

**robotron**



**Schwingungsmessungen  
in Arbeitsschutz  
und Arbeitshygiene**

## Auswirkungen mechanischer Schwingungen

Mechanische Schwingungen können unterschiedliche Wirkungen hervorrufen:

- sie können bestimmte technologische Prozesse (Zerkleinern, Sieben, Transportieren) fördern oder überhaupt erst ermöglichen;
- sie können aber auch zu Brüchen und erhöhtem Verschleiß von Maschinenteilen und damit zu Havarien von Maschinen führen oder ungünstige Auswirkungen auf die Umwelt haben (bis hin zum Einsturz von Gebäuden);
- sie können den Menschen in seinem Wohlbefinden und in seinem Arbeitsvermögen beeinträchtigen oder ihn sogar gesundheitlich gefährden.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht der durch mechanische Schwingungen möglichen unmittelbaren und mittelbaren Gefährdungen des Menschen [1].

Die Unterteilung des Frequenzbereiches mechanischer Schwingungen in spürbare Schwingungen und Körperschall (hörbare Schwingungen) soll ver-

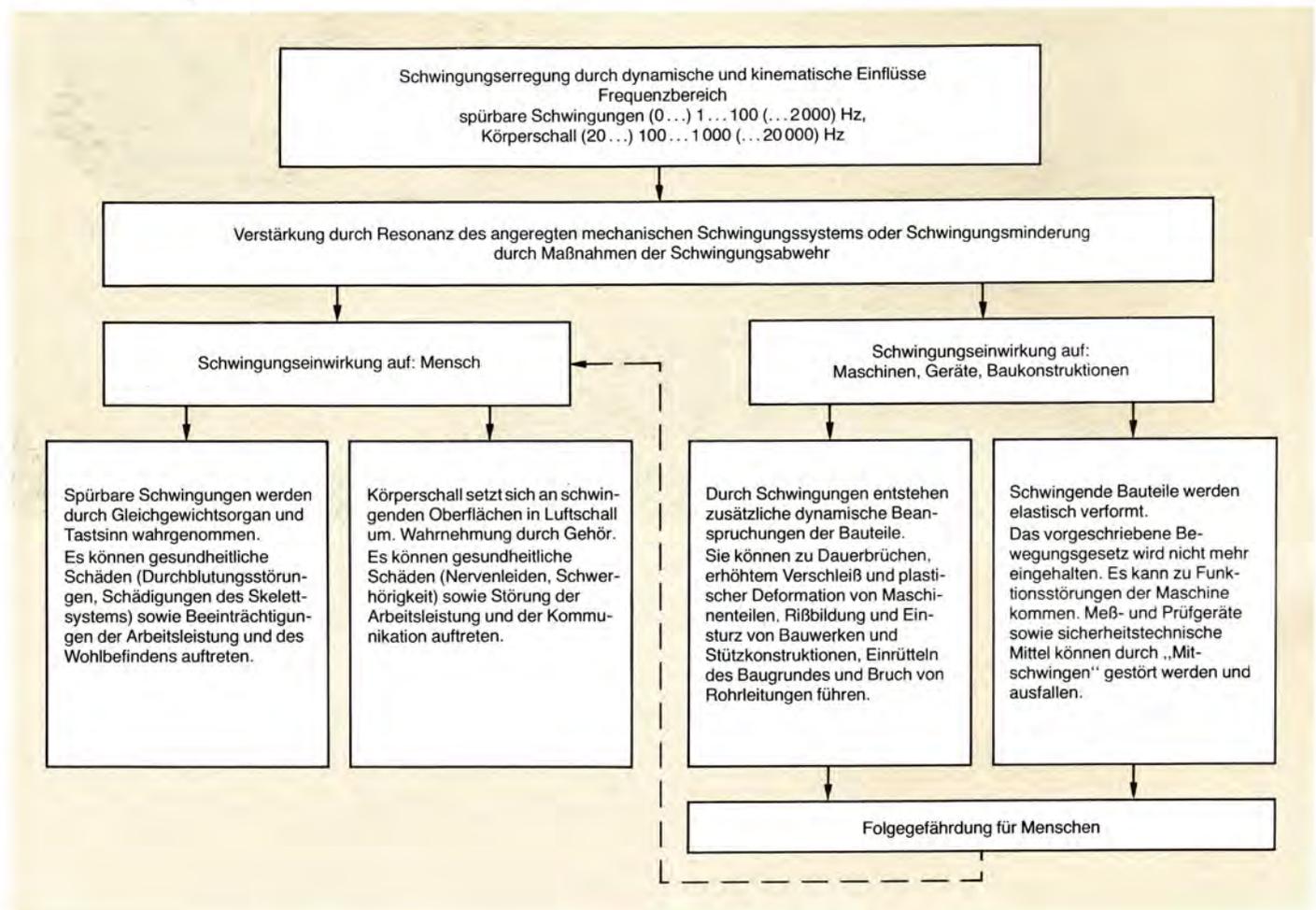
deutlichen, daß für unterschiedliche Einwirkungskategorien unterschiedliche, wenn auch einander überlappende Frequenzbereiche charakteristisch sind. Der Körperschall selbst ist für den Menschen nicht belästigend und schädigend, jedoch kann der von schwingenden Strukturen abgestrahlte Luftschall bei Überschreitung der zulässigen Grenzwerte (in der DDR TGL 32 624/39 617) negative Auswirkungen auf den Menschen haben. Für die Messung von Luft- und Körperschall stellt der VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden ein breites Sortiment von Meßgeräten her. Ihre Anwendung wird in anderen Applikationschriften beschrieben. Im folgenden wird vorrangig die Messung und Bewertung der spürbaren Schwingungen weiter betrachtet.

Der Arbeitsschutz umfaßt die gesellschaftlichen Forderungen einschließlich des Systems der Rechtsvorschriften zur Gewährleistung von Bedingungen des Arbeitsprozesses, die der Erhaltung der Gesundheit und der Förderung der Lei-

stungsfähigkeit des Menschen dienen, sowie die entsprechenden Maßnahmen, Mittel und Methoden zur Verwirklichung dieser Forderungen. Der Arbeitsschutz trägt zum Schutz vor Schäden durch Brände und Havarien bei.

(Definition nach TGL 30 001)

Tabelle 1  
Gefährdende und belästigende Einwirkungen mechanischer Schwingungen und ihre Auswirkungen



## Nachweis der Zulässigkeit mechanischer Schwingungen

Die Verantwortung für die Einhaltung von Grenzwerten mechanischer Schwingungen an Arbeitsplätzen, Arbeitsmitteln und bei Arbeitsverfahren tragen

- der Maschinenhersteller oder der Projektant (in der DDR aufgrund der Schutzgüterverordnung [2]);
- der Betreiber oder Anwender und zu dessen Unterstützung die Organe des Betriebsgesundheitswesens (in der DDR aufgrund von Verordnungen des Ministeriums für Gesundheitswesen [3], [4]).

Der Nachweis der Einhaltung zulässiger Grenzwerte kann

- rechnerisch (im Konstruktions- oder Projektierungsstadium) oder
- meßtechnisch (an Funktionsmustern oder ausgeführten Anlagen)

erfolgen. Der rechnerische Nachweis setzt genaue Kenntnis des Schwingungsverhaltens des Arbeitsmittels (gegebenenfalls in Zusammenhang mit der Stützkonstruktion) sowie der Schwingungserregung voraus. Diese Angaben sind jedoch in den meisten Fällen nicht verfügbar.

Der VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden bietet zusammen mit Kooperationspartnern ein umfassendes System von Meßgeräten zum Nachweis der Schwingungserregung durch Maschinen und der Schwingungsexposition des Menschen am Arbeitsplatz an. Es ist die Aufgabe des Maschinenherstellers oder Projektanten, gefahrungsfreie Arbeitsmittel herzustellen bzw. gefahrungsfreie Arbeitsplätze oder Arbeitsverfahren zu gestalten. Ist das gegenwärtig technisch noch unmöglich, dann ist die tatsächliche Schwingungsexposition des Menschen in den Maschinen- oder Arbeitsplatzunterlagen anzugeben.

Arbeitshygienische Nachweise können bei Überschreitung der zulässigen Grenzwerte Forderungen enthalten, die die Anwendung kollektiver oder individueller Schutzmittel (z. B. Schwingensitze für Bedienpersonen selbstfahrender Arbeitsmittel oder Vibrations-Schutzhandschuhe für Bedienpersonen handgeführter Arbeitsmittel mit Vibrations- oder Schlagwirkung) oder die Begrenzung der täglichen zulässigen Arbeitszeit vorschreiben.

## Die Schwingungsexposition des Menschen am Arbeitsplatz<sup>\*)</sup>

Die Schwingungseinwirkung auf den Menschen kann durch direkten Kontakt mit dem Schwingungserreger (der Mensch ist Bedienperson von selbstfahrenden oder handgeführten Arbeitsmitteln) oder auch auf indirektem Wege (Schwingungserreger und Mensch befinden sich auf derselben Stützkonstruktion) erfolgen.

Es wird unterschieden zwischen Ganzkörper-Schwingungen und Teilkörper-Schwingungen (Hand-Arm-Schwingungen).

Überschreitet die Schwingungseinwirkung für eine der beiden Kategorien die arbeitshygienisch zulässigen Grenzwerte, so kann es zu folgenden gesundheitlichen Schäden kommen:

**Ganzkörperschwingung:**

- Schädigung des peripheren Nervensystems, insbesondere des Gleichgewichtsorgans;
- Schädigungen des Stütz- und Bewegungsapparates, insbesondere im Bereich der Wirbelsäule und der unteren Extremitäten;
- nervöse oder organische Beeinträchtigungen der Funktion innerer Organe, insbesondere im Magen-Darm-Trakt und im Genitalsystem.

<sup>\*)</sup> Spürbare Schwingungen – im Sinne von Schwingungsbewegungen – werden in jüngster Zeit häufig als Vibration bezeichnet. Insbesondere hat sich für die Schwingungseinwirkung auf den Menschen der Begriff „Vibrationsexposition des Menschen“ eingebürgert.

