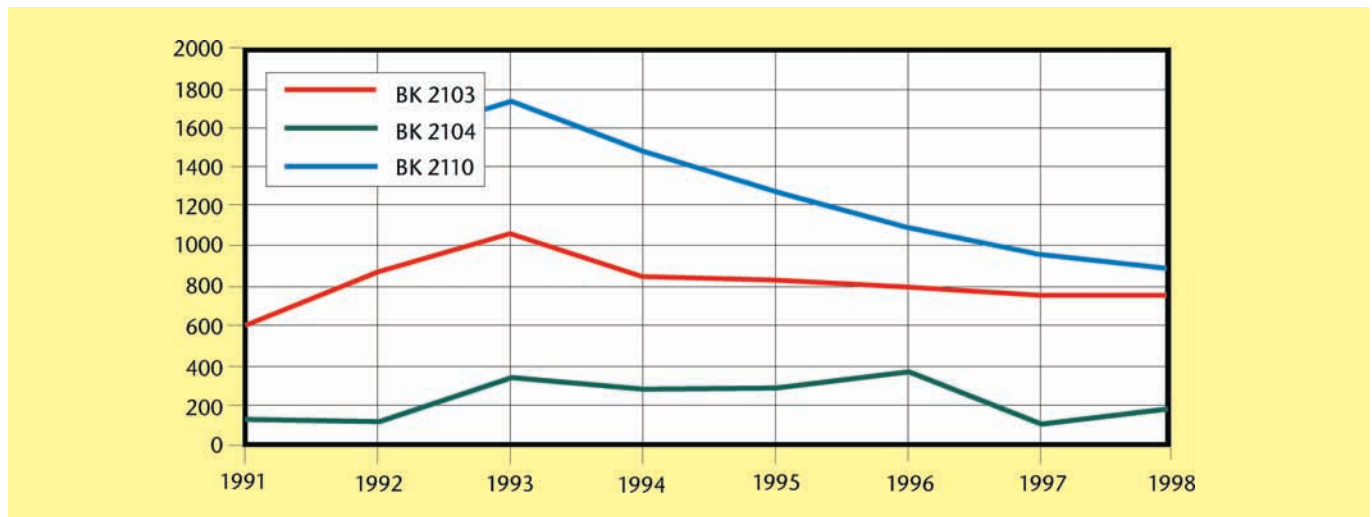


Abb. 3.2 Angezeigte Krankheiten bei Schwingungsbelastung

3.2 Schwingungseinwirkung auf Maschinen und Bauwerke

Bei Schwingungseinwirkung auf Maschinen, Geräte und Baukonstruktionen entstehen zusätzliche dynamische Beanspruchungen der Bauteile. Sie können zu Dauerbrüchen, erhöhtem Verschleiß und plastischer Deformation von Maschinenteilen, Rißbildung und Einsturz von Bauwerken und Stützkonstruktionen, Einrütteln des Baugrundes und Bruch von Rohrleitungen führen (Abb. 3.2). Durch elastische Verformung schwingender Bauteile wird die vorgeschriebene Bewegung nicht mehr eingehalten. Es kann zu Funktionsstörungen der Maschine kommen. Mess- und Prüfgeräte sowie sicherheitstechnische Mittel können durch "Mitschwingen" gestört werden und ausfallen.



Funktionsstörungen durch zu große Bewegungen - Qualitätsminderung am Produkt



Dauerbrüche von Befestigungselementen - Brüche von Rohrleitungen, Maschinenschäden



Brüche von Federn und Achsen bei selbstfahrenden Arbeits- und Transportmitteln



Formänderung und Brüche von Bauteilen und Bauwerksteilen

Abb. 3.3 Zur Wirkung mechanischer Schwingungen

Durch Störfälle in Gebäuden und Industrieanlagen sowie auf Fahrzeugen können Sachwerte vernichtet oder Folgegefährdungen des Menschen herbeigeführt werden, z.B.:

- Brüche von Rohrleitungen, in denen gefährliche Stoffe transportiert werden;
- Brüche von Fahrzeugbauteilen, z.B. Kurbelwellen auf Grund von Drehschwingungen;
- Einsturz von Bauwerksteilen, unter denen sich Menschen befinden;
- Versagen der Sicherheitseinrichtungen in Industrieanlagen.

4 Messung und Beurteilung der Schwingungsbelastung

4.1 Allgemeine Anforderungen und Messgrößen

Als Messgröße für die Schwingungseinwirkung an Arbeitsplätzen wird die Schwingbeschleunigung verwendet. Bei der Ermittlung der arbeitshygienischen Beurteilungsgröße sind neben der Schwingungsamplitude die Frequenzzusammensetzung, die Schwingungsrichtung und die Einwirkungsdauer zu beachten. Das Schema einer einfachen Schwingungsmesskette ist in Abbildung 4.1 dargestellt

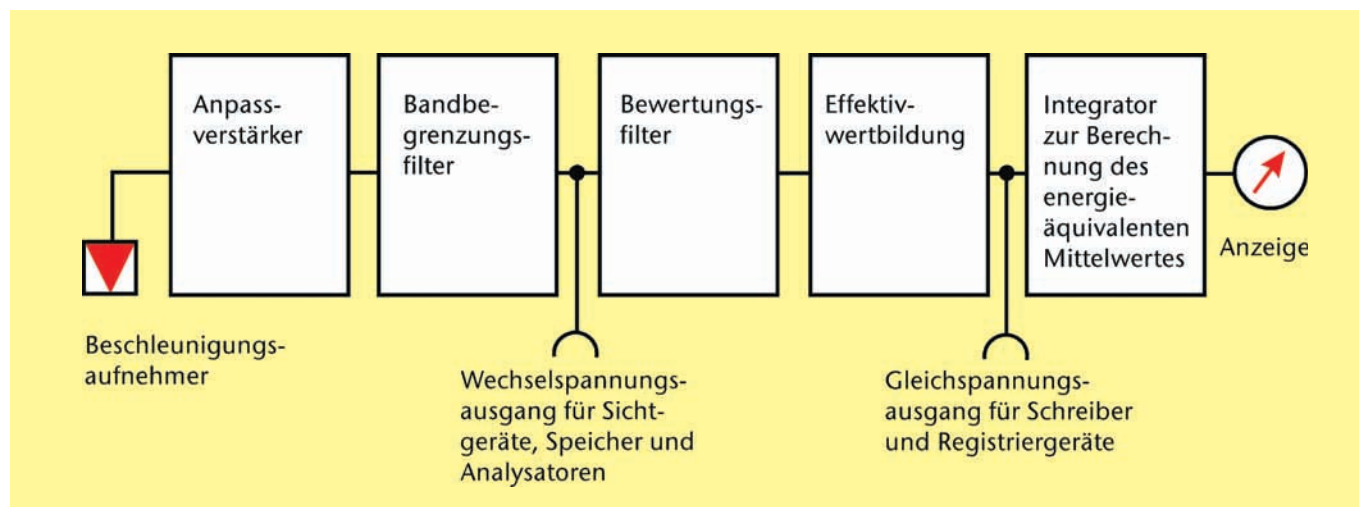


Abb. 4.1 Prinzipieller Aufbau einer Messkette für Schwingungsmessungen an Arbeitsplätzen

Die relevanten Frequenzbereiche sind für Hand-Arm-Schwingungen 8 - 1000 Hz und für Ganzkörper-Schwingungen 1 - 80 Hz. Innerhalb dieser Bereiche wird die frequenzabhängige Schwingungsempfindung und -beanspruchung des Menschen in den Schwingungsmessgeräten durch Frequenzbewertungskurven nachgebildet. Während es für Hand-Arm-Schwingungen in den drei Raumrichtungen

nur eine Bewertungskurve gibt, werden bei Ganzkörper-Schwingungen u.a. die Frequenzbewertungen für die vertikale (z) und die horizontalen Richtungen (x, y) unterschieden (vgl. Abbildung 4.2).

Die tägliche Schwingungsbelastung wird nach dem Dosisprinzip aus den Teilbelastungen (für unterschiedliche Tätigkeiten) und den zugehörigen Einwirkungsauern errechnet. Setzt sich die tatsächliche Einwirkungsdauer T aus n Belastungsabschnitten T_i zusammen, so erhält man den energieäquivalenten Mittelwert der frequenzbewerteten Beschleunigung während der Einwirkungszeit T nach folgender Beziehung:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{wi}^2 \cdot T_i} \quad (4.1)$$

Die Beurteilungsbeschleunigung $a_{w(8)}$ kennzeichnet die Gesamtschwingungsbelastung während eines Tages ("Tagesdosis"). Sie wird aus der für die Einwirkungszeit T bestimmten Beschleunigung a_w für die Beurteilungsdauer von $T_o = 8$ h berechnet:

$$a_{w(8)} = a_w \sqrt{\frac{T}{T_o}} \quad (4.2)$$

● Ganzkörper-Schwingungen

Als arbeitshygienische Beurteilungsgröße dient gemäß VDI 2057 [2] der auf einen 8-stündigen Arbeitstag bezogene energieäquivalente Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung $a_{w(8)}$ in der vertikalen (z) Richtung.

Hohe stoßförmige Belastungen von Fahrzeugführern, die eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung der Lendenwirbelsäule darstellen, sollten mit speziellen Methoden gemäß der internationalen Norm ISO 2631-1 [5] messtechnisch erfasst werden.

