

Wirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen
- Analyse des Normungsdefizits und experimentelle Arbeiten
zur Ergänzung des
Kenntnisstandes

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte
D i s s e r t a t i o n
vorgelegt von
Dipl.-Ing. S. Riedel
aus Feilbingert

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Landau
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. H.P. Wölfel
Tag der Einreichung:	06.07.1999
Tag der mündlichen Prüfung:	09.11.1999

Darmstadt 2000

D 17

Berichte aus der Arbeitswissenschaft

Stephan Riedel

**Wirkungen mechanischer Schwingungen
auf den Menschen**

Analyse des Normungsdefizits und experimentelle Arbeiten
zur Ergänzung des Kenntnisstandes

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Riedel, Stephan:

Wirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen : Analyse
des Normungsdefizits und experimentelle Arbeiten zur Ergänzung
des Kenntnisstandes / Stephan Riedel.

- Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 2000

(Berichte aus der Arbeitswissenschaft)

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 1999

ISBN 3-8265-5925-8

Copyright Shaker Verlag 2000

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-5925-8

ISSN 1434-2677

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Herrn Prof. Heinrich Dupuis danke ich für die Einführung zu diesem Thema, für seine wertvollen Hinweise und Anregungen sowie für seine freundliche Unterstützung. Ebenso danke ich Herrn Prof. J. Konietzko, der mich zur Promotion ermutigt hat.

Auch Prof. Kurt Landau möchte ich für die Übernahme des Referats und sein Interesse an meiner Arbeit danken. Seine und Herrn Dr. Rolf Helbig's Hinweise waren mir eine große Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. H.P. Wölfel für seine Tätigkeit als Koreferenten und für sein Interesse an diesem Thema bedanken.

Besonderen Dank gilt meinen Arbeitskollegen Herrn Klaus Adler, Frau Brückbauer, Herrn Dr. Detlev Jung, Frau Gilsdorf, Herrn Dr. Axel Muttray, Herrn Dr. Mayer-Popken und Herrn Dr. Dirk Rose für die fruchtbaren Diskussionen und interessanten Hinweise.

Schließlich möchte ich mich bei meinen medizinischen Doktoranden Frau Annette Winkler und Herrn Hellmut Münch bedanken, die mich bei den experimentellen Arbeiten unterstützt haben.

Feilbingert, den 25.02.2000

Stephan Riedel

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Normung in der Europäischen Union und in Deutschland	2
1.2 Belastung durch mechanische Schwingungen	4
1.3 Beanspruchung durch mechanische Schwingungen	4
1.3.1 Parameter akuter Schwingungsbeanspruchung	5
1.3.1.1 Subjektive Schwingungswahrnehmung	5
1.3.1.2 Biodynamisches Schwingungsverhalten des Körpers	6
1.3.1.3 Elektrische Muskelaktivität EA	8
1.3.1.4 Vibrationssensibilität der Haut	8
1.3.1.5 Änderung der peripheren Durchblutung	9
1.3.2 Typische Symptome chronischer Beanspruchung durch HAS	9
1.3.2.1 Gefäßerkrankungen	9
1.3.2.2 Neurologische Erkrankungen	11
1.3.2.3 Degenerative Veränderungen der Knochen und Gelenke	12
1.3.2.4 Weitere Krankheitsbilder	12
1.3.3 Typische Symptome chronischer Beanspruchung durch GKS	12
2 Stoßhaltige Hand-Arm-Schwingungen	15
2.1 Aufgabenstellung	15
2.2 Theoretischer Teil	17
2.2.1 Schwingungsbelastung durch Eintreibgeräte	17
2.2.2 Messen stoßhaltiger Schwingungen	19
2.2.2.1 Normen und Richtlinien	19
2.2.2.2 Literaturanalyse	20
2.2.3 Wirkung und Bewertung stoßhaltiger Schwingungen	25
2.2.3.1 Normen und Richtlinien	25
2.2.3.2 Literaturanalyse	25
2.2.4 Einfluss der Greif- und Andruckkräfte	33
2.3 Experimenteller Teil	42
2.3.1 Versuchsaufbau, -methode, -durchführung	42
2.3.2 Ermittlung der Schwingungsbelastung	46
2.3.2.1 Ergebnisse	46
2.3.2.2 Diskussion	52
2.3.3 Ermittlung der Schwingungsbeanspruchung	55
2.3.3.1 Ergebnisse	55
2.3.3.2 Diskussion	58
2.4 Vorschlag zur Einarbeitung in die existierenden Normen und Richtlinien	61
2.5 Zusammenfassung	63
3 Mehraxiale Ganzkörper-Schwingungen	65
3.1 Aufgabenstellung	65
3.2 Theoretischer Teil	66
3.2.1 Literaturstudie	66
3.2.1.1 Biodynamische Übertragung	67
3.2.1.2 Subjektive Wahrnehmung	69
3.2.2 Schwingungsmodelle	72
3.2.3 Normen und Richtlinien	73
3.3 Experimenteller Teil	75