**Teilkörperschwingung:**

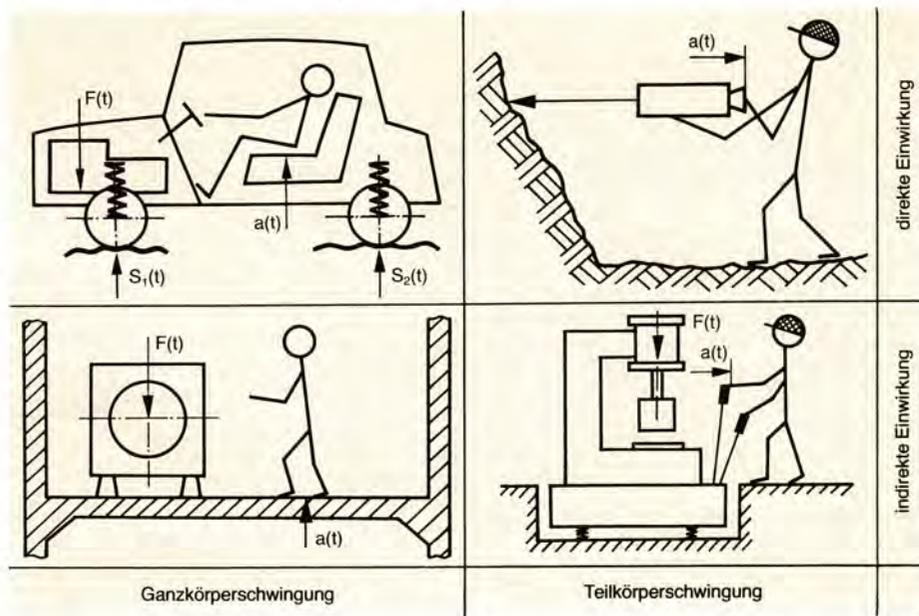
- Durchblutungsstörungen in den peripheren Gefäßen;
- Schädigungen des peripheren Nervensystems, insbesondere der Berührungsezeptoren im Handbereich;
- Schädigungen der Muskel- und Knorpelgewebe sowie der Gelenke im Hand-, Ellenbogen- und Schulterbereich.

Für die Einwirkung von Teilkörperschwingungen ist der Zusammenhang zwischen der Intensität der Schwingungsexposition und dem Auftreten gesundheitlicher Schäden quantitativ bereits viel besser geklärt als bei Ganzkörperschwingungen.

Erkrankungen durch Teilkörper-Schwingungsexposition werden in den meisten Industrieländern bereits seit Jahrzehnten als Berufskrankheit anerkannt und spielen aufgrund der Häufigkeit ihres Auftretens epidemiologisch eine bedeutsame Rolle.

In der DDR werden Schädigungen des Hand-Arm-Systems durch Einwirkung von Teilkörperschwingungen als „Vibrationskrankheit“ nach Nr. 54 der Liste der Berufskrankheiten [4] anerkannt, registriert und entschädigt.

Bild 2  
Arten der Schwingungseinwirkung auf den Menschen



# Arbeitshygienische und ergonomische Begrenzung der Schwingungseinwirkung am Arbeitsplatz

Für den Nachweis der Einhaltung arbeitshygienischer Grenzwerte sind drei Gruppen von Standards mit verbindlichem oder empfehlendem Charakter maßgebend:

**Nationale Standards**  
(z. B. TGL als Staatliche Standards der DDR)

**RGW-Standards**  
(Standards des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe)

**ISO-Standards**  
(Standards der Internationalen Standardisierungsorganisation)

Dabei sind in der DDR TGL-Standards im Rahmen des jeweiligen Verbindlichkeitsvermerkes als gesetzliche Festlegungen anzuwenden.

Dasselbe gilt bei RGW-Standards für die Teilnehmerländer eines jeden Standards im internationalen Warenaustausch und bei der internationalen wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit im Rahmen des RGW. Häufig werden die RGW-Standards – teilweise mit geringen Veränderungen – von den Teilnehmerländern als nationale Standards übernommen.

ISO-Standards stellen für die Mitgliedsländer der ISO Empfehlungen sowohl für den internationalen Warenaustausch und die wissenschaftlich-techni-

sche Zusammenarbeit als auch für die Ausarbeitung nationaler Standards dar. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der gegenwärtig gültigen oder in Vorbereitung befindlichen Standards. Eine schnelle Weiterentwicklung (insbesondere Ersatz von TGL durch TGL-RGW und Ausarbeitung und Bestätigung neuer RGW-Standards) ist zu erwarten. Alle genannten Standards gelten nur für stationäre (zeitlich unveränderliche) Schwingungen. Stöße und Impulse bleiben von der Bewertung gegenwärtig ausgenommen.

Der Humanschwingungsmesser robotron M 1300 und der Schwingungsmesser 00 042 des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden gestatten die Messung und Bewertung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen nach den in Tabelle 2 angeführten Standards.

# Kriterien für die Bewertung der Schwingungseinwirkung am Arbeitsplatz

Bei der Bewertung der Schwingungseinwirkung am Arbeitsplatz sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- spektrale Zusammensetzung (Frequenzbewertung)
- Intensität
- Wirkungsrichtung
- Anforderung an die Bedienperson (Arbeitsplatzkategorie)
- Einwirkdauer (Zeitbewertung)

Die Bewertung der Schwingungsexposition muß in jedem Fall unabhängig voneinander für alle drei Wirkungsrichtungen erfolgen (Bezeichnung der Koordinatenachsen nach Bild 3), wobei häufig eine Wirkungsrichtung deutlich überwiegt.

Es werden zwei Möglichkeiten der Frequenzbewertung unterschieden:

- integrale Frequenzbewertung (Beurteilung eines frequenzbewerteten Gesamtwertes der Schwingungseinwirkung)
- spektrale Frequenzbewertung (Zerlegung der Schwingungseinwirkung in einzelne Frequenzbänder)

Die integrale Frequenzbewertung erfolgt entweder rechnerisch aus dem Bandpaß-Spektrum nach der Formel

$$\tilde{a}_b = \sqrt{\sum \tilde{a}_i^2 \cdot w_i^2} \quad (1)$$

$\tilde{a}_i$  = Effektivwert der gefilterten Meßgröße für jedes Frequenzband  $i$  und  $w_i$  = Bewertungsfaktor für das Frequenzband  $i$  entsprechend den Angaben des jeweiligen Standards

oder durch Verwendung der elektrischen Bewertungsnetzwerke entsprechend TGL 39 939 und ST RGW 01.676.07-78 (abgestimmter Entwurf), die in den Schwingungsmessern robotron M 1300 und 00 042 eingebaut sind. Die Frequenzbewertung dieser Netzwerke entspricht den Bewertungsfaktoren  $w_i$ .

Der frequenzbewertete Gesamtwert wird mit einem Grenzwert verglichen. Die Exposition ist zulässig, wenn gilt:

$$\tilde{a}_b \leq \tilde{a}_{b\text{zul}} \quad (2)$$

Bei der spektralen Frequenzbewertung ist die Aufnahme des Spektrums mit Hilfe eines umschaltbaren Bandpaßfilters (Terz-, Oktavfilter) oder einer Parallelfilterbank (Echtzeitanalysator) erforderlich. Danach wird der Effektivwert  $a_i$  für jedes Frequenzband  $i$  mit einem frequenzabhängigen Grenzwert verglichen. Die Exposition ist zulässig, wenn für alle Frequenzbänder gilt:

$$\tilde{a}_i \leq \tilde{a}_{i\text{zul}} \quad (3)$$

Tabelle 2  
Zur Zeit gültige Standards auf dem Gebiet der Messung und Bewertung mechanischer Schwingungen in Arbeitsschutz bzw. Arbeitshygiene

	Arbeitshygienische Messungen			Abnahmemessungen für Hersteller handgeführter Arbeitsmittel	
	Grenzwerte für Ganzkörper-Schwingungen	Grenzwerte für Teilkörper-Schwingungen	Meßvorschriften bzw. Forderungen an die Meßgeräte	Grenzwerte	Meßvorschriften
DDR	TGL 32 627 32 628/01 32 629 [5]	TGL 32 627 32 628/02 32 629 [5]	TGL 32 629 39 939	TGL RGW 715-77 [10]	TGL RGW 716-77 [11]
RGW	ST RGW 1932-79 [6]	ST RGW 2602-80 [7]	ST RGW 1931-79/12/ ST RGW- Entwurf 01.676.07-78 [13]	ST RGW 715-77 [10]	ST RGW 716-77 [11]
ISO	ISO-Standard 2631-1985 [8]	ISO-Standard- Entwurf 5349 [9]			

Für die Zeitbewertung werden folgende Fälle unterschieden:

- Schwingungseinwirkung mit konstanter oder nahezu konstanter Intensität  $\tilde{a}$  während der Einwirkdauer T
- Schwingungseinwirkung mit schwankender Intensität  $\tilde{a}(t)$

Im Falle der Schwingungseinwirkung mit konstanter Intensität während einer Einwirkdauer T erfolgt die Beurteilung der Zulässigkeit nach (2) oder (3), wobei  $\tilde{a}_{b,zul}$  bzw.  $\tilde{a}_{i,zul}$  von der Einwirkdauer T abhängen. Diese Abhängigkeit ist im jeweiligen Standard angegeben.

Setzt sich die Gesamt-Schwingungseinwirkung aus mehreren, durch bestimmte Betriebszustände des Arbeitsmittels gekennzeichneten Intervallen  $T_k$  mit unterschiedlicher frequenzbewerteter Schwingungsintensität  $\tilde{a}_{b,k}$  zusammen, so kann für jedes  $\tilde{a}_{b,k}$  die zulässige Einwirkdauer  $T_{k,zul}$  dem Standard entnommen und die Zulässigkeit der Schwingungseinwirkung danach bestimmt werden, ob die Bedingung

$$\sum_k \frac{T_k}{T_{k,zul}} \leq 1 \quad (4)$$

eingehalten wird.

Für unregelmäßig schwankende Schwingungseinwirkung werden im Abschnitt 7 Hinweise für Messung und Bewertung gegeben.

Folgt die Zeitabhängigkeit des Grenzwertes der Schwingungseinwirkung der Summation der auf den menschlichen Körper übertragenen Schwingungsenergie (Dosisprinzip), gilt die Formel

$$\tilde{a}_{zul,T} = \tilde{a}_{zul(480\text{ min})} \cdot \sqrt{\frac{480}{T}} \quad (5)$$

mit T als Einwirkdauer in Minuten.

Bei schwankender Schwingungseinwirkung läßt sich in diesem Falle ein Gesamtwert nach

$$\tilde{a}_T = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \tilde{a}^2(t) dt} \quad (6)$$

bilden, wobei T die Gesamteinwirkdauer pro Tag ist. Die Beurteilung der Zulässigkeit erfolgt nach (2) oder (3) durch Vergleich mit dem für die Dauer T gültigen Grenzwert entsprechend der Festlegung des anzuwendenden Standards. Bei Gültigkeit des Dosisprinzips führen der Vergleich mit der zulässigen Einwirkdauer nach (4) und die Bildung des Gesamtwertes nach (6) einschließlich Vergleich mit dem zulässigen Wert nach (5) zur gleichen Aussage.