● Hand-Arm-Schwingungen

Als arbeitshygienische Beurteilungsgröße dient gemäß DIN EN 25349, Teil 1 [6] die auf einen 8-stündigen Arbeitstag bezogene Tages-Schwingungsbelastung $a_{hv(8)}$:

$$a_{hv(8)} = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (4.3)$$

Dabei ist der Vektorbetrag a_{hv} das in der Einwirkungsdauer T bestimmte quadratische Mittel aus den energieäquivalenten Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigungen in den drei Schwingungsrichtungen x , y und z :

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (4.4)$$

Eine ausführliche Anleitung zur praktischen Durchführung der Schwingungsmessungen an Arbeitsplätzen und zur Ermittlung der täglichen Schwingungsbelastung bei Einwirkung von Hand-Arm-Schwingungen enthält DIN EN 25349, Teil 2 [7].

4.2 Messung der Schwingungsbelastung auf Fahrzeugen

● Koordinatensystem und Messscheibe

Die auf den Menschen übertragenen Schwingungen werden auf die entsprechenden Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems bezogen (Abb. 4.2 b). Die Achsen sind folgendermaßen definiert:

x-Achse:	Rücken – Brust
y-Achse:	rechts nach links
z-Achse:	Füße (oder Gesäß) – Kopf

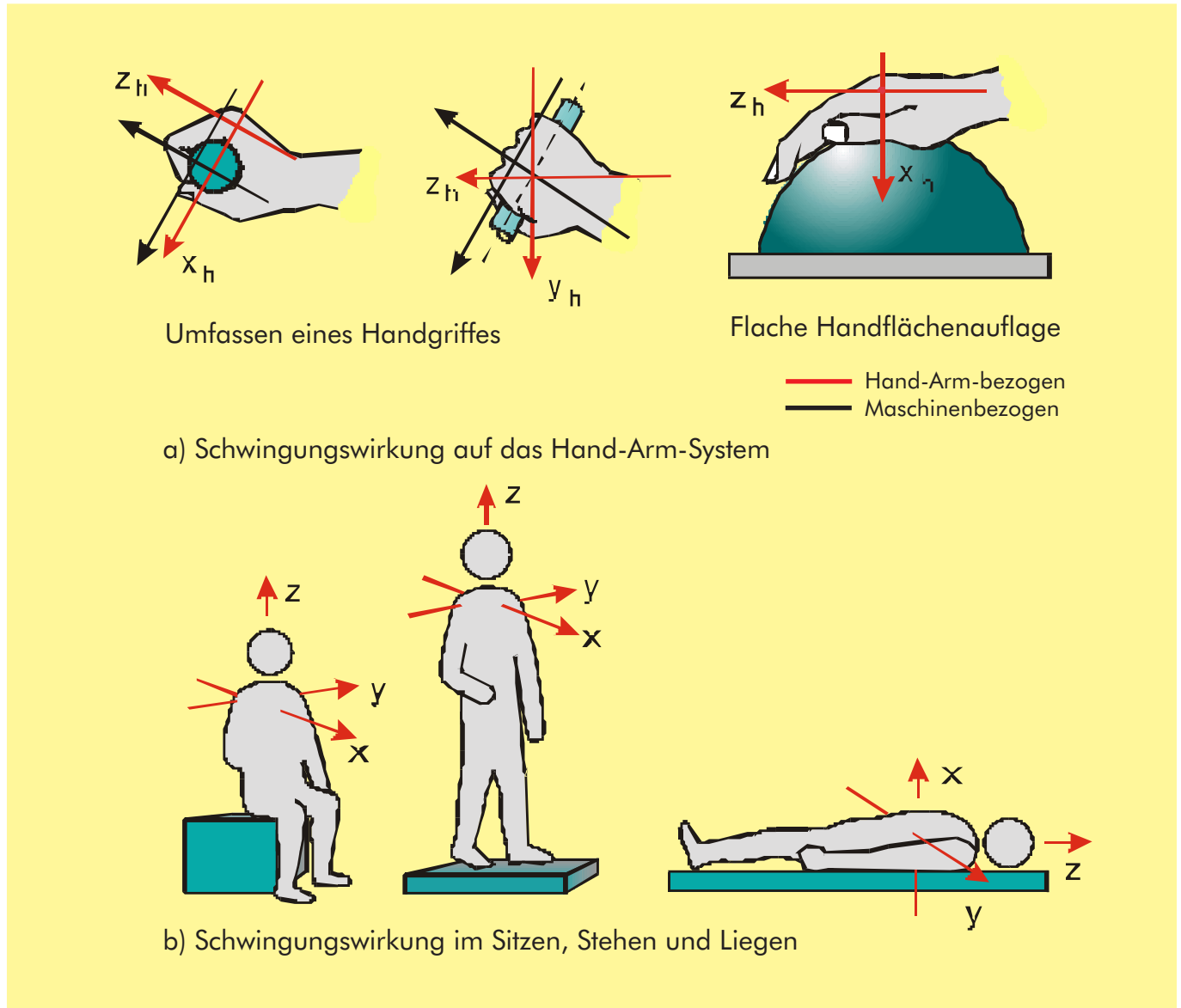


Abb. 4.2 Koordinatensysteme für die Messung von Hand-Arm- und Ganzkörper-Schwingungen

Bei den Schwingungsmessungen auf Fahrzeugen sollte der Messpunkt so nahe wie möglich an dem Punkt oder der Fläche liegen, wo die Schwingungen in den Körper übertragen werden. Bei sitzenden Personen ist eine halbelastische Messscheibe mit triaxialem Schwingungsaufnehmer zu verwenden [8]. Die Scheibe ist so auf der Sitzfläche anzuordnen, dass sich der Schwingungsaufnehmer in der Mitte zwischen den Sitzbeinhöckern des Sitzenden befindet. Bei stehenden Personen ist der Schwingungsaufnehmer der Messscheibe zwischen den Füßen anzuordnen.

● **Richtlinien für die Bestimmung der täglichen Schwingungsbelastung**

Die Schwingungsbelastung am Arbeitsplatz kann durch unterschiedliche Tätigkeiten hervorgerufen werden, wobei manche Tätigkeiten auch wiederholt werden. Die Belastung durch mechanische Schwingungen kann sich durch die Benutzung unterschiedlicher Fahrzeuge und Maschinen sowie durch verschiedene Arbeitsaufgaben deutlich unterscheiden.

Für die Ermittlung der täglichen Schwingungsbelastung ist es zunächst erforderlich, die Tätigkeiten auszuwählen, die wesentlich zur Gesamtbelastung beitragen. Für jede dieser Tätigkeiten müssen die Messbedingungen festgelegt werden, wobei der Arbeitsablauf einschließlich der Teilaufgaben und die Eigenschaften der Schwingungsquelle (Fahrzeug, mobile Arbeitsmaschine) zu erfassen sind. Folgende Schwerpunkte müssen bei der Messvorbereitung beachtet werden:

- Auswahl der Tätigkeiten, für die die Schwingungsbelastung zu messen ist
- Organisation des Messablaufs
- Dauer und Anzahl der Schwingungsmessungen
- Abschätzung der Dauer der Schwingungsbelastung.

Aus der Summe aller Belastungsabschnitte ergibt sich die tägliche Einwirkungsdauer, die in der Regel kürzer ist, als die tägliche Nutzungsdauer von mobilen Maschinen und Fahrzeugen und damit in jedem Falle kürzer als ein 8h-Arbeitstag.

Nach einem Schema, das aus der Arbeitsplatzanalyse abzuleiten ist, werden dann die Effektivwerte der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung für die zugehörigen Zeitabschnitte der Schwingungsbelastung ermittelt und daraus der Gesamtwert der täglichen Schwingungsbelastung gebildet. Als praktische Anleitung für die Arbeitsplatzmessungen wird z.Z. für Ganzkörper-Schwingungen analog zu [7] eine europäische Norm erarbeitet.

- **Beurteilung der Schwingungsbelastung bei Ganzkörper-Schwingungen**

Für die Beurteilung von Ganzkörper-Schwingungen an Arbeitsplätzen wird auf der Grundlage von ISO 2631-1 [5] das Blatt 1 der VDI-Richtlinie 2057 neu erarbeitet [2].

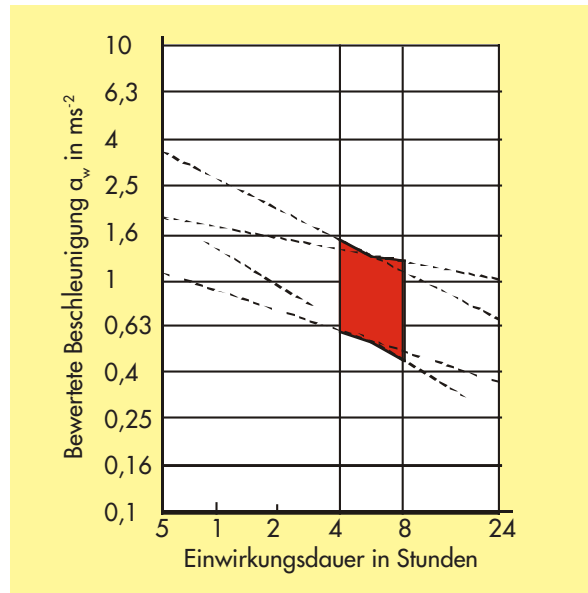


Abb. 4.3 Zur Gesundheitsgefährdung bei Ganzkörper-Schwingungen

Es sind die Beschleunigungswerte für die drei Messrichtungen x , y und z heranzuziehen, wobei die Effektivwerte für die horizontalen Richtungen x und y mit dem Korrekturfaktor 1,4 zu multiplizieren sind. Die zu erwartende Gesundheitsgefährdung des Menschen durch Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen wird anhand des so bestimmten höchsten Effektivwertes a_w der frequenzbewerteten Schwingungsbeschleunigung beurteilt. Für eine gefährdende „Tagesdosis“ in Form der Beurteilungsbeschleunigung $a_{w(8)}$ gilt die in Abbildung 4.3 dargestellte Beziehung zwischen der frequenzbewerteten Beschleunigung a_w und der täglichen Einwirkungsdauer T . Bei Belastungen, gekennzeichnet durch die Wertepaare von a_w und T , die innerhalb des gekennzeichneten Bereichs liegen, kann mit einer möglichen Gefährdung gerechnet werden. Bei Belastungen, die oberhalb des angegebenen Bereichs liegen, kann von einer deutlichen Gefährdung ausgegangen werden.