3.3.1 Biodynamische Schwingungsübertragung	76
3.3.1.1 Versuchsaufbau, -methode, -durchführung	76
3.3.1.2 Ergebnisse	78
3.3.1.3 Diskussion	96
3.3.2 Subjektive Wahrnehmung	103
3.3.2.1 Versuchsaufbau, -methode, -durchführung	103
3.3.2.2 Ergebnisse	104
3.3.2.3 Diskussion	108
3.4 Vorschlag zur Einarbeitung in die existierenden Normen und Richtlinien	111
3.5 Zusammenfassung	113
4 Literaturverzeichnis	115
5 Anhang	125
5.1 Normen, Richtlinien und Verordnungen	125
5.2 Normungsausschüsse	127
5.3 Statistik	128
5.4 Statistische Auswertung (Hand-Arm-Schwingungen)	129
5.5 Statistische Auswertung (Ganzkörper-Schwingungen)	131

Formelzeichen und Abkürzungen

Symbol	Abkürzungen
BK	Berufskrankheit
BeKV	Berufskrankheitenverordnung
CD	Committee Draft
CEN	Europäisches Komitee für Normung
CTS	Carpaltunnelsyndrom
DMS	Dehnmeßstreifen
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EA	Elektrische Muskelaktivität
EA _{dyn}	Elektrische Muskelaktivität unter dynamischer Belastung
EA _{rel}	Relative Elektrische Muskelaktivität
EA _{stat}	Elektrische Muskelaktivität unter statischer Belastung
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Währungsgemeinschaft
GKS	Ganzkörper-Schwingung
HAS	Hand-Arm-Schwingung
ISO	Internationale Standard Organisation
TTS	Temporary Threshold Shift
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VVS	Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom
VWF	Vibration-induced White Finger
WD	Working Draft

Definition der Schwingungsrichtungen bezogen auf Ganzkörper-Schwingungen

Bezeichnung	Beschreibung	Andere Ausdrücke
x-Richtung	Von hinten nach vorn	Horizontal Sagittal Dorso-ventral Fore-and-Aft (englisch)
y-Richtung	Von rechts nach links	Horizontal Lateral Transvers
z-Richtung	Von unten nach oben	Vertikal

Symbol	Statistische Größen
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
m _A	Arithmetischer Mittelwert
n	Anzahl der Ereignisse
r	Maßkorrelationskoeffizient
s	Standardabweichung der Stichprobe
T	Prüfgröße
V	Variabilitätskoeffizient
VB _{95%}	Vertrauensbereich 95 %

Symbol	Einheit	Physikalische Größen
a	m/s^2	Beschleunigung
a_{hi}	m/s^2	Effektivbeschleunigung Hand-Arm (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
a_i	m/s^2	Effektivbeschleunigung Ganzkörper (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
a_{hw}	m/s^2	Frequenzbewertete Beschleunigung Hand-Arm (Vektorbetrag)
a_{hwi}	m/s^2	Frequenzbewertete Beschleunigung Hand-Arm (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
$a_{hwi}(F_{COP})$	m/s^2	Ankopplungskraftabhängige frequenzbewertete Beschleunigung Hand-Arm (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
a_p oder a_{max}	m/s^2	Spitzenbeschleunigung oder Maximalbeschleunigung
a_{rms}	m/s^2	Energieäquivalente Effektivbeschleunigung
a_v	m/s^2	Frequenzbewertete Beschleunigung Ganzkörper (Vektorbetrag)
a_{wi}	m/s^2	Frequenzbewertete Beschleunigung Ganzkörper (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
$A(8)$	m/s^2	Tägliche Schwingungsexposition
cf	1 [dB]	Crestfaktor
C_{COP}	1	Ankopplungsfaktor
f	1/s, Hz	Frequenz
F	N	Kraft
F_{fe}	N	Andruckkraft
F_{gr}	N	Greifkraft
F_{COP}	N	Ankopplungskraft
I	1 [dB]	Impulsiveness
k_i	1	Korrekturfaktor für mehraxiale GKS (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
K_i	1	Bewertete Schwingstärke Ganzkörper (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
KH_i	1	Bewertete Schwingstärke Hand-Arm (Schwingungsrichtung $i = x, y, z$)
m	Kg	Masse
P	J	Absorptionsenergie
R	1/s	Stoßrate
SBM	1	Stoßbewertungsmaß
SF	1	Scheitelfaktor
t	s	Zeit
T_i	s	Expositionszeit
TTS_v	m/s^2	Zeitliche Verschiebung der Vibrationswahrnehmungsschwelle
v	m/s	Geschwindigkeit
V	1	Übertragungsfaktor
W_d	1	Frequenzbewertung GKS x-Richtung, y-Richtung
W_k	1	Frequenzbewertung GKS z-Richtung
x	1	Schwingungsrichtung horizontal
y	1	Schwingungsrichtung lateral
z	1	Schwingungsrichtung vertikal