Grundsätzlich bietet die integrale Frequenzbewertung günstigere Möglichkeiten zur Erfassung und Bewertung zeitlich schwankender Vorgänge, da nur eine einzelne Größe und nicht ein

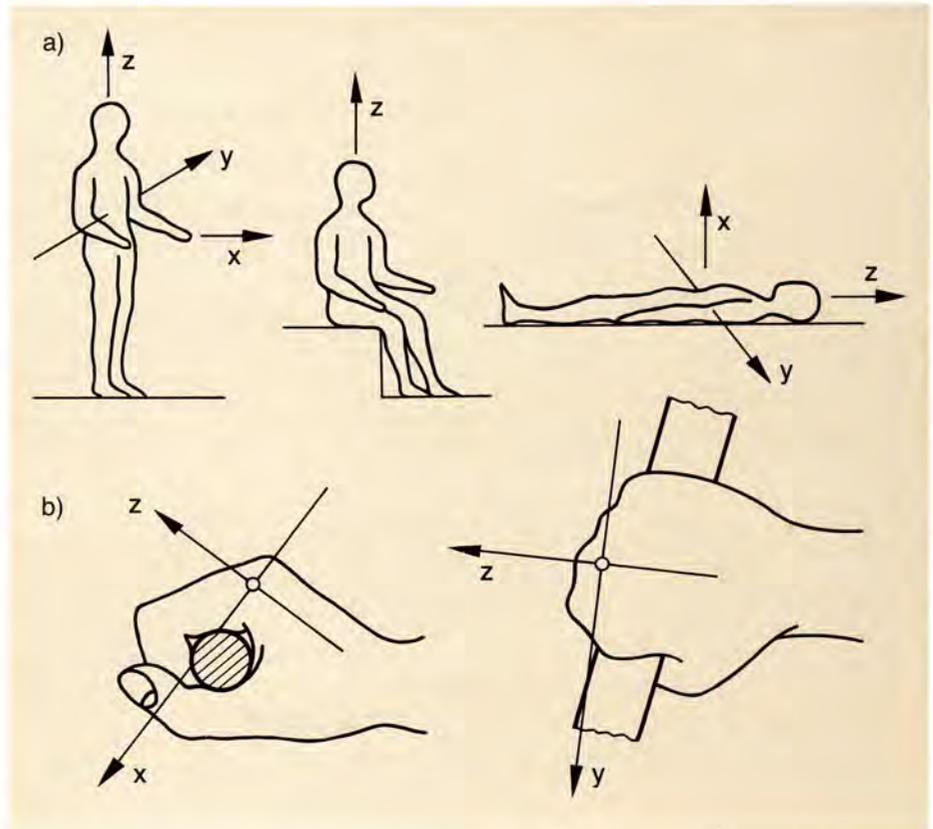


Bild 3

Koordinatensystem für die Einwirkungsrichtungen von Ganzkörperschwingungen (a) und Teilkörperschwingungen (b) auf den menschlichen Körper

ganzes Spektrum als Funktion der Zeit zu verfolgen ist. Die spektrale Frequenzbewertung liefert dem Fachmann dagegen sofort eine Aussage über Ursachen der Schwingungseinwirkung und mögliche Gegenmaßnahmen. Die Festlegung der in Tabelle 2 zusammengestellten Standards sind nicht ganz einheitlich; deshalb ist es erforderlich, die einzelnen Standards und ihre Forderungen an die Bewertung nachfolgend getrennt zu behandeln.

### Bewertung von Ganzkörperschwingungen nach TGL [5]

Meßgröße:

Effektivwert der Schwingbeschleunigung

$\tilde{a}$  in  $m \cdot s^{-2}$

Frequenzbereich:

1 Hz bis 90 Hz

Frequenzbewertung:

Integrale Frequenzbewertung entweder rechnerisch nach (1) mit Bewertungsfaktoren  $w_i$  nach Tabelle 3 (abhängig von der Wirkungsrichtung) oder mittels elektrischem Bewertungsnetzwerk nach TGL 39 939 (Schwingungsmeßgeräte robotron M 1300 und 00 042 : Schalteinrichtungen GKS<sub>z</sub> und GKS<sub>xy</sub>).

Grenzwerte:

$\tilde{a}_{b,zul}$  siehe Tabelle 4 in Abhängigkeit von der Einwirkdauer, der Einwirkrichtung und der Arbeitsplatzkategorie. Die Arbeitsplatzkategorien haben folgende Bedeutung:

Kategorie 1:

Erträglichkeitsgrenze (bei Überschreitung sind Gesundheitsschäden wahrscheinlich)

Kategorie 2:

Grenze verminderter Aufmerksamkeit und Leistung (gültig z. B. für das Führen von Fahrzeugen)

Kategorie 3:

Behaglichkeitsgrenze (gültig z. B. für Büroräume)

Kategorie 4:

Grenze der Konzentrationsfähigkeit (gültig z. B. für wissenschaftliche Tätigkeit)

Zeitbewertung:

Aus Tabelle 4 folgt, daß das Dosisprinzip im Bereich zwischen  $T = 10$  min und  $T = 480$  min gilt. Es sind die Formeln (5) und (6) anzuwenden. Bei kürzeren täglichen Einwirkzeiten als 10 min ist der Grenzwert für  $T = 10$  min nicht zu überschreiten.

Tabelle 3  
Bewertungsfaktoren  
für Ganzkörperschwingungen zur  
Bestimmung der frequenzbewerteten  
Schwingbeschleunigung  
nach TGL 39 939

Mittelfrequenz des Filterbandes Hz	Bewertungsfaktor $w_i$ in der Richtung	
	xy	z
$\leq 0,125$	$\leq 0,125$	$\leq 0,063$
0,50	0,50	0,25
0,63	0,63	0,315
0,8	0,80	0,40
1,0	1,0	0,50
1,25	1,0	0,56
1,6	1,0	0,63
2,0	1,0	0,71
2,5	0,80	0,80
3,15	0,63	0,89
4,0	0,50	1,0
5,0	0,40	1,0
6,3	0,315	1,0
8,0	0,25	1,0
10,0	0,20	0,80
12,5	0,16	0,63
16,0	0,125	0,50
20,0	0,10	0,40
25,0	0,08	0,315
31,0	0,063	0,25
40,0	0,05	0,20
50,0	0,04	0,16
63,0	0,0315	0,125
80,0	0,025	0,10
100,0	0,016	0,063
125,0	0,01	0,04
160,0	0,0063	0,025
$\geq 400,0$	$\leq 0,001$	$\leq 0,0040$

Tabelle 4  
Zulässige frequenzbewertete Schwingbeschleunigungen für Ganzkörperschwingungen  
nach TGL 32 627

Einwirk- dauer	Zulässige Werte der Schwingbeschleunigung in $m \cdot s^{-2}$ für Arbeitsplatzkategorie							
	1 $\tilde{a}_{bz}$	2 $\tilde{a}_{bx}, \tilde{a}_{by}$	3 $\tilde{a}_{bz}$	4 $\tilde{a}_{bx}, \tilde{a}_{by}$	5 $\tilde{a}_{bz}$	6 $\tilde{a}_{bx}, \tilde{a}_{by}$	7 $\tilde{a}_{bz}$	8 $\tilde{a}_{bx}, \tilde{a}_{by}$
1 min	3,74	2,63	1,87	1,32	0,62	0,42		
10 min	3,74	2,63	1,87	1,32	0,62	0,42		
30 min	2,16	1,52	1,08	0,76	0,36	0,24	0,05	0,035
1 h	1,53	1,07	0,76	0,54	0,25	0,17	ohne Zeit- begrenzung	
2 h	1,08	0,76	0,54	0,38	0,18	0,12		
4 h	0,76	0,54	0,38	0,27	0,13	0,08		
8 h	0,54	0,38	0,27	0,19	0,09	0,06		

### Bewertung von Teilkörperschwingungen nach TGL [5]

Meßgröße:

Effektivwert der Schwingbeschleunigung

Frequenzbereich: 2,8 Hz bis 2800 Hz

Frequenzbewertung:

Integrale Frequenzbewertung entweder rechnerisch nach (1) mit Bewertungsfaktoren  $w_i$  nach Tabelle 5 oder mittels elektrischem Bewertungsnetzwerk nach TGL 39 939 (Schwingungsmeßgeräte robotron M 1300 und 00 042 : Schalterstellung TKS).

Grenzwerte:

$\tilde{a}_{b,zul}$  siehe Tabelle 6 in Abhängigkeit von der Einwirkdauer. Keine Unterscheidung unterschiedlicher Einwirkrichtungen und Arbeitsplatzkategorien.

Zeitbewertung:  
Aus Tabelle 6 folgt, daß das Dosisprinzip im Bereich zwischen  $T = 10$  min und  $T = 480$  min gilt. Es sind die Formeln (5) und (6) anzuwenden. Bei kürzeren täglichen Einwirkzeiten als 10 min ist der Grenzwert für  $T = 10$  min nicht zu überschreiten.

Tabelle 6  
Zulässige frequenzbewertete Schwingbeschleunigungen für Teilkörperschwingungen  
nach TGL 32 628/02

Einwirk- dauer	Zulässiger Wert der Schwingbeschleunigung $\tilde{a}_{b,zul} m \cdot s^{-2}$
2 min	34,6
10 min	34,6
30 min	20,0
1 h	14,1
2 h	10,0
4 h	7,1
8 h	5,0

Tabelle 5  
Bewertungsfaktoren  
für Teilkörperschwingungen zur  
Bestimmung der frequenzbewerteten  
Schwingbeschleunigung  
nach TGL 39 939

Mittelfrequenz des Filterbandes Hz	Bewertungsfaktor $w_i$
$\leq 0,8$	0,016
4,0	0,40
5,0	0,63
6,3	0,80
8	1,0
10	1,0
12,5	1,0
16	1,0
20	0,80
25	0,63
31,5	0,50
40	0,40
50	0,315
63	0,25
80	0,20
100	0,16
125	0,125
160	0,10
200	0,08
250	0,063
315	0,05
400	0,04
500	0,0315
630	0,025
800	0,02
1000	0,016
1250	0,010
1600	0,0063
2000	0,0040
$\geq 4000$	$\leq 0,001$

## Bewertung von Ganzkörperschwingungen nach ST RGW 1932-79 [6]

Meßgröße:

Wahlweise Effektivwert der Schwingbeschleunigung  $\tilde{a}$  in  $m \cdot s^{-2}$  oder Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit in  $m \cdot s^{-1}$

Frequenzbereich:

0,56 Hz bis 90 Hz

Frequenzbewertung:

Wahlweise spektrale Frequenzbewertung in Terz- oder Oktavbändern oder integrale Frequenzbewertung rechnerisch nach (1) mit Bewertungsfaktoren  $w_i$  für die Schwingbeschleunigung nach Tabelle 7 oder mittels elektrischem Bewertungsnetzwerk (Schwingungsmeßgeräte robotron M 1300 und 00 042 : Schalterstellungen GKS<sub>z</sub> und GKS<sub>xy</sub>).