Schwingungsbelastung in der Bauwirtschaft

In beiden Fällen ist vorausgesetzt, dass sich die Einwirkungen mit dieser Tagesdosis über Jahre hinweg regelmäßig wiederholen. Weitere Einzelheiten – insbesondere zur Bildung der Beurteilungsgrößen – sind der VDI-Richtlinie 2057, Teil 1 [2] zu entnehmen.

● Beispiel für die Ermittlung und Beurteilung der Schwingungsbelastung auf Fahrzeugen

Innerhalb einer Arbeitsschicht werden - wie in VDI 2057-1 [2] als analoges Rechenbeispiel angegeben - von einem Fahrer verschiedene Fahrzeuge und Arbeitsmaschinen mit unterschiedlicher Schwingungsbelastung gefahren:

- | | |
|--|--|
| a) Fahren eines LKW auf Asphaltstraße
Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung:
Fahrdauer: | $a_{w1} = 0,65 \text{ m/s}^2$
$T_1 = 1,0 \text{ h}$ |
| b) Fahren eines LKW auf unebenem Gelände einer Baustelle
Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung:
Fahrdauer: | $a_{w2} = 0,90 \text{ m/s}^2$
$T_2 = 1,0 \text{ h}$ |
| c) Abladen von Ladegut mit einem Gabelstapler auf einem gepflasterten Betriebshof
Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung:
Fahrdauer: | $a_{w3} = 1,1 \text{ m/s}^2$
$T_3 = 0,75 \text{ h}$ |
| d) Fahren eines Kleintransporters auf Land- und Stadtstraßen
Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung:
Fahrdauer: | $a_{w4} = 0,4 \text{ m/s}^2$
$T_4 = 2,0 \text{ h}$ |

Berechnung der Beurteilungsbeschleunigung mit den Gleichungen (4.1) und (4.2)

$$a_{w(8)} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^4 a_{wi}^2 T_i} \text{ mit } T_0 = 8\text{h}$$

$$a_{w(8)} = \sqrt{\frac{1}{8 \text{ h}} [(0,65 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 1,0 \text{ h} + (0,90 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 1 \text{ h} + (1,1 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 0,75 + (0,4 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 2,0 \text{ h}]}$$

$$a_{w(8)} = 0,55 \text{ m/s}^2$$

4.3 Schwingungsbelastung beim Arbeiten mit Handmaschinen

● Koordinatensystem und Aufnehmerankopplung

Das Koordinatensystem für die Hand-Arm-Schwingungsmessungen ist in Abbildung 4.2 a dargestellt. Als Referenzsystem für die Messungen wird das maschinenbezogene Koordinatensystem empfohlen, dessen Koordinatenursprung auf dem Maschinengriff in der Nähe der Schwingungseinleitung in die Hand liegt.

Bei den Schwingungsmessungen ist für den Aufnehmer eine Ankopplungsart zu wählen, die eine möglichst starre Befestigung an der vibrierenden Fläche darstellt und den Betrieb der Maschine sowie ihre Handhabung nicht behindert. Einzelheiten zur Wahl des Messpunktes an Handmaschinen und zu den unterschiedlichen Ankopplungsverfahren sind in [7] zusammengestellt.

● Leitfaden für die Messung von Hand-Arm-Schwingungen an Arbeitsplätzen

Um die in DIN EN ISO 5349-1 [6] enthaltenen Forderungen zur Messung und Beurteilung von Hand-Arm-Schwingungen an Arbeitsplätzen im praktischen Fall erfüllen zu können, wurde mit DIN EN ISO 5349-2 [7] eine Anleitung erarbeitet.

Prinzipiell erfolgt die Ermittlung der täglichen Schwingungsbelastung in mehreren Schritten:

- Zusammenstellung der während des Arbeitstages auszuführenden Tätigkeiten
- Auswahl der für die Schwingungsbelastung relevanten Tätigkeiten
- Messung der Effektivwerte a_{hwxi} , a_{hwyi} und a_{hwzi} der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei Messrichtungen für jede ausgewählte Tätigkeit i
- Ermittlung der typischen täglichen Belastungsdauer T_i für jede Tätigkeit i
- Berechnung des energieäquivalenten 8-h-Schwingungsgesamtwertes (Tages-Schwingungsbelastung) gemäß [6] (vgl. Abschnitt 4.1).

Weitere Details, zur Organisation und Dauer der Schwingungsmessungen, sind aus [7] zu entnehmen.

● Beurteilung der Schwingungsbelastung bei Hand-Arm-Schwingungen

Für die Beurteilung von Hand-Arm-Schwingungen wird z.Z. unter Beachtung von DIN EN ISO 5349-1 das Blatt 2 der VDI 2057 [17] erarbeitet. Darin ist – zusätzlich zu dem in [6] enthaltenen Beurteilungsverfahren für Durchblutungsstörungen in den Händen bei langjähriger Belastung – ein Vorschlag für die Einschätzung der täglichen Schwingungsbelastung hinsichtlich erforderlicher Maßnahmen zur Prävention enthalten.

Für den Richtwert einer für eine Arbeitsschicht von 8 h geltenden Tages-Schwingungsbelastung $a_{hv(8)}$ besteht nach bisherigem Wissenstand die in Abbildung 4.4 dargestellte Beziehung zwischen dem Schwingungsgesamtwert (Vektorsumme) a_{hv} der frequenzbewerteten Beschleunigung und der täglichen Einwirkungsdauer T . Bei Belastungen, gekennzeichnet durch Wertepaare von a_{hv} und T , die oberhalb dieser Richtwertkurve von $a_{hv(8)} = 3,0 \text{ m/s}^2$ liegen, werden präventive Schwingungsschutzmaßnahmen empfohlen.

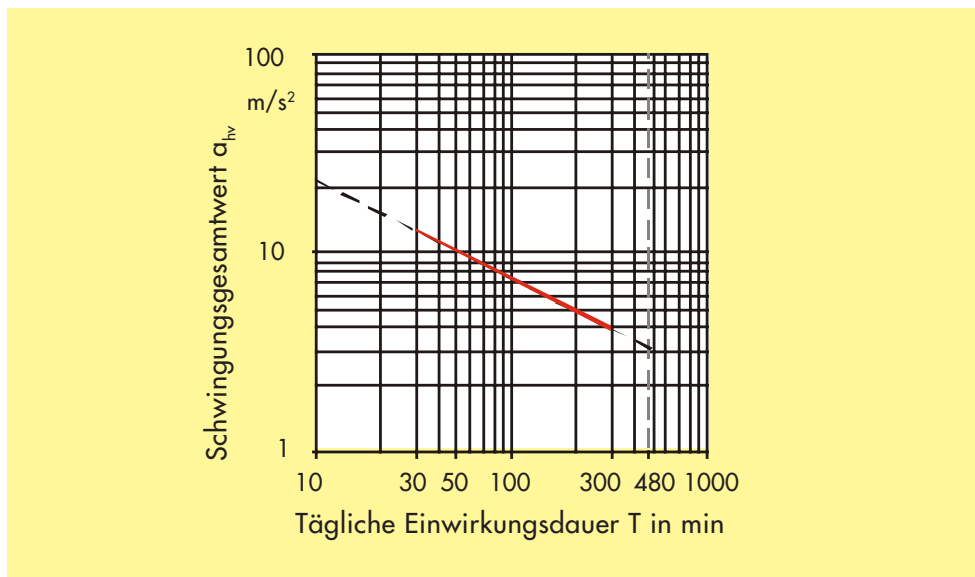


Abb. 4.4 Richtwertkurve als Grundlage für die Prävention in Abhängigkeit vom Schwingungsgesamtwert und der täglichen Einwirkungsdauer

- **Beispiel für die Ermittlung und Beurteilung von Hand-Arm-Schwingungen**

Verwendung eines Bohrhammers mit unterschiedlichen Werkzeugen

Zur Vorbereitung von Installationsarbeiten werden während einer Arbeitsschicht in Betonwände und -decken sowohl Dübellöcher (Tätigkeit 1) als auch Durchbrüche (Tätigkeit 2) gebohrt. Für die Ermittlung der Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei Messrichtungen wird ein integrierendes Messgerät verwendet, das auch den Schwingungsgesamtwert a_{hv} anzeigt. Bedingt durch die unterschiedlichen Werkzeuge werden zwei mittlere Schwingungsgesamtwerte a_{hv1} und a_{hv2} ermittelt:

$$a_{hv1} = 10,7 \text{ m/s}^2 \qquad a_{hv2} = 16,5 \text{ m/s}^2$$

Die Belastungsdauer T_1 bzw. T_2 ergibt sich jeweils durch Multiplikation aus der Anzahl der gebohrten Löcher (n_1) bzw. Durchbrüche (n_2) und der zugehörigen Bohrdauer für ein Loch (t_1) bzw. einen Durchbruch (t_2):

$$n_1 = 200; t_1 = 15 \text{ s}; \qquad T_1 = n_1 \cdot t_1 = 200 \cdot 15/3600 \text{ h} = 0,83 \text{ h}$$

$$n_2 = 40; t_2 = 30 \text{ s}; \qquad T_2 = n_2 \cdot t_2 = 40 \cdot 30/3600 \text{ h} = 0,33 \text{ h}$$

Die Tages-Schwingungsbelastung $a_{hv(8)}$ wird nach der Beziehung

$$a_{hv(8)} = \sqrt{\frac{1}{8 \text{ h}}(a_{hv1}^2 T_1 + a_{hv2}^2 T_2)}$$

berechnet zu:

$$a_{hv(8)} = \sqrt{\frac{1}{8 \text{ h}}[(10,7 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 0,83 \text{ h} + (16,5 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 0,33 \text{ h}]} = 4,8 \text{ m/s}^2.$$

Zur Prävention sollte ein Gerät mit geringerer Schwingungsemission beschafft bzw. die Benutzungsdauer für den Bohrhammer begrenzt werden.