Die Frequenzbewertung ist für die z-Richtung und für die x, y-Richtung unterschiedlich, außerdem gelten unterschiedliche Bewertungsfaktoren für das Terz- und das Oktavspektrum bei der rechnerischen Bestimmung des frequenzbewerteten Gesamtwertes.

Grenzwerte:

Bei integraler Frequenzbewertung

$\tilde{a}_{b,zul} = 0,54 m \cdot s^{-2}$  in z-Richtung

$\tilde{a}_{b,zul} = 0,38 m \cdot s^{-2}$  in x, y-Richtung

bei spektraler Frequenzbewertung

Grenzspektren nach Bild 4.

Diese Grenzwerte gelten für 8 Stunden Einwirkdauer und Arbeitsplatzkategorie 1.

Tabelle 7

Bewertungsfaktoren für Ganzkörperschwingungen zur Bestimmung der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung nach ST RGW 1932-79

Terzband Hz	Mittenfrequenz Hz	Bewertungsfaktor $w_i$ z-Richtung	Bewertungsfaktor $w_i$ x, y-Richtung	Oktavband Hz	Mittenfrequenz Hz	Bewertungsfaktor $w_i$ z-Richtung	Bewertungsfaktor $w_i$ x, y-Richtung
0,56 ... 0,84 0,84 ... 1,12 1,12 ... 1,41	0,7 1,0 1,25	0,45 0,5 0,56	1,0 1,0 1,0	0,56 ... 1,41	1,0	0,5	1,0
1,41 ... 1,79 1,79 ... 2,24 2,24 ... 2,81	1,6 2,0 2,5	0,63 0,71 0,8	1,0 1,0 0,8	1,41 ... 2,81	2,0	0,71	1,0
2,81 ... 3,55 3,55 ... 4,72 4,72 ... 5,61	3,15 4,0 5,0	0,9 1,0 1,0	0,63 0,5 0,4	2,81 ... 5,61	4,0	1,0	0,5
5,61 ... 7,10 7,10 ... 8,9 8,9 ... 11,2	6,3 8,0 10,0	1,0 1,0 0,8	0,315 0,25 0,2	5,61 ... 11,2	8,0	1,0	0,25
11,2 ... 14,1 14,1 ... 17,9 17,9 ... 22,4	12,5 16,0 20,0	0,63 0,5 0,4	0,16 0,125 0,1	11,2 ... 22,4	16	0,5	0,125
22,4 ... 28,1 28,1 ... 35,5 35,5 ... 44,9	25,0 31,5 40	0,315 0,25 0,2	0,08 0,063 0,06	22,4 ... 44,9	31,5	0,25	0,063
44,9 ... 56,1 56,1 ... 71,0 71,0 ... 90	50 63 80	0,16 0,125 0,1	0,04 0,0315 0,025	47,2 ... 90	63	0,125	0,0315

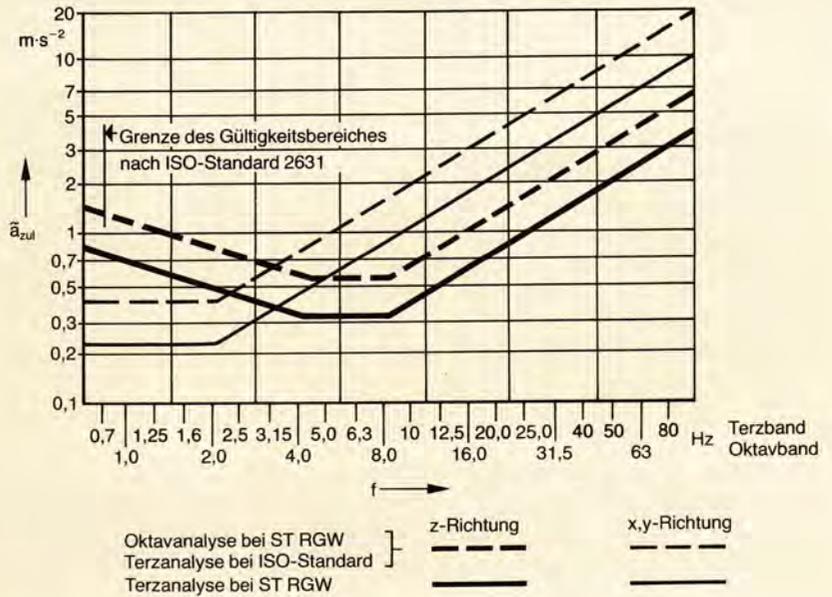


Bild 4

Zulässige Spektren der Schwingbeschleunigung bei der arbeitshygienischen Bewertung von Ganzkörperschwingungen nach ST RGW 1932-79 und ISO-Standard 2631-1985

Bedeutung der Arbeitsplatzkategorien:

Kategorie 1:

Arbeit auf Fahrzeugen, Land- und Baumaschinen.

Kategorie 2:

Arbeit auf Fahrzeugen und selbstfahrenden Arbeitsmitteln mit eigener Fahrstrecke. Die Grenzwerte liegen 6 dB unter denen der Kategorie 1.

### Kategorie 3:

Stationäre Arbeitsplätze. Die Grenzwerte liegen 15 dB unter denen der Kategorie 1.

#### Zeitbewertung:

Für Einwirkzeiten im Bereich  $T = 10$  min bis 480 min gilt das Dosisprinzip. Es sind die Formeln (5) und (6) anzuwenden. Der Standard enthält auch Bewertungsfaktoren und Grenzwerte für die Meßgröße Schwinggeschwindigkeit. Sie sind so festgelegt, daß sich die gleiche Bewertungsschärfe wie bei Messung der Schwingbeschleunigung ergibt.

### Bewertung nach ST RGW 2602-80 für Teilkörperschwingungen [7]

#### Meßgröße:

Wahlweise Effektivwert der Schwingbeschleunigung in  $m \cdot s^{-2}$  oder Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit in  $m \cdot s^{-1}$

Frequenzbereich: 5,6 Hz bis 1400 Hz

#### Frequenzbewertung:

Wahlweise spektrale Bewertung in Oktavbändern (Terzbänder sind nicht zugelassen) oder integrale Frequenzbewertung rechnerisch nach (1) mit Bewertungsfaktoren  $w_i$  für die Schwingbe-

schleunigung nach Tabelle 5 oder mittels elektrischem Bewertungsnetzwerk (Schwingungsmeßgeräte robotron M 1300 und 00 042 : Schalterstellung TKS).

#### Grenzwerte:

Bei integraler Frequenzbewertung  $\tilde{a}_{b\text{zul}} = 3 m \cdot s^{-2}$ , bei spektraler Frequenzbewertung Grenzspektrum nach Bild 5. Diese Grenzwerte gelten für 8 Stunden Einwirkdauer. Bei regelmäßiger Unterbrechung können Korrekturen vorgenommen werden.

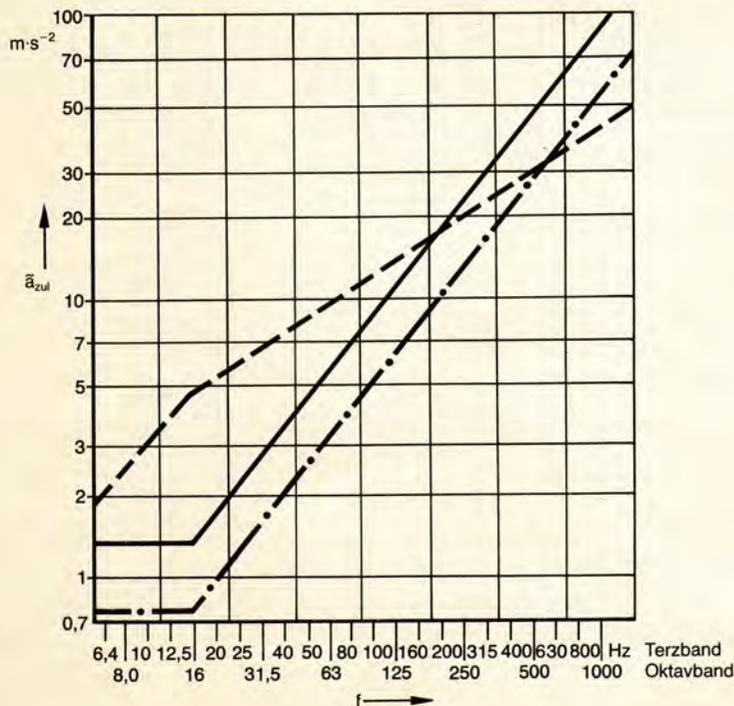
Unterschiedliche Wirkungsrichtungen und Arbeitsplatzkategorien werden nicht berücksichtigt.

#### Zeitbewertung:

Für Einwirkzeiten im Bereich  $T = 30$  min bis 480 min gilt das Dosisprinzip. Es sind die Formeln (5) und (6) anzuwenden. Der Standard enthält auch Bewertungsfaktoren und Grenzwerte für die Meßgröße Schwinggeschwindigkeit. Sie sind so festgelegt, daß sich die gleiche Bewertungsschärfe wie bei Messung der Schwingbeschleunigung ergibt.

Bild 5

Zulässige Spektren der Schwingbeschleunigung bei der arbeitshygienischen Bewertung von Teilkörperschwingungen nach ST RGW 2602-80 und ISO-Standardentwurf DIS 5349 sowie bei der Maschinenabnahme nach TGL RGW 715



— Oktavanalyse ST RGW 2602  
— · — Terzanalyse ISO DIS 5349  
- - - Oktavanalyse ST RGW 715

### Bewertung von Ganzkörperschwingungen nach ISO-Standard 2631 [8]

#### Meßgröße:

Effektivwert der Schwingbeschleunigung  $\tilde{a}$  in  $m \cdot s^{-2}$

Frequenzbereich: 0,9 Hz bis 90 Hz

#### Frequenzbewertung:

Wahlweise spektrale Frequenzbewertung in Terzbandbreite oder integrale Frequenzbewertung mittels elektrischem Bewertungsnetzwerk (Schwingungsmeßgeräte robotron M 1300 und 00 042 : Schalterstellung GKS<sub>z</sub> bzw. GKS<sub>x, y</sub>).

Die Frequenzbewertung entspricht der nach ST RGW 1932-79.

#### Grenzwerte:

Bei integraler Frequenzbewertung  $\tilde{a}_{b\text{zul}} = 0,44 m \cdot s^{-2}$  in x, y-Richtung,  $\tilde{a}_{b\text{zul}} = 0,63 m \cdot s^{-2}$  in z-Richtung bei spektraler Frequenzbewertung Grenzspektrum nach Bild 4.

Diese Grenzwerte gelten für 8 Stunden Einwirkzeit und Arbeitsplatzkategorie 1.

#### Arbeitsplatzkategorien:

Es existieren die Arbeitsplatzkategorien 1, 2 und 3.

#### Zeitbewertung:

Für Einwirkzeiten im Bereich  $T = 10$  min bis 480 min gilt das Dosisprinzip. Es sind die Formeln (5) und (6) anzuwenden.

**Bewertung von  
Teilkörperschwingungen nach  
ISO-Standardentwurf  
DIS 5349 [9]**

Meßgröße:

Effektivwert der Schwingbeschleunigung  $\tilde{a}$  in  $m \cdot s^{-2}$

Frequenzbereich: 5,6 Hz bis 1400 Hz

Frequenzbewertung:

Wahlweise spektrale Frequenzbewertung in Oktav- oder Terzbandbreite oder integrale Bewertung mittels elektrischem Bewertungsnetzwerk (Schwingungsmeßgeräte robotron M 1300 und 00 042 : Schalterstellung TKS).

Die Frequenzbewertung entspricht der nach ST RGW 2602-80.

Grenzwerte:

Bei integraler Frequenzbewertung  $\tilde{a}_{b,zul} = 1,4 m \cdot s^{-2}$ , bei spektraler Frequenzbewertung Grenzspektrum nach Bild 5. Diese Grenzwerte gelten für 8 Stunden Einwirkzeit. Unterschiedliche Wirkungsrichtungen und Arbeitsplatzkategorien werden nicht unterschieden.

Zeitbewertung:

Für Einwirkzeiten im Bereich  $T = 30$  min bis 480 min erhöhen sich die zulässigen Grenzwerte der Schwingbeschleunigung um die in Tabelle 8 angegebenen Multiplikationsfaktoren in Abhängigkeit von der Gesamteinwirkdauer und dem Pausenanteil.

Tabelle 8

Multiplikationsfaktoren für die zulässige Schwingbeschleunigung von Teilkörperschwingungen unterschiedlicher Dauer nach ISO DIS 5349

Gesamtzeit der Schwingungsexposition einschließlich der Pausen	ist nicht oder nicht regelmäßig unterbrochen	Schwingungsexposition				
		10	10...20	20...30	30...40	> 40
bis 30 min	5	5	–	–	–	–
30 min... 1 h	4	4	–	–	–	–
1 h...2 h	3	3	3	4	5	5
2 h...4 h	2	2	2	3	4	5
4 h...8 h	1	1	1	2	3	4

**Kriterien für die Bewertung der Schwingungsemission durch den Maschinenhersteller (Abnahmemessungen)**

Entsprechend dem Anliegen einer Abnahmemessung, das Erzeugnis selbst und nicht einen bestimmten Einsatzfall zu beurteilen, gibt es keine unterschiedliche Bewertung für verschiedene Arbeitsplatzkategorien und unterschiedlich lange Einwirkzeiten. Die Abnahmemessung hat unter repräsentativen Betriebsbedingungen des Arbeitsmittels zu erfolgen, die in arbeitsmittelspezifischen Standards näher definiert werden.

Frequenzbewertung:

Spektrale Frequenzbewertung in Oktavbändern.

Grenzwerte:

Grenzspektren nach Tabelle 9 (für die Meßgröße  $a$  siehe auch Bild 5).

Unterschiedliche Wirkungsrichtungen werden nicht berücksichtigt.

Bild 5 zeigt, daß die Frequenzbewertungen von Teilkörperschwingungen nach den gültigen RGW-Standards für die arbeitshygienische Bewertung und die Maschinenabnahme nicht übereinstimmen.

Die für die Bewertung erforderlichen Messungen sind nach TGL RGW 716 (ST RGW 716-77) durchzuführen.

**Bewertung handgeführter Arbeitsmittel nach TGL RGW 715 (ST RGW 715-77) [10]**

Meßgröße:

Effektivwert der Schwingbeschleunigung  $\tilde{a}$  in  $m \cdot s^{-2}$  oder Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit  $\tilde{v}$  in  $m \cdot s^{-1}$ .

Frequenzbereich: 5,6 Hz bis 1400 Hz

Tabelle 9

Zulässige Effektivwerte der Schwingbeschleunigung und Schwinggeschwindigkeit in Oktavbandbreite für die Abnahme handgeführter Arbeitsmittel durch den Hersteller nach TGL RGW 715

Oktavband Hz	Mittenfrequenz Hz	Grenzwerte der Schwingbeschleunigung $\tilde{a}_{zul}$ in $m \cdot s^{-2}$	Schwinggeschwindigkeit $\tilde{v}_{zul}$ in $m \cdot s^{-1}$
5,6... 11,2	8	2,5	$5,0 \cdot 10^{-2}$
11,2... 22,5	16	5,0	$5,0 \cdot 10^{-2}$
22,5... 45	32	6,9	$3,5 \cdot 10^{-2}$
45 ... 90	63	9,9	$2,5 \cdot 10^{-2}$
90 ... 180	125	14,1	$1,8 \cdot 10^{-2}$
180 ... 355	250	18,8	$1,2 \cdot 10^{-2}$
355 ... 710	500	28,3	$0,9 \cdot 10^{-2}$
710 ... 1400	1000	39,6	$0,63 \cdot 10^{-2}$

# Meßtechnische Berücksichtigung zeitlich schwankender Schwingungseinwirkungen bei arbeitshygienischen Nachweismessungen

Speziell zur arbeitshygienischen Beurteilung beliebig schwankender Schwingungseinwirkungen ist die in TGL 39 939 [5] und weiteren Standardentwürfen neu eingeführte Kategorie der integrierenden Schwingungsmeßgeräte vorgesehen, die den durch Gleichung (6) beschriebenen Langzeiteffektivwert der Schwingbeschleunigung oder eine damit in engem Zusammenhang stehende Dosisgröße automatisch ermitteln und anzeigen [17]. Zu dieser neuen Geräteklasse gehört der Humanschwingungsmesser robotron M 1300, der neben dem augenblicklichen Effektivwert der Schwingbeschleunigung  $\tilde{a}$  gleichzeitig die frequenzbewertete Schwingungsdosis

$$D_a = \int_0^T a^2(t) dt \quad (7)$$

vom Beginn der Messung (Drücken der Löschtaste) bis zum Ableszeitpunkt aufsummiert. Aus dieser Dosis kann der Langzeiteffektivwert der Schwingbeschleunigung (äquivalenter Dauer-schwingbeschleunigung)  $\tilde{a}_T$  nach der Beziehung

$$\tilde{a}_T = \sqrt{\frac{D_a}{T}} \quad (8)$$

errechnet werden. Gleichung (8) ist inhaltlich mit Gleichung (6) identisch, was sich durch Einsetzen der Beziehung (7) in (8) sehr leicht nachweisen läßt.

Steht kein integrierendes Meßgerät zur Verfügung, dann kann zur arbeitshygienischen Bewertung von Schwingungseinwirkungen das nachfolgend beschriebene Verfahren angewendet werden, das im Bereich des RGW und innerhalb der DDR für die Standardisierung vorgesehen ist.

In jedem Einwirkungsintervall der Dauer  $T_k$ , das für einen bestimmten Betriebszustand typisch ist, oder während der gesamten Einwirkzeit  $T$  werden repräsentative Mittelwerte  $\tilde{a}_{bk}$  durch mehrmalige Ablesung des Anzeigeinstrumentes, Auswertung eines Meßschriebes oder Verarbeitung der Meßsignale in Klassiergeräten oder Rechnern ermittelt.

Orientierende Messung:

Durchführung von  $j$  unabhängigen Messungen mit jeweils  $i$  Meßwerten im Abstand von 5 Sekunden (oder länger).

Die Meßwerte  $\tilde{a}_{bijk}$  sind zu einem Mittelwert zusammenzufassen:

$$\tilde{a}_{bk} = \frac{1}{i \cdot j} \sum_i \sum_j \tilde{a}_{bijk} \quad \begin{matrix} i \geq 10 \\ j \geq 3 \end{matrix} \quad (9)$$

Die Bewertung erfolgt nach (2), wobei anstelle des bei konstanter Schwingungseinwirkung verwendeten Meßwertes  $\tilde{a}_b$  jetzt der Wert  $1,5 \cdot \tilde{a}_{bk}$  verwendet wird. Die Bedingung für die Zulässigkeit der Schwingungseinwirkung lautet damit

$$1,5 \cdot \tilde{a}_{bk} \leq \tilde{a}_{bzul} \quad (2a)$$

Der Faktor 1,5 berücksichtigt grob die statistische Unsicherheit durch die Streuung der Einzelmeßwerte und führt zu einer Bewertung, die aus arbeitshygienischer Sicht meist auf der sicheren Seite liegt.

Kontrollierende Messung:

Es werden je Betriebszustand mindestens  $j = 6$  Messungen durchgeführt. Außer dem Mittelwert nach (9) werden noch die Standardabweichung der Meßwerte vom Mittelwert nach

$$S_k = \sqrt{\frac{1}{i \cdot (j-1)} \sum_i \sum_j (\tilde{a}_{bijk} - \tilde{a}_{bk})^2} \quad (10)$$

und die obere Grenze des Vertrauensbereiches nach

$$\mu_{ok} = \tilde{a}_{bk} + \frac{t_{ij}}{\sqrt{i \cdot j}} S_k \quad (11)$$

bestimmt. Der Wert  $t_{ij}$  ( $t$  steht hier nicht für die Zeit!) drückt die wahrscheinliche Verteilung der  $i \cdot j$  Meßwerte aus und ist für eine statistische Sicherheit von 95% in Tabelle 10 angegeben. Die Bedingung für die Zulässigkeit der Schwingungseinwirkung lautet damit

$$\mu_{ok} \leq \tilde{a}_{bzul} \quad (2b)$$

Aus Tabelle 10 ist zu erkennen, daß sich mit wachsender Anzahl von Einzelmeßwerten  $i \cdot j$  der zweite Term auf der rechten Seite von Gleichung (11) stetig verringert, so daß der „Sicherheitszuschlag“ zur Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit immer kleiner

wird. Insbesondere dann, wenn der Grenzwert zwischen dem Mittelwert nach (9) und der oberen Grenze des Vertrauensbereiches nach (11) liegt, kann man durch wesentliche Erhöhung der Meßwertanzahl  $i \cdot j$  gegebenenfalls erreichen, daß eine ursprünglich als unzulässig eingestufte Schwingungseinwirkung doch noch die Zulässigkeitsbedingung (2b) erfüllt. Allerdings geht die Meßwertanzahl nur mit der Wurzel ein, so daß diesem Vorgehen aus Aufwandsgründen bald Grenzen gesetzt werden.

Die Standardabweichung nimmt bei gleicher Bewertungssituation ab, je größer die Zeitkonstante der momentanwertanzeigenden Einrichtung (Zeigerinstrument, Schreibeinrichtung) ist. Um voneinander unabhängige Meßwerte zu erhalten, muß der zeitliche Abstand zweier Stichproben größer als die genannte Zeitkonstante sein.