5 Maßnahmen zur Verminderung bzw. Vermeidung der Schwingungsbelastungen

5.1 Auswahl schwingungsarmer Maschinen

Bei der Neuanschaffung sollten schwingungsarme Maschinen bevorzugt werden. (s.a. Maschinenverordnung, 9.GSGV [9] mit ihren Forderungen bezüglich der Kennzeichnung der Schwingungsemission). Wichtig für die Vergleichbarkeit der Emissionswerte sind einheitliche Prüfbedingungen für die einzelnen Maschinenarten. Für die wichtigsten Arten von vibrierenden Handmaschinen liegen die Testcodes als Teile der DIN EN 28662 [10] bzw. der DIN EN 50144 [11] vor. Für mobile Arbeitsmaschinen wird z.Z. die DIN EN 1032 als Rahmenprüfnorm erarbeitet [12]. Die Kenngröße der Schwingungsemission ist der Effektivwert der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung an den Maschinen. Wenn dieser Wert nach den entsprechenden Prüfregeln ermittelt wurde und den Schwellenwert von $0,5 \text{ m/s}^2$ für mobile Arbeitsmaschinen bzw. $2,5 \text{ m/s}^2$ für Handmaschinen überschreitet, ist in den Maschinenunterlagen der gemessene Wert anzugeben.

Beim Kauf neuer Maschinen sollten - unter Beachtung der Leistungsfähigkeit - die Herstellerangaben zur Schwingungsemission für die bei unterschiedlichen Firmen produzierten Exemplare einer bestimmten Maschinenart (z.B. Bohrhämmer für eine vorgegebenen Werkzeugdurchmesser, Radlader einer bestimmten Maschinenklasse) miteinander verglichen werden. Bei gleicher Leistungsfähigkeit sollten Maschinen mit der geringsten Schwingungsemission bei der Neuanschaffung bevorzugt werden [13].

5.2 Technische Schwingungsschutz-Maßnahmen

● Fahrererkabinen

Die Schwingungsisolierung von Fahrererkabinen (z.B. bei Sattelkraftfahrzeugen) ist eine wirksame Maßnahme, um die Schwingungsbelastung von Beschäftigten zu vermindern, da mit der relativ großen schwingenden Kabinenmasse eine tiefe Abstimmung möglich ist. Spezielle konstruktive Maßnahmen sind jedoch für die schwingungsisolierte Aufhängung von Krankabinen erforderlich.

Das Führen von Brückenkränen ist eine verantwortungsvolle Tätigkeit. Beim Transport von Lasten dürfen keine Menschenleben gefährdet werden. Beim Ab- und Aufnehmen von Lasten müssen zum Teil millimetergenaue Manövriertätigkeiten durchgeführt werden. Bei diesen verantwortungsvollen feinmotorischen Steuerleistungen sollten keine zusätzlichen Belastungen des Kranführers durch mechanische Schwingungen auftreten.

Bei Krankabinnen wurde festgestellt, dass durch die Eigenfrequenz der Kranbrücke und ggf. des Kranbauträgers Schwingungen in vertikaler Richtung im Frequenzbereich 1,5 Hz bis 8 Hz auftreten können. Dies trifft aber genau den Bereich der größten Empfindlichkeit des Menschen. In horizontaler Richtung treten Schwingungen durch Lastpendelungen, Anfahren und Bremsen im Bereich 0,4 Hz bis 1 Hz auf, die beim Menschen Kinetosen (z.B. Seekrankheit) hervorrufen können.

Bei Brückenkränen werden mechanische Schwingungen vor allem ausgelöst durch:

- Massenkräfte beim Anfahren und Bremsen
- Lastpendeln
- Pufferstoß
- Schienenunebenheiten
- Radexzentrizitäten
- Anregungen aus Spurführungskräften.

Aufgrund der Vielfalt der Schwingungsquellen erscheint es sinnvoll und wirtschaftlich, passive Isoliermaßnahmen durchzuführen. Hierfür bietet sich eine gefederte und gedämpfte Krankabinenaufhängung an.

Folgende konstruktive Lösungen für elastische Kabinenaufhängungen sind möglich:

- Vierpunkt-Aufhängung mit Gummiverdrehfedern und Schwingungsdämpfer
- Dreipunkt-Aufhängung mit Blattfedern und Schwingungsdämpfern

Bei der Vierpunktaufhängung mit Gummiverdrehfedern (Abb. 5.1) werden die Gummi-Elemente auf Torsion beansprucht. Dieses Federsystem ermöglicht Schwingwege sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung. Schwingungsdämpfer dienen zum Abbau der im Resonanzbereich der Gummifedern auftretenden Amplitudenüberhöhungen.

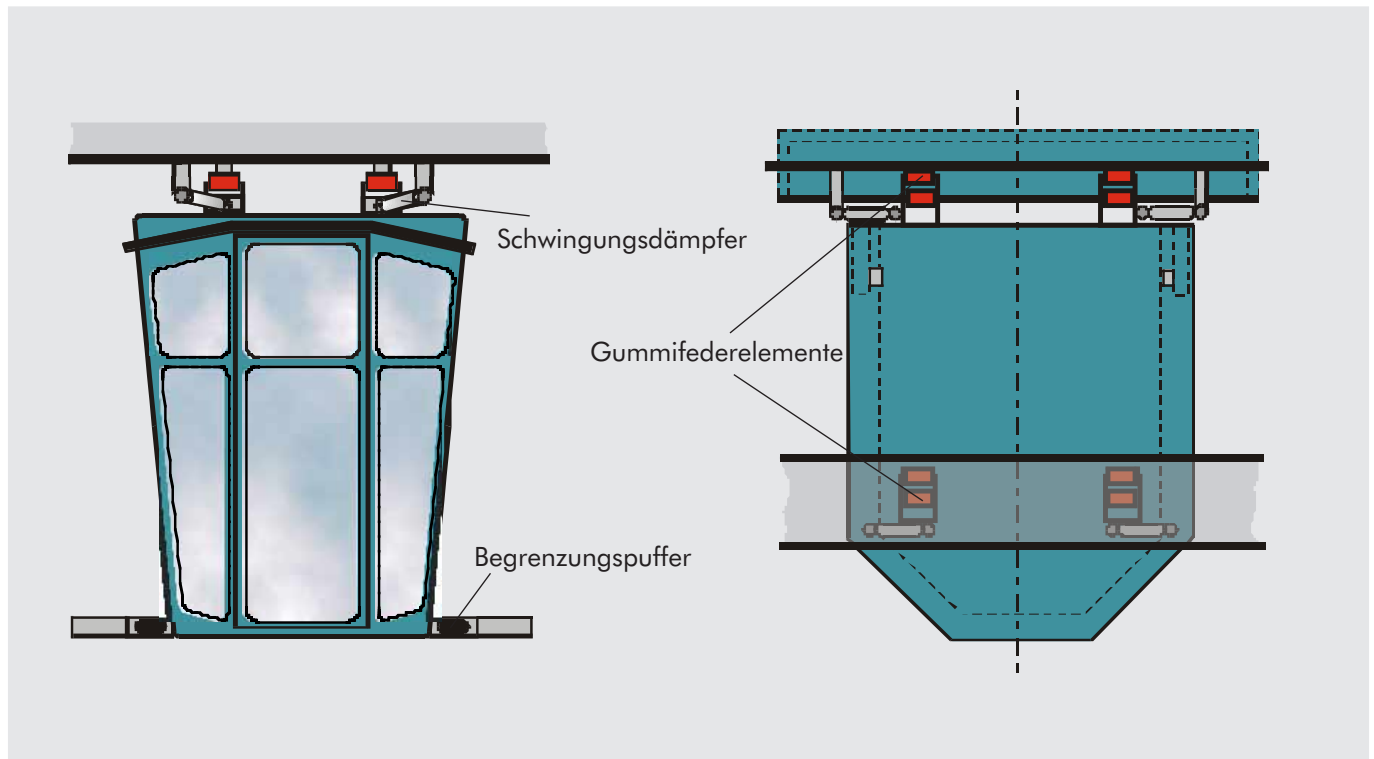


Abb. 5.1 Vierpunkt-Krankkabinaufhängung mit Gummiverdrehfedern und Dämpfern

Bei der Dreipunkt-Kabinaufhängung ist das vordere Lager als Gummigelenk ausgeführt. Die beiden hinteren Aufhängepunkte bestehen aus je einer C-förmigen Einblattfeder mit schräggestellten hydraulischen Schwingungsdämpfern (Abbildung 5.2). Die Eigenfrequenz in vertikaler Richtung beträgt 2,5 Hz und in Kabinenquerrichtung y ca. 1 Hz.