Tabelle 10  
Wahrscheinliche Streuung des quadratischen Mittelwertes für 95% statistische Sicherheit

Anzahl der Meßwerte $i \cdot j$	$\frac{t_{ij}}{\sqrt{i \cdot j}}$
6	1,05
8	0,84
10	0,72
12	0,63
14	0,58
20	0,47
30	0,37
40	0,28

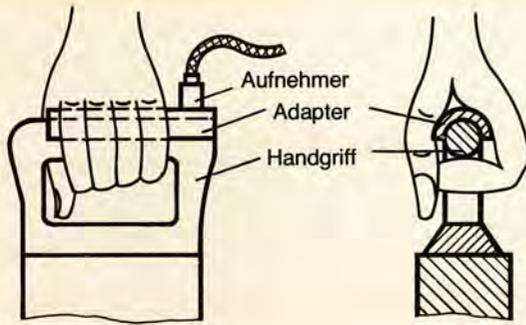


Bild 6  
Adapter für die Befestigung von Schwingungsaufnehmern an elastischen Handgriffen

## Ankopplung von Schwingungsaufnehmern an das Meßobjekt

Alle in Tabelle 2 und den Seiten 4/5 genannten Standards legen fest, daß die Schwingungsaufnehmer am schwingenden Objekt in unmittelbarer Nähe der Berührungsstelle des Menschen starr anzukoppeln sind.

Das können z. B. sein:

- der Fußboden einer Werkhalle bei einem stationären Arbeitsplatz;
- die Sitzschale des Bedienstandes eines selbstfahrenden Arbeitsmittels;
- der Handgriff eines handgeführten Arbeitsmittels.

Schwierigkeiten treten auf, wenn die Berührungsstelle selbst nicht steif ist, sondern elastische Oberfläche besitzt, z.B.

- gepolsterte Bediensitze selbstfahrender Arbeitsmittel;
- Handgriffe handgeführter Arbeitsmittel mit elastischer Umhüllung.

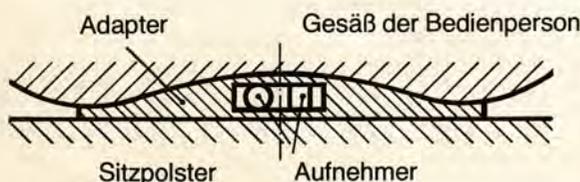
Bringt man in solchen Fällen den Aufnehmer auf der elastischen Oberfläche an, bildet er mit ihr ein Feder-Masse-System, welches andere Schwingungen ausführt als die unbelastete Oberfläche selbst. Der gleiche Effekt tritt auch auf, wenn der Aufnehmer zwischen der elastischen Oberfläche und dem weichen Gewebe des menschlichen Körpers

(Gesäß, Handinnenfläche) eingeklemmt wird.

Um die durch die Ankopplung an elastische Oberflächen verursachte Meßwertverfälschung möglichst klein zu halten, ist die Masse des Schwingungsaufnehmers einschließlich der erforderlichen Befestigungselemente auf ein Minimum zu reduzieren. So wird z. B. durch TGL RGW 716 [11] für Abnahmemessungen an handgeführten Arbeitsmitteln festgelegt, daß ein Adapter entsprechend Bild 6 zusammen mit dem Schwingungsaufnehmer keine größere Masse als 240 g besitzen darf.

Für Messungen der Schwingungseinwirkung auf den sitzenden Menschen wurde speziell ein Dreikomponentenaufnehmer in Sitzkissenform entwickelt und in den Lieferumfang des Humanschwingungsmeßkoffers robotron M 1301 aufgenommen. Ersatzweise läßt sich für diesen Zweck auch eine leichte Zwischenlage zwischen Sitzpolster und Gesäß verwenden, die eine Aussparung für die Befestigung der Aufnehmer besitzt [14]. Die Zwischenlage kann entweder anatomisch geformt sein oder einfach die Form einer ebenen Platte besitzen (Bild 7). Forderungen an die Abmessung einer solchen Scheibe sind in TGL 32 629 enthalten.

Bild 7  
Schnitt durch eine anatomisch geformte kreisrunde Scheibe zur Befestigung von Schwingungsaufnehmern bei der Messung der Schwingungen auf gepolsterten Sitzen



## Meßgeräte und Meßketten für arbeitshygienische Nachweismessungen und Abnahmemessungen

Die Schwingungsmeßgeräte Typ robotron M 1300 und Typ 00 042 des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden sind autonome Grundgeräte, die mit weiteren Geräten aus dem Robotron- und RFT-Fertigungsprogramm kombiniert werden können.

Beide Geräte sind tragbar und netzunabhängig. Sie arbeiten zusammen mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern, die auf Grund ihrer geringen Masse das Meßobjekt nicht wesentlich belasten und damit keine Verfälschung des Schwingungszustandes während der Messung verursachen.

Beide Geräte lassen die Anzeige folgender Größen am Anzeigeinstrument zu:

Schwingbeschleunigung:

unbewerteter Effektivwert  $\tilde{a}$ ;

frequenzbewerteter Effektivwert  $\tilde{a}_b$  unter Verwendung interner Bewertungsnetzwerke nach TGL 39 939 für

- Ganzkörperschwingungen in x- und in y-Richtung ( $GKS_{xy}$ )
- Ganzkörperschwingungen in z-Richtung ( $GKS_z$ )
- Teilkörperschwingungen (TKS); unbewertetes Spektrum  $\tilde{a}(f)$  unter Verwendung externer Filter.

Zusätzlich ermöglicht der Schwingungsmesser 00 042 die Anzeige der Schwinggeschwindigkeit:

unbewerteter Effektivwert  $\tilde{v}$ ;

unbewerteter Effektivwert  $\tilde{v}_{10...1000}$  im Frequenzbereich 10...1000 Hz unter Verwendung eines internen Bandpasses (Schalterstellung MS für „Maschinenschwingungen“); unbewertetes Spektrum  $\tilde{v}(f)$  unter Verwendung externer Filter.

Als besonderes Merkmal ermittelt der Humanschwingungsmesser robotron M 1300 parallel zum momentanen Effektivwert noch die Beschleunigungs-dosis  $D_a$  nach Gleichung (7) durch Integration des Quadrates der Schwingbeschleunigung über der Zeit. Diese Meßgröße wird digital sechsstellig angezeigt. Aus ihr läßt sich auf einfache Weise über Gleichung (8) die äquivalente Dauerschwingbeschleunigung (Langzeiteffektivwert  $a_T$  über den Meßzeitraum T) bestimmen [17].

An beiden Geräten kann an der Ausgangsbuchse ein elektrisches Signal zur Weiterverarbeitung durch periphere Geräte entnommen werden, das wahlweise zum Zeitverlauf des Momentanwertes (Schalterstellung  $\sim$ ) oder dem

Effektivwert (Schalterstellung –) der Meßgrößen proportional ist.

Durch diese Eigenschaften werden beide Schwingungsmeßgeräte zu universell einsetzbaren, unentbehrlichen Hilfsmitteln des Praktikers und Forschers

- für arbeitshygienische Nachweismessungen,
- für die Maschinenabnahme beim Hersteller,
- für Forschungen im Rahmen der Entwicklung von Maschinen und Fahrzeugen,
- am Einsatzort der Maschinen wie im Versuchsfeld.

Dabei sind sie sowohl für einfache Messungen mit Ablesung des Meßwertes als auch als Bestandteil von Meßketten mit automatischer oder halbautomatischer Aufbereitung der Meßdaten geeignet. Nachfolgend werden einige empfehlenswerte Schaltungen im Zusammenhang mit entsprechenden Meßaufgaben erläutert.

Die Kombination der Schwingungsmesser mit externen Filtern gestattet die Durchführung von Frequenzanalysen mit Ablesung des Meßwertes im Filterband am Anzeigeinstrument.

Die so ermittelten Bandpaßspektren können außer zur arbeitshygienischen Bewertung auch zur Beantwortung der technischen Fragestellung nach der Ursache der auftretenden Schwingung dienen. Diese Aufgabe ist umso besser lösbar, je schmäler das Frequenzband ist. Allerdings verlängert sich mit abnehmender Filterbandbreite die erforderliche Analysierzeit.

Der besondere Vorteil der Schwingungsmesser Typ 00 042 und Typ robotron M 1300 sind die eingebauten Bewertungsnetzwerke, die bei arbeitshygienischen Nachweismessungen die unmittelbare Ablesung des frequenzbewerteten Gesamtwertes der Meßgröße gestatten (integrale Frequenzbewertung). Dadurch wird gegenüber der spektralen Messung eine erhebliche Zeiteinsparung erzielt. Für arbeitshygienische Nachweise und alle technischen Messungen, bei denen das Frequenzspektrum der Meßgröße gewonnen werden soll, können anstelle der Schwingungsmesser Typ 00 042 und Typ robotron M 1300 auch die Schwingungsmeßgeräte Typ 00 032 und Typ 00 036 des Laborgerätesystems der Schall- und Schwingungsmeßtechnik (Hersteller: VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden) eingesetzt werden.

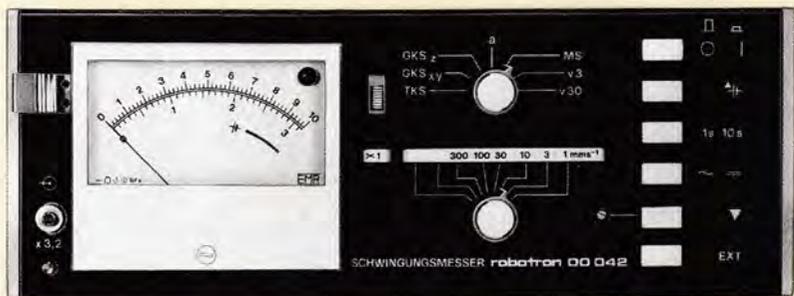


Bild 8a  
Schwingungsmesser 00 042 des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden

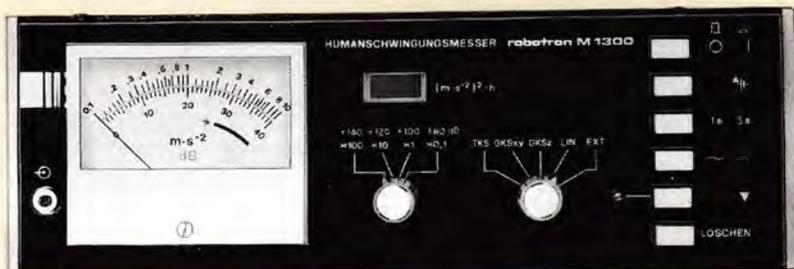


Bild 8b  
Humanschwingungsmesser robotron M 1300 des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden

Bild 9 zeigt das Beispiel einer einfachen Meßkette zur Ermittlung des Frequenzspektrums eines Schwingungsvorgangs.

Bild 9  
Beispiel einer Meßkette mit Schwingungsmesser und externem Filter

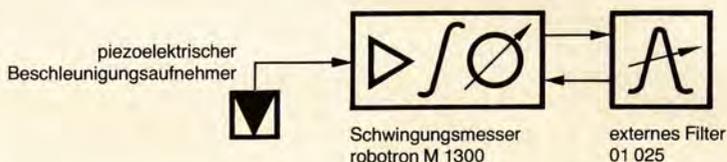


Bild 10  
Beispiel einer Meßkette für automatische Frequenzanalyse mit Schwingungsmesser, externem Filter und Pegelschreiber



Für den ortsveränderlichen Einsatz wird die Verwendung der folgenden tragbaren und netzunabhängigen Filter empfohlen:

#### Oktavfilter 01 016

Frequenzbereich (Bandmittenfrequenzen): 31,5 Hz ... 63 kHz  
Umschaltung der Oktavbereiche stufenweise von Hand.

#### Terz-Oktav-Filter 01 017

Frequenzbereich (Bandmittenfrequenzen): 31,5 Hz ... 16 kHz  
Umschaltung der Terz- oder Oktavbereiche stufenweise von Hand.

#### Schmalbandfilter 01 025

Frequenzbereich (Bandmittenfrequenzen): 0,2 Hz ... 20 kHz  
Bandbreite wahlweise 3% oder 23% (etwa Terzbandbreite).  
Durchstimmung kontinuierlich; wahlweise von Hand oder durch externe Steuerspannung.

Außerdem ist die Verwendung der folgenden externen Filter möglich, die einen Netzanschluß benötigen:

#### Kombinationsfilter 01 006

(nicht mehr in Produktion)

Kombination getrennt einstellbarer Hoch- und Tiefpaßfilter  
Frequenzbereich (Grenzfrequenzen): 0,5 Hz ... 710 Hz  
Umschaltung stufenweise als 1/2-Oktavfilter oder Oktavfilter von Hand.

#### Kombinationsfilter 01 007

(nicht mehr in Produktion)

Kombination getrennt einstellbarer Hoch- und Tiefpaßfilter  
Frequenzbereich (Grenzfrequenzen): 16 Hz ... 22,4 kHz  
Umschaltung stufenweise als 1/2-Oktavfilter oder Oktavfilter von Hand.

#### Universalfilter 01 015

(löst 01 006 und 01 007 ab)

Kombination getrennt einstellbarer, als Hoch- oder Tiefpaß betreibbarer Filterbausteine  
Frequenzbereich (Grenzfrequenzen): 0,2 Hz ... 160 kHz  
Umschaltung stufenweise von Hand in Terzschritten.

#### Schmalbandfilter 01 020

Frequenzbereich (Grenzfrequenzen): 0,2 Hz ... 20 kHz  
Bandbreite wahlweise 1,5%, 3%, 6%, 12% oder 24% (etwa Terzbandbreite).  
Durchstimmung kontinuierlich; wahlweise von Hand oder durch externe Steuerspannung.

#### Terz-Oktav-Filter 01 023 sowie Terz-Oktav-Analysator 01 024

Frequenzbereich (Bandmittenfrequenzen): 2 Hz ... 160 kHz  
Umschaltung der Terz- oder Oktavbereiche stufenweise; wahlweise von Hand oder durch innere oder äußere Steuersignale.

Filter mit externer Steuermöglichkeit der Bandmittenfrequenz lassen auch eine automatische Frequenzanalyse mit Registrierung des Spektrums zu.  
Geeignet sind dazu die Schmalbandfilter 01 025 und 01 020 sowie das Terz-Oktav-Filter 01 023 und der Terz-Oktav-Analysator 01 024 in Verbindung mit dem Pegelschreiber 02 013 oder dem tragbaren Pegelschreiber 02 060. Ein Beispiel für eine entsprechende Meßkette zeigt Bild 10.

Nach der Analog-Digital-Umsetzung des frequenzbewerteten Effektivwertes oder des Frequenzspektrums der Schwingbeschleunigung ist eine nachträgliche Verarbeitung der Meßwerte mittels Rechner möglich.  
Bild 11 zeigt die grundsätzliche Schaltung der Meßkette.

Als externe Filter und Analog-Digital-Umsetzer kommen die folgenden Kombinationen in Frage:

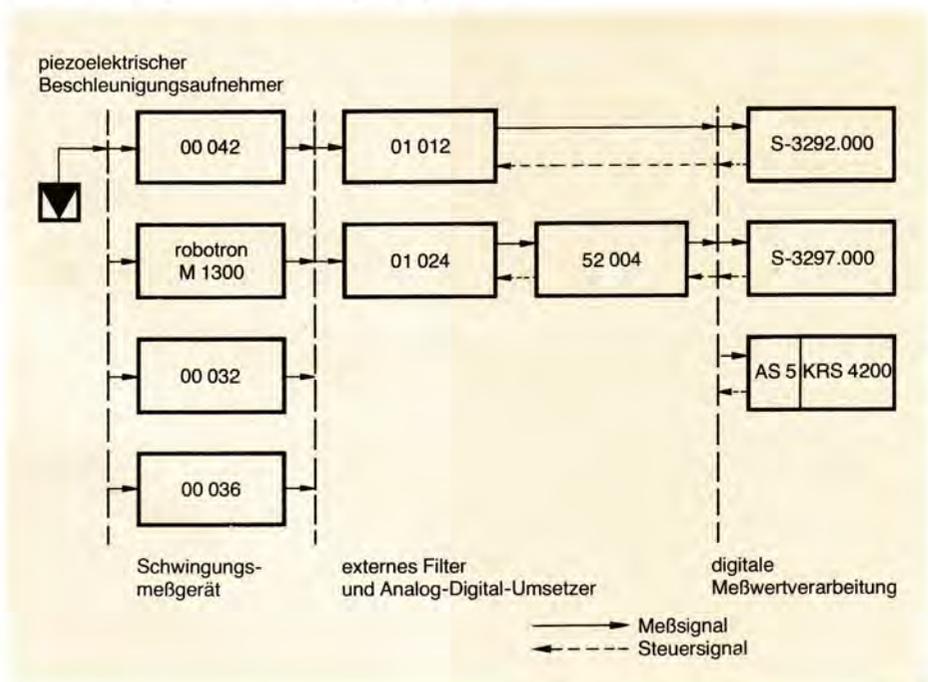
- Echtzeitanalysator 01 012  
Bandbreite: Terzband  
Frequenzbereich (Terzmittenfrequenzen): 25 Hz ... 20 kHz  
interner Analog-Digital-Umsetzer (BCD-Code; vierstellig).
- Terz-Oktav-Analysator 01 024 in Kombination mit Analog-Digital-Umsetzer 52 004  
Frequenzbereich (Bandmittenfrequenzen): 2 Hz ... 160 kHz  
digitales Ausgangssignal BCD-Code; vierstellig.

Als digitales Meßwertverarbeitungsgerät kommt in Frage:

- Bürocomputer A 5120, Variante Meßtechnik (Steuersignalaustausch gemäß IMS-2 bzw. SI 1.2) mit Peripheriegeräten

Verbindet man den Analog-Digital-Umsetzer unmittelbar mit dem Schwingungsmesser, so ist bei Verwendung interner Bewertungsnetzwerke eine digitale Weiterverarbeitung frequenzbewerteter Meßwerte  $\tilde{a}_b$  zum Zwecke der Zeitbewertung möglich.

Bild 11  
Meßkette zur digitalen Verarbeitung von Spektren



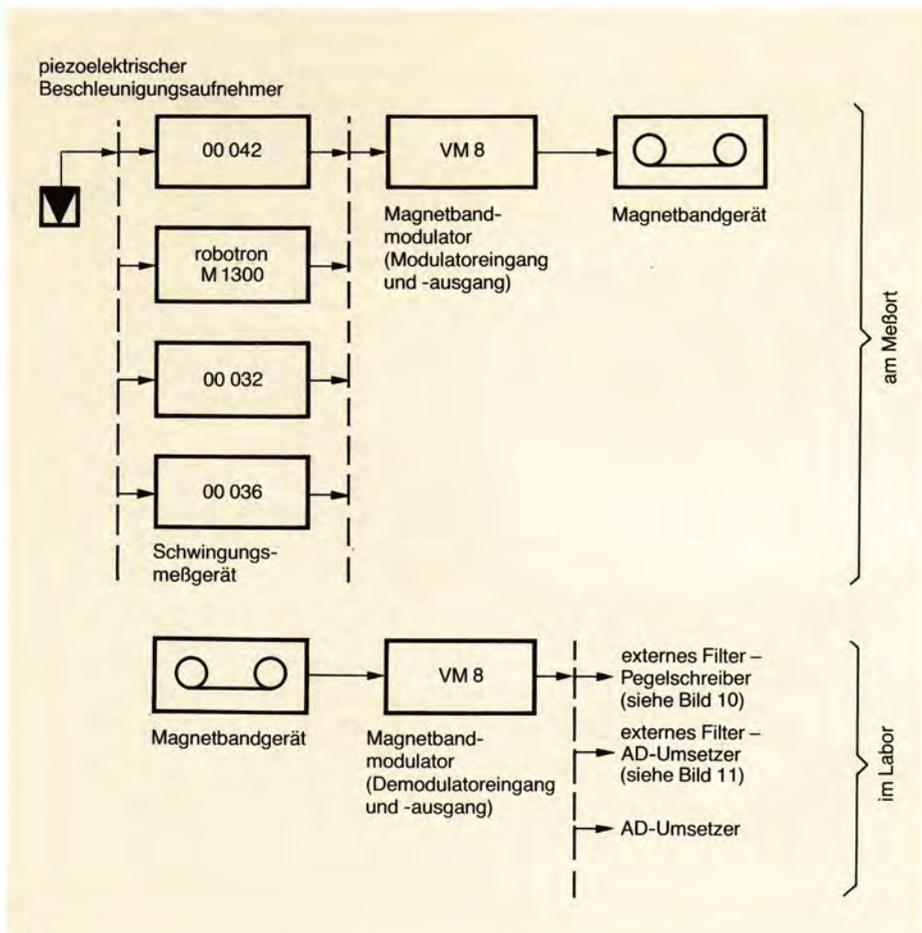
Die Weiterverarbeitung der Meßdaten mittels Digitalrechner ist besonders dann von Nutzen, wenn Berechnungen nach den Formeln (1), (4) und (6) oder auch (9), (10) und (11) in größerer Zahl ausgeführt werden müssen.