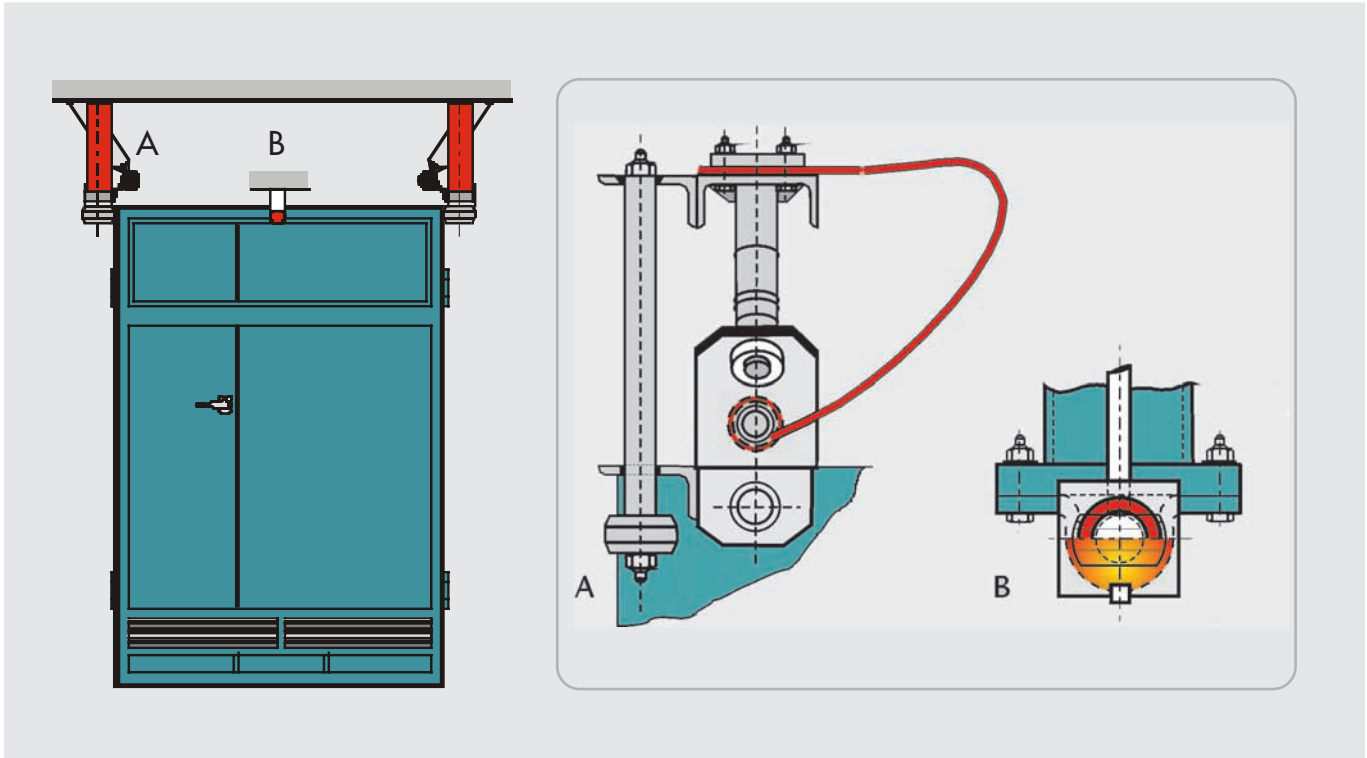
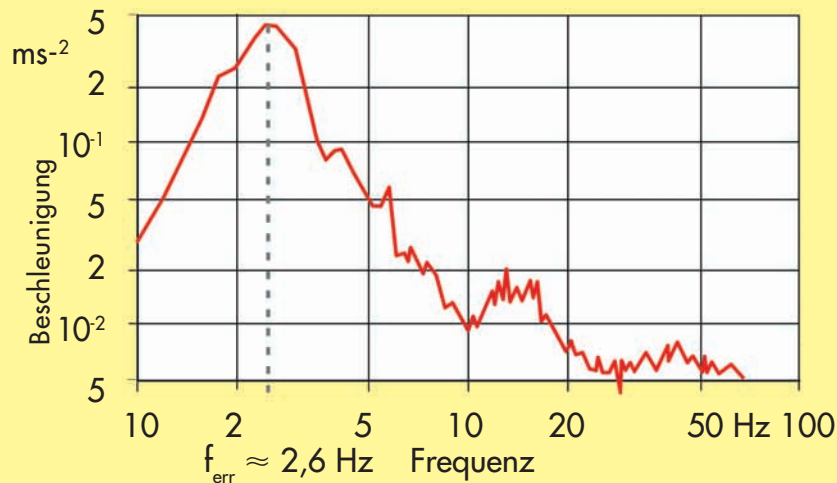


Abb. 5.2 Dreipunkt-Kabinenaufhängung mit Blattfedern und Schwingungsdämpfern

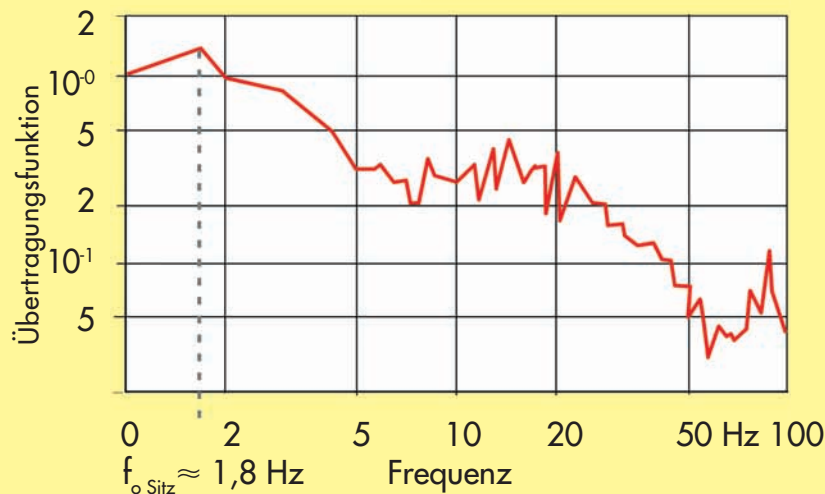
- **Schwingungsisolierende Fahrersitze**
 - **Allgemeine Anforderungen**

Die Eigenfrequenz des auszuwählenden Sitzes sollte möglichst geringer sein, als die Haupterregerfrequenz des Fahrzeugs (Abb. 5.3)

Oft ist diese Forderung schwer zu realisieren (Tab. 5.1). So existieren Schwingsitze, die eine Eigenfrequenz von etwa 1 Hz (mit Toleranzen nach oben und unten) haben. Wenn nun eine Haupterregerfrequenz des Fahrzeugs bei 1,5 Hz liegt, dann ergibt sich ein sehr geringer Abstand zur Eigenfrequenz des Sitzes. Dieser sollte aber in der Praxis mindestens 0,5 Hz betragen.



a) Anregungsspektrum Sitzfußpunkt



b) Übertragungsfunktion V_{Sitz}

Abb. 5.3 Beispiel für die Haupterregerfrequenz f_{err} eines Kleintransporters Multicar am Sitzfußpunkt (a) und die Eigenfrequenz $f_{0 \text{ Sitz}}$ eines Schwingsitzes (b)

Tab. 5.1 Beispiele für Haupterregerfrequenzen am Sitzfußpunktunterschiedlicher Fahrzeuge

Traktor	2 ... 4
Planierraupe	4 ... 5
Radplanierer	1,6 ... 2
Radlader	2 ... 3
Gabelstapler	4 ... 8
Kleintransporter	1,2 ... 2,5
Bus	1,25 ... 2,5
Nutzkraftwagen	1,25 ... 2,5

- **Auswechseln eines Schwingsitzes bzw. Nachrüsten eines Fahrzeugs mit einem schwingungsisolierenden Fahrersitz**
 - Vor dem Auswechseln eines vorhandenen schwingungsisolierenden Fahrersitzes sollte dessen Übertragungsfaktor (Verhältnis der Schwingbeschleunigungen auf dem Sitz und am Sitzfußpunkt) und nach Möglichkeit dessen Übertragungsfunktion (Übertragungsfaktor in Abhängigkeit von der Frequenz) unter Feldbedingungen bestimmt werden.
 - Es sind die Haupterregerfrequenzen des betreffenden Fahrzeugs zu ermitteln.
 - Maßlich geeignete Schwingsitze auswählen.
 - Angaben zu Eigenfrequenz und Übertragungsfunktion der Sitze sammeln.
 - Auswahl eines geeigneten Sitzes anhand der Sitzparameter unter Beachtung der o.g. allgemeinen Anforderungen.
 - Messtechnische Überprüfung des Übertragungsfaktors des ausgewählten Sitzes unter Feldbedingungen.

● Schwingungsisolierung von Handmaschinengriffen

Eine konstruktive Möglichkeit zur Minderung der in das Hand-Arm-System des Geräteführers eingeleiteten Schwingungen ist der Einbau von schwingungsmindernden Haltegriffen. Dabei beruht das Prinzip der Schwingungsisolierung an den Handgriffen darauf, dass zwei als schwingungssteif anzunehmende Massen, das Erregersystem und das Griffsystem, nicht mehr fest, sondern über Feder- und Dämpfungselemente miteinander verbunden sind. Dies bedeutet, den Handgriff durch eine geeignete Abfederung dynamisch soweit als möglich von den Schwingungserregern (Bohrhammergehäuse mit Schlagwerk, Getriebe, Motor usw.) abzukoppeln.

Hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung der Griffabfederung muss besonderer Wert auf eine kompakte Bauweise gelegt werden. Eine Griffabfederung des Bohrhammers durch ein Drehgelenk mit Schrauben- bzw. Gummidrehschubfeder erfüllt (Abb. 5.4) weitgehend diese Forderungen.

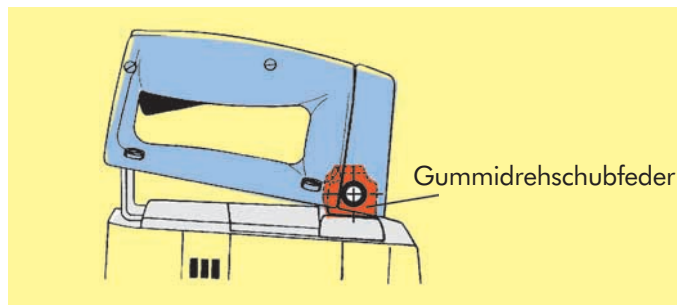


Abb. 5.4 Griffabfederung mittels Gummidrehschubfeder

Bei den Antivibrations-Handgriffen mit Gummidrehschubfeder ist ein platzsparender Einbau in den Griff möglich. Eine solche Feder ist auch in den anderen Messrichtungen geringfügig nachgiebig, so dass es auch in diesen Richtungen zu Schwingungsminderungen kommt.

Die Abstimmung der Eigenfrequenz des Antivibrations-Systems (AV-System) auf die Erregerfrequenz der Handmaschine muss sehr sorgfältig vorgenommen werden. Vor allem ist eine zu niedrige Frequenzabstimmung des Handgriff-Systems zu vermeiden, da sonst das Griffsystem zu "weich" wird und somit eine sichere Führung des Bohrhammers nicht mehr gewährleistet ist. In dieser Hinsicht ist ein Optimum zu suchen.

Eine solche Abstimmung ist allerdings bei Geräten der Gewichtsklasse bis 10 kg nicht einfach, weil

diese Geräte sowohl horizontal als auch vertikal nach oben oder nach unten eingesetzt werden. Hierbei müssen für die Auslegung der Federung die Gewichte der Geräte entsprechend der Schwerkraftwirkung in unterschiedlicher Weise berücksichtigt werden (Arbeitsweise nach unten: ohne Gerätegewicht, nach oben: mit Gerätegewicht, horizontal: mit anteiligem Gerätegewicht).

Für schwere Bohrhämmer bzw. Aufbruchhämmer lässt sich beim Arbeiten nach unten mit schwingungsisolierten Handgriffen gemäß Abbildung 5.5 die Schwingungsbelastung erheblich reduzieren. Durch die starre Verbindung der Haltegriffe mittels einer biege- und torsionssteifen Verbindungsachse wird erreicht, dass die Haltegriffe synchrone Schwingbewegungen ausführen können. Die elastische Lagerung dieser Achse besteht aus zwei Hülsendrehfedern, die zwischen der Verbindungsachse und dem Gehäuse angeordnet sind. Zur Vermeidung harter Endanschläge werden zusätzlich pro Haltegriff zwei Gummipuffer eingebaut.

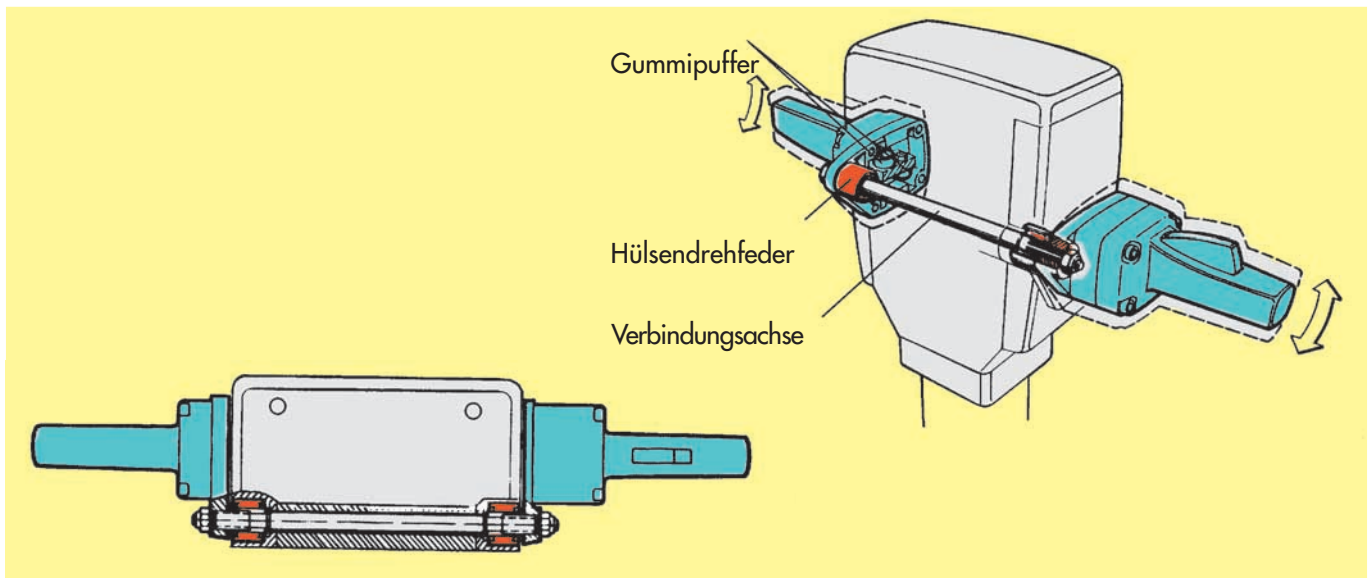


Abb. 5.5 Konstruktiver Aufbau eines AV-Griffsystems an einem elektrischen Aufbruchhammer

● Optimierung von Werkzeugen (Hammerbohrer)

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten haben in letzter Zeit zu einer deutlichen Reduzierung der Schwingungsemission bei Handmaschinen geführt. Ungeklärt ist aber in vielen Fällen, welchen Einfluss das Werkzeug - also z.B. ein Hammerbohrer mit seiner speziellen Schneide - auf die Maschinenschwingungen hat (Abbildung 5.6). Der Einfluss der Schneide von Hammerbohrern auf die Schwingungen am Handgriff von Bohrhämmern wurde in der Vergangenheit nur in Einzelbeispielen ermittelt.

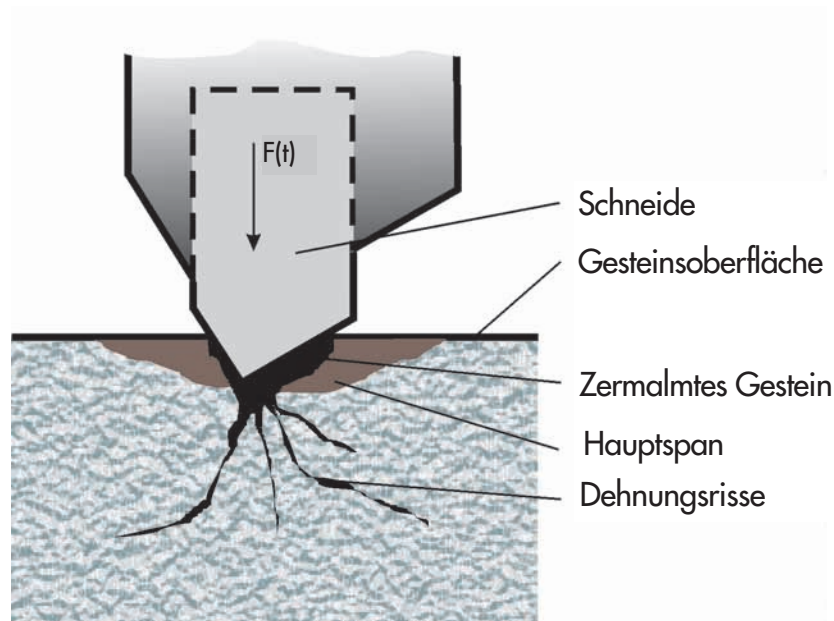


Abb. 5.6 Zertrümmerungsvorgänge im Gestein

Erst im Rahmen eines BAuA-Forschungsprojektes erfolgte eine systematische Untersuchung mit einer breiten Palette von Schneidenformen [14]. Es wurden Konstruktionsprinzipien für optimierte Bohrwerkzeuge abgeleitet, die ohne Verminderung der Bohrleistung im Sinne einer primären Schwingungsschutz-Maßnahme zu einer geringeren Schwingungsbelastung der Bedienpersonen führen.

- **Schwingungsschutz-Handschuhe**

Für die Verminderung der Schwingungsexposition beim Arbeiten mit vibrierenden Handmaschinen wird häufig die Anwendung von Schwingungsschutz-Handschuhen vorgeschlagen. Diese Handschuhe (Abb. 5.7) bestehen aus Leder oder einem stabilen Gewebe und besitzen in der Handinnenfläche und oft auch im Bereich der Finger ein relativ weiches Polster (z.B. Moosgummi oder PUR-Schaum).

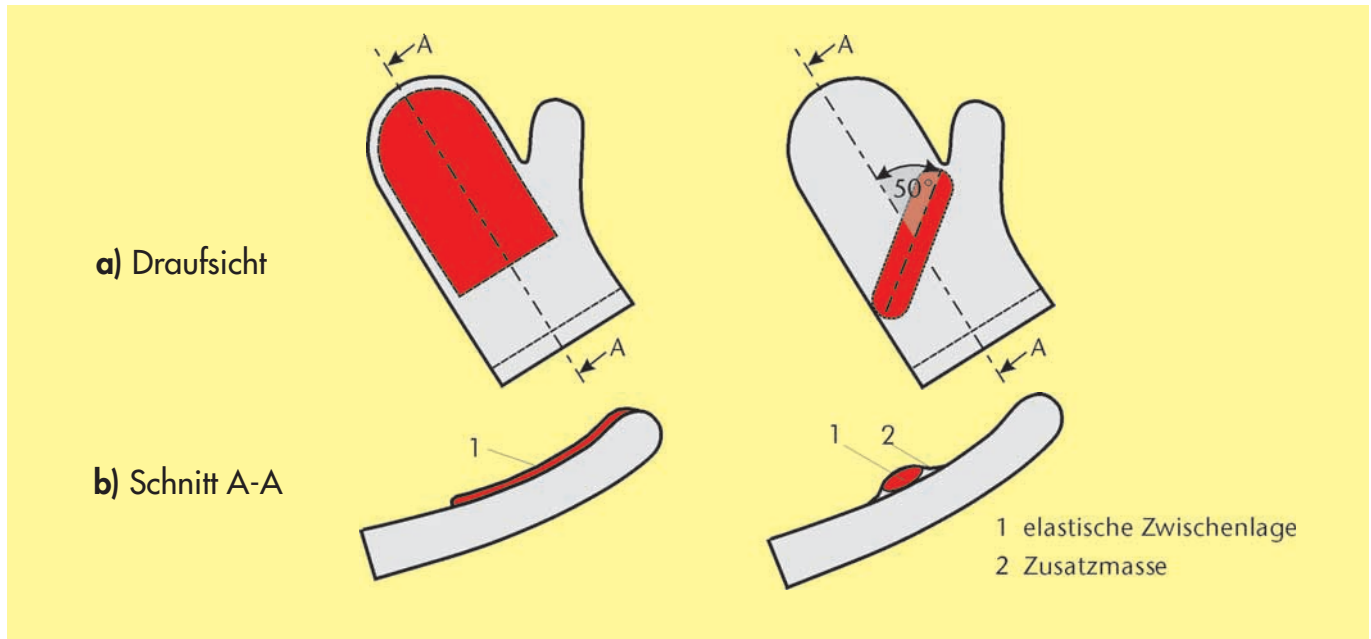


Abb. 5.7 Schwingungsschutz-Handschuhe (Prinzipdarstellung)