In vielen Fällen schafft die Möglichkeit der Zwischenspeicherung von Meßvorgängen auf Magnetband eine ganz wesentliche Erleichterung bei der praktischen Durchführung der Messungen. Das ist in solchen Fällen von Bedeutung, wenn die meßtechnische Untersuchung nicht im Labor stattfinden kann (z. B. bei selbstfahrenden Arbeitsmitteln oder stationären Arbeitsplätzen) oder schwere oder empfindliche Meßgeräte nicht mit zur Meßstelle transportiert werden können (z. B. alle Geräte der digitalen Meßwertverarbeitung).

Für die Zwischenspeicherung von Schwingungssignalen auf Magnetband sind z. B. die zwei- und vierspurigen Magnetbandgeräte EAM 320 und EAM 340 aus der CSSR geeignet, die von einem Kraftfahrzeug mit 12-V-Bordnetz aus einen ortsveränderlichen Einsatz ermöglichen. Bei Verwendung von handelsüblichen Heimtonband- oder Stu-

diomagnetbandgeräten gestattet der Magnetbandmodulator VM 8 aus dem VEB Metra Radebeul die Speicherung von Meßsignalen im Frequenzbereich 0,3 ... 1500 Hz. Bild 12 zeigt die entsprechende Meßkette.

Bild 12  
Speicherung und Wiedergabe von Schwingungsvorgängen auf Magnetband unter Verwendung des Magnetmodulators VM 8



# Beispiele für Arbeitsplätze mit Schwingungsexposition

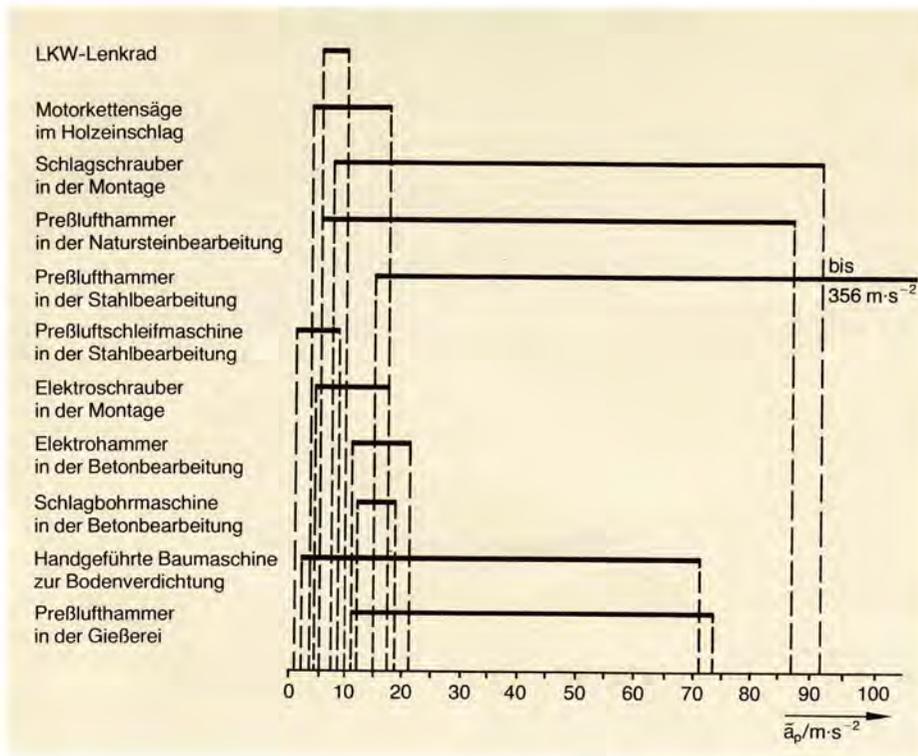
Tabelle 11 und Bild 13 zeigen Meßwerte der nach TGL 32 629 bewerteten Schwingbeschleunigung an Arbeitsplätzen bzw. Arbeitsmitteln nach [15] und [16]. Meßwerte dieser Art sind typische

Ergebnisse arbeitshygienischer Nachweismessungen mit Schwingungsmeßgeräten des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden unter Verwendung der eingebauten Bewertungnetzwerke  $GK_{S_{xy}}$ ,  $GK_{S_z}$  und  $TKS$  sowie unter Berücksichtigung der weiter vorn gegebenen Hinweise zur meßtechnischen Berücksichtigung der zeitlichen Schwankungen.

Tabelle 11  
Arbeitsplätze mit Ganzkörper-Schwingungseinwirkungen ( $\tilde{a}_b$ -Werte sind Mittelwerte der Schwingbeschleunigung von Maschinen und Fahrzeugen verschiedener Hersteller in den drei Raumrichtungen.  
Die Einwirkungsrichtung, die für die Bewertung bestimmend ist, wird durch Fettdruck des Meßwertes gekennzeichnet.)

Schwingbeschleunigung $\tilde{a}_b/m \cdot s^{-2}$	$\tilde{a}_{bz}$	$\tilde{a}_{bx}$	$\tilde{a}_{by}$
Dumper im Baustellengelände	<b>2,37</b>	2,16	1,47
LKW	<b>1,56</b>	0,61	0,62
Selbstfahrender Feldhäcksler	<b>1,49</b>	0,65	0,34
Traktor (50 PS) in der Landwirtschaft	0,70	0,67	<b>0,97</b>
Autokran	<b>0,30</b>	0,38	0,63
Mähdrescher beim Umsetzen	<b>0,78</b>	0,41	0,69
Universalbagger	0,56	<b>0,69</b>	0,57
Eimerkettenbagger, Baggerfahrer- und Klappenschlägerkabine	<b>0,54</b>	0,28	0,24
PKW-Stadtfahrten; Fahrschulbetrieb	<b>0,51</b>		
Omnibus (Fahrsitz); Stadtfahrten bei unterschiedlicher Straßenqualität	<b>0,51</b>		
Mähdrescher beim Mähdrusch	<b>0,42</b>	0,27	0,47
Traktor (90 PS) in der Landwirtschaft	<b>0,28</b>	0,24	0,18
Verwaltungsraum in einem Schwermaschinenbau; auf der gleichen Etage wie Tiefziehpresse	<b>0,25</b>	0,15	
Verwaltungsraum in einer Papierfabrik; 2 Etagen über dem Keller	<b>0,022</b>		

Bild 13  
Arbeitsplätze mit Teilkörper-Schwingungseinwirkungen (Bereiche der Schwingbeschleunigung ergeben sich durch Messungen an gleichartigen Geräten unterschiedlicher Hersteller)



## Literatur

- [1] Lehrbriefreihe Arbeitsschutz  
Lehrbrief 14: Schutz vor mechanischen Schwingungen  
Herausgegeben vom Institut für Fachschulwesen der DDR Leipzig 1980
- [2] 3. Durchführungsbestimmung zur Arbeitsschutzverordnung – Schutzgüte – vom 24.1.1980  
(Gesetzblatt der DDR, Teil I, Nr. 6, S. 45)
- [3] Verordnung über das Betriebsgesundheitswesen und die Arbeitshygieneinspektion vom 11.1.1978  
(Gesetzblatt der DDR, Teil I, Nr. 4, S. 67)
- [4] Verordnung über die Verhütung, Meldung und Begutachtung von Berufskrankheiten vom 26.2.1981  
(Gesetzblatt der DDR, Teil I, Nr. 12, S. 137 und 1. Durchführungsbestimmung dazu;  
Liste der Berufskrankheiten, GBl. I, Nr. 12, S. 139)
- [5] TGL 32 627 Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Begriffe.  
TGL 32 628 Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Blatt 01: Grenzwerte für Ganzkörperschwingungen am Arbeitsplatz.  
Blatt 02: Grenzwerte für Teilkörperschwingungen am Arbeitsplatz.  
TGL 32 629 Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Messung und Bewertung.  
TGL 39 939 Geräte zur Messung der auf den Menschen einwirkenden Schwingungen.
- [6] ST RGW 1932-79: Schwingungen; Zulässige Pegel von Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen
- [7] ST RGW 2602-80: Teilkörperschwingungen; Zulässige Werte und Bewertungsverfahren
- [8] ISO-Standard 2631-1985: Anleitung für die Bewertung von Ganzkörper-Schwingungseinwirkungen auf den Menschen
- [9] ISO-Standardentwurf DIS 5349: Prinzipien für die Messung und Bewertung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen bei Übertragung über die Hand
- [10] TGL RGW 715-77: Handgeführte Maschinen; Forderungen an Vibrationspegel
- [11] TGL RGW 716-77: Handgeführte Maschinen; Verfahren zur Messung der Vibrationsparameter
- [12] ST RGW 1931-79: Schwingungen; Allgemeine Forderungen an die Durchführung von Messungen
- [13] ST RGW Thema 01.676.07-78:  
Elektronische Meßgeräte; Geräte zur Messung von Schwingungen, die auf den Menschen einwirken.
- [14] KRAUSE, P.; PANZKE, K.-J.: Probleme bei der Ankopplung der Schwingungsaufnehmer bei der Messung von Ganzkörpervibrationen des sitzenden Menschen.  
Ergonomische Berichte Nr. 15,  
Berlin: Verlag Tribüne 1975, S. 39-49
- [15] Expositions- und Kennzahlenkatalog für Arbeitsplätze mit Schwingungsexposition.  
Herausgegeben vom Forschungsverband Arbeitsmedizin der DDR, Berlin, Ausgabe 1977
- [16] Richtlinie Arbeitshygiene WAO-Untersuchungen im Verkehrswesen.  
Herausgegeben vom Chefamt des Medizinischen Dienstes des Verkehrswesens der DDR, Berlin, Ausgabe 1979
- [17] WEISSING, H.: Integrierende Langzeitmessungen in der Schall- und Schwingungsmeßtechnik.  
Zeitschrift für die gesamte Hygiene 32 (1986) 4,  
S. 253-257

# robotron

**VEB Robotron-Meßelektronik**  
**„Otto Schön“ Dresden**

Lingnerallee 3, PSF 211  
Dresden  
DDR - 8012

Exporteur:

**Robotron Export-Import**

Volkseigener Außenhandelsbetrieb  
der Deutschen Demokratischen Republik  
Allee der Kosmonauten 24  
Berlin  
DDR - 1140

## **Unser Liefer- und Leistungsprogramm**

- Meß- und Prüfautomatisierungs-  
einrichtungen zur Rationalisierung  
der Prüfprozesse in der Elektronik
- Geräte zur Ortung von Fehlern an  
Kabeln und Leitungen in der Energie-  
wirtschaft und Nachrichtentechnik
- Kraftmeßeinrichtungen für Wäge-  
technik und Werkstoffprüfung
- Schall- und Schwingungsmeßgeräte  
für Umweltschutz und Industrie
- Generallieferant von Ausrüstungen  
für Bildungs- und  
Forschungseinrichtungen

**Rationell messen,  
prüfen,  
automatisieren**