Die vorliegenden Untersuchungsergebnissen zeigen, dass die von vibrierenden Maschinen auf das Hand-Arm-System übertragenen Schwingungen erst für Frequenzen $f > 300$ Hz deutlich vermindert werden. Die Haupterregerfrequenzen mit den größten Schwingungsamplituden liegen bei Handmaschinen im Bereich 30 bis 150 Hz. Somit gibt es z.Z. keine Handschuhe, die die Übertragung der tiefen (a_{hw} -Wert bestimmenden) Schwingungskomponenten reduzieren könnten.

- **Anwendung des Prinzips der Trennung von Mensch und Maschine**

Eine einfache Form der Trennung von Mensch und Maschine ist die mechanische Abstützung der Handmaschinen (z.B. Abbauhämmer im Bergbau und Bohrhämmer beim Ausbau, vgl. Abbildung 5.8).

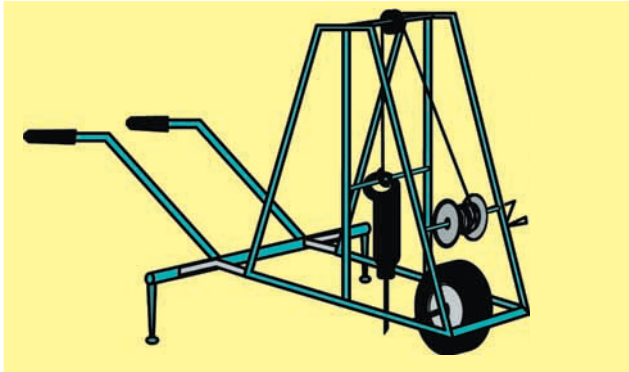


Abb. 5.8 Abstützung eines Bohrhammers beim Bohren von Ankerlöchern



Abb. 5.9 Ferngesteuerte Grabenwalze

Auch die Fernsteuerung von Geräten (z.B. im Tiefbau, Abb. 5.9) verhindert die Schwingungsbelastung der Bedienperson.

- **Schwingungsisolierung als Maßnahme für Maschinen und Bauwerke**

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 ist eine Sekundärmaßnahme des Technischen Schwingungsschutzes (Abb. 1.1).

Die hohe Wirksamkeit und die leicht beherrschbaren Berechnungsmöglichkeiten bewirkten in der Vergangenheit eine sehr breite Anwendung der Schwingungsisolierung. Sie 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 (Abb. 5.10).

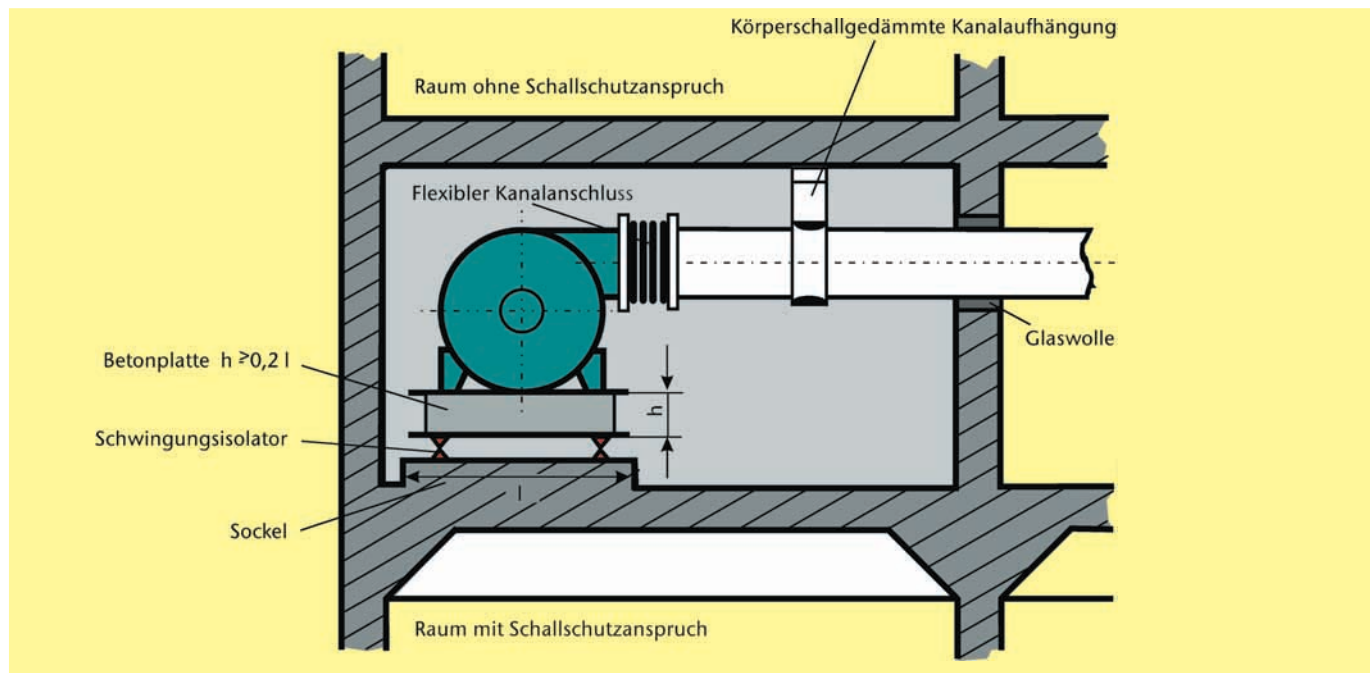


Abb. 5.10 Schwingungs- und Körperschallisolierung eines Radialventilators

Schwingungsbelastung in der Bauwirtschaft

Wird eine Maschine auf einem Fundament aufgestellt, das auf elastischen Elementen gelagert ist, dann handelt es sich im allgemeinen um einen Körper mit sechs Freiheitsgraden (Translation in den drei Raumrichtungen, Rotation um die drei Achsen). Dieser Körper besitzt somit auch sechs Eigenfrequenzen. Im praktischen Fall muss die Schwingungsisolierung so ausgelegt werden, dass es in keinem Fall zur Resonanz kommt. Keine der Erregerfrequenzen darf mit einer der sechs Eigenfrequenz des schwingenden Systems übereinstimmen. Ein praktisches Hilfsmittel für die ordnungsgemäße Auslegung der Schwingungsisolierung von Maschinen ist die in einem Forschungsbericht [15] der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erläuterte und diesem Bericht beigelegte PC-Software (Abb. 5.11). Eine Besonderheit des Rechenprogramms ist die Auswahl der für den Anwendungsfall geeigneten Schwingungsisolatoren aus einer zur Software gehörigen Datenbank.

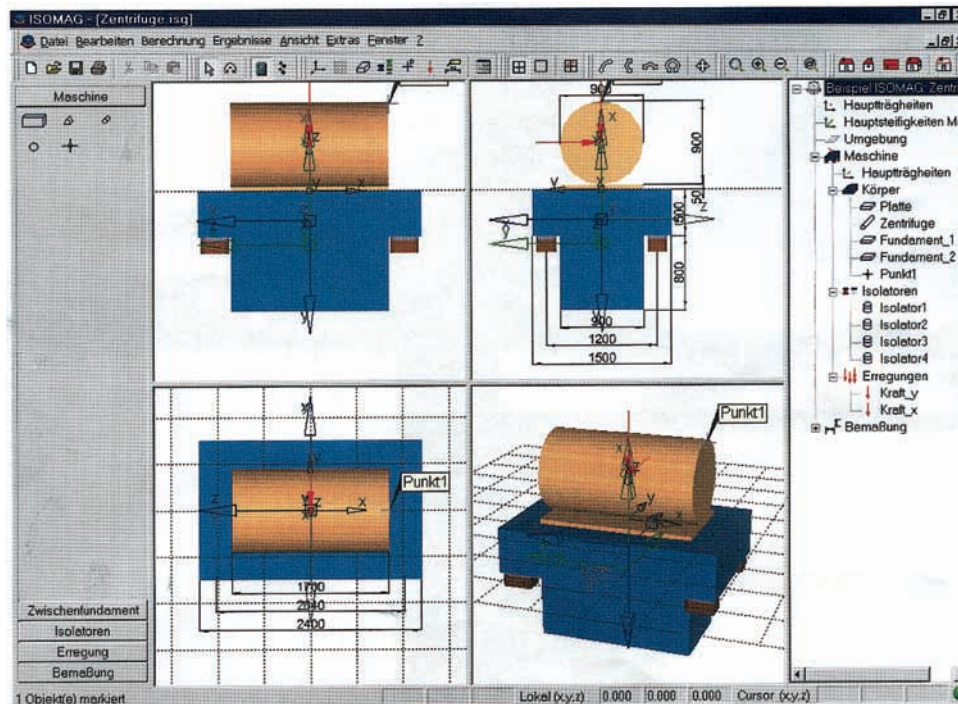


Abb. 5.11 Arbeitsblatt für die PC-Software ISOMAG zur Schwingungsisolierung von Maschinen und Geräten

5.3 Organisatorische Maßnahmen des Schwingungsschutzes

Organisatorischer Schwingungsschutz erfolgt in folgenden Schritten:

- Erkennen wichtiger Schwingungsquellen innerhalb eines Unternehmens
- Reduzierung der Schwingungsbelastung durch Überprüfung der Arbeitsaufgabe, des Werkstückes und des Arbeitsprozesses und deren Neugestaltung (Minimierung der Expositionszeit)
- Festlegung von Auswahlkriterien für schwingungsarme Maschinen, Schwingungsschutz-Systeme und persönliche Schutzausrüstung
- Arbeitstraining der exponierten Personen, um Arbeitsweise mit geringer Schwingungsexposition bei geringster statischer Belastung zu erreichen
- Beseitigung von Einflüssen, die negative Wirkungen der Schwingungen auslösen oder verstärken können (z.B. Unterkühlung, statische Belastungen, untypische Körperbewegungen, Lärmeinwirkung während der Schwingungsexposition)
- Festlegung des Arbeitsablaufs mit einem Wechsel von Schwingungsexposition, Pausen und Tätigkeiten ohne Schwingungsbelastung; Vereinbarung von Maßnahmen zur Überwachung der Dauer der Schwingungseinwirkung (Abb. 5.12).

Beim Bemühen um die Verminderung der Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen ist die Verträglichkeit der ausgewählten Schwingungsschutzmaßnahmen mit der Verringerung und Überwachung anderer Gefährdungen an Arbeitsplätzen zu beachten.

In einem Leitfaden wurden zur Unterstützung von Führungskräften, Betriebsärzten und Fachkräften für Arbeitssicherheit praktikable Maßnahmen zur Verminderung und Überwachung von Gefährdungen, die speziell bei Hand-Arm-Schwingungen auftreten, zusammengestellt [16].

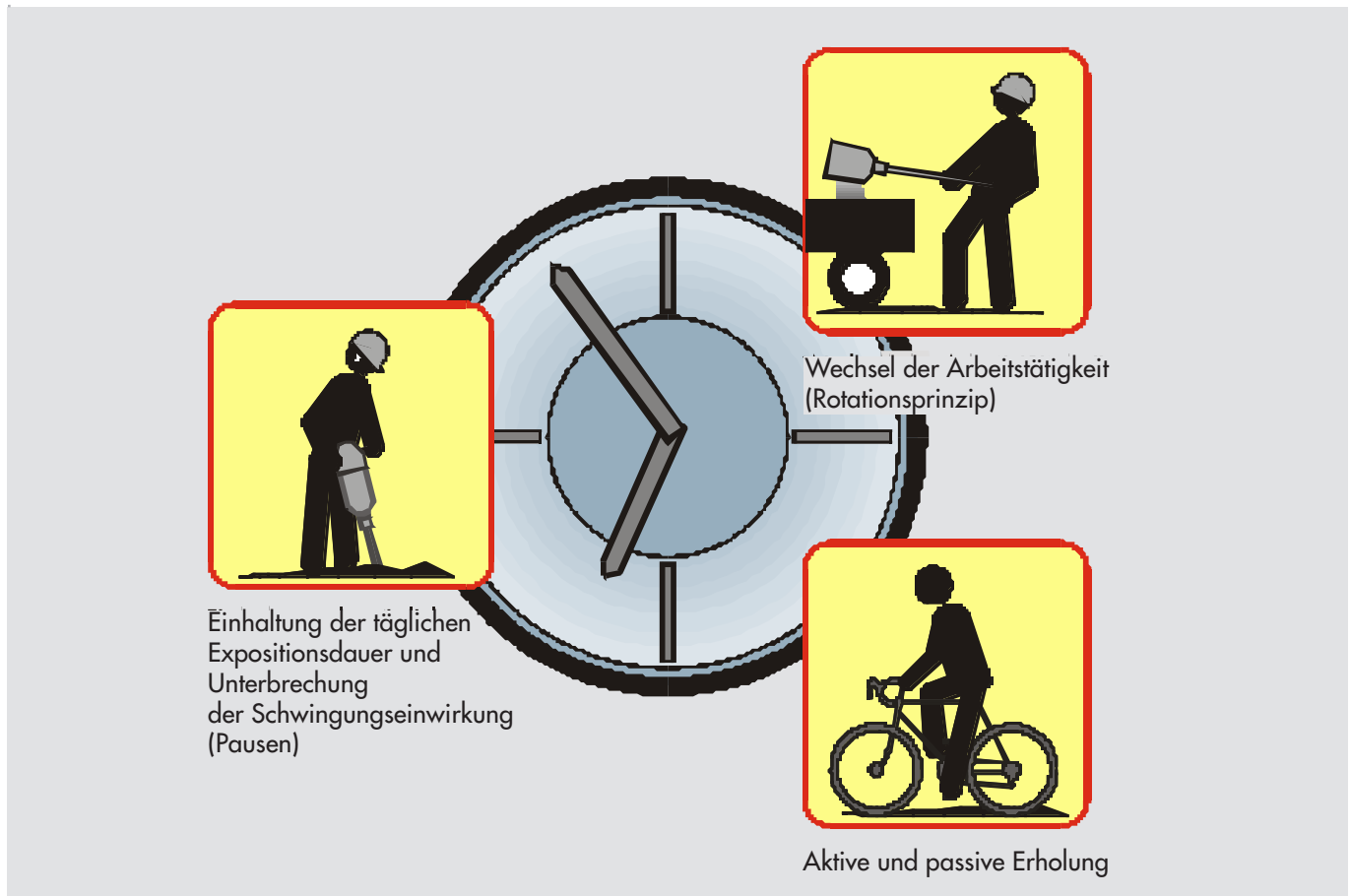


Abb. 5.12 Wechsel der Tätigkeiten während eines Arbeitstages

5.4 Medizinische Maßnahmen

Durch arbeitsmedizinische Einstellungsuntersuchungen sollte vermieden werden, dass vorge-schädigte Personen an Arbeitsplätzen mit starker Schwingungsexposition eingesetzt werden. Durch regelmäßige Überwachungsuntersuchungen sollen Schäden durch Schwingungseinwirkung ver-mieden werden.

Grundlagen für den arbeitsmedizinischen Schwingungsschutz sind folgende Gesetze und Vorschriften:

- Arbeitssicherheitsgesetz ASIG
- Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG)
- Arbeitsmittelbenutzungsverordnung (AMBV)
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)
- UVV Arbeitsmedizinische Vorsorge (VBG 100)
- UVV Betriebsärzte (VBG 112)
- UVV Kraftbetriebene Arbeitsmittel (VBG 5)
- UVV Allgemeine Vorschriften (VBG 1)

6 Literaturverzeichnis

- [1] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen (05/87)
- [2] VDI 2057-1: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Ganzkörperschwingungen (Entwurf 11/99)
- [3] Vibration am Arbeitsplatz; Institut National de Recherche et de Securite (INRS), 1989
- [4] Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), Oktober 1997
- [5] ISO 2631-1: Mechanische Schwingungen und Stöße; Messung und Beurteilung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen (05/97)
- [6] DIN EN ISO 5349-1: Mechanische Schwingungen – Messung und Beurteilung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen, Teil 1: Allgemeine Richtlinien (Entwurf 11/99)
- [7] DIN EN ISO 5349-2: Mechanische Schwingungen – Messung und Beurteilung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen, Teil 2: Praktische Anleitung für die Messung am Arbeitsplatz (Entwurf 11/99)
- [8] DIN EN 30326-1: Mechanische Schwingungen; Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen von Fahrzeugsitzen; Teil 1: Grundlegende Anforderungen (06/94)
- [9] Neunte Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (Verordnung für das Inverkehrbringen von Maschinen – Maschinenverordnung – 9. GSGV) vom 12. Mai 1993
- [10] DIN EN ISO 8662, Blätter 1 bis 14: Handgehaltene motorgetriebene Maschinen; Messung mechanischer Schwingungen am Handgriff
- [11] DIN EN 50144, Blätter 1 bis 18: Sicherheit handgeführter motorbetriebener Elektrowerkzeuge

- [12] pr EN 1032: Mechanische Schwingungen; Prüfverfahren für bewegliche Maschinen zur Bestimmung des Schwingungsemissionswertes (Entwurf 03/00)
- [13] Kinne, J.: Organisatorischer Schwingungsschutz durch Auswahl schwingungsarmer Handmaschinen; Arbeitsschutz aktuell, Heft 5/98, S. 171-174
- [14] Weinert, K.; Gillmeister, F.; Michel, O.: Verminderung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems durch Optimierung von Schlag- und Hammerbohrern. Schriftenreihe der BAuA, Bericht Fb 721, Dortmund 1995
- [15] Uhlig, A.; Schreiber, U.; Blochwitz, T.: ISOMAG - Software für die optimale Schwingungsisolierung von Maschinen und Geräten. Schriftenreihe der BAuA, Bericht Fb 908, Dortmund/Berlin 2001
- [16] DIN V 45695: Hand-Arm-Schwingungen – Leitfaden zur Verringerung der Gefährdungen durch Schwingungen – Technische und organisatorische Maßnahmen (04/96)
- [17] VDI 2057-2: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Hand-Arm-Schwingungen (Entwurf 06/00)



**Bundesanstalt für
Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin**