

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] •Mertins, K.-H.: Theoretische und apparative Voraussetzungen zur Traktoreinsatzoptimierung mit Hilfe von Fahrerinformationssystemen. 1. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1984.
- [2] Schimmel, J. u. H. Hulla: Einsatzoptimierung von Acker-schleppern durch elektronische Fahrerinformation. Grndl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 5/10.
- [3] Mertins, K.-H., Bergmann, E. u. J.-C. Kipp: Zum Stand der Entwicklung von Fahrerinformationssystemen bei Acker-schleppern. Grndl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 4, S. 163/69.
- [4] Kipp, J.-C.: Fahrerinformationssysteme für Traktoren. Landwirtschaftliches Unternehmer-Seminar Gut Schlüterhof Nr. 8 (1984) S. 81/101.
- [5] Grogan, J., D.A. Morris, S.W. Searcy, H.T. Wiedemann u. B.A. Stout: Microcomputer-based information feedback system for improving tractor efficiency. ASAE Paper 84-1594, St. Joseph, Michigan 1984.
- [6] Chancellor, W.J. u. N.C. Thai: Controlling tractor engine and transmission automatically. ASAE Paper 83-1061, St. Joseph, Michigan 1983.
- [7] Steyr-Daimler-Puch AG, Österreich, Firmenunterlagen.
- [8] •Geiger, F.: Energiekonzept für die Landwirtschaft am Beispiel Österreichs. Wien: Metrica Fachverlag Bartatz 1982.
- [9] Renault, Frankreich, Firmenunterlagen.
- [10] Morris, D.A., J. Grogan, S.W. Searcy, H.T. Wiedemann, A.M. Low u. B.A. Stout: Potential fuel savings using a tractor-operator feedback system. ASAE Paper 84-1077, St. Joseph, Michigan 1984.
- [11] Schrock, M.D., D.K. Matteson u. J.G. Thomson: A gear selection aid for agricultural tractors. ASAE Paper 82-5515, St. Joseph, Michigan 1982.
- [12] Bergmann, E. u. J.-C. Kipp: Programm zur dynamischen Simulation des Systems Traktor—Gerät—Boden, OPTDISP (CSMP). Unveröffentl. Bericht Inst. f. Landtechnik, TU Berlin, August 1983.
- [13] Jahns, G.: A method of describing diesel engine performance maps. ASAE Paper 83-103, St. Joseph, Michigan 1983.
- [14] Kipp, J.-C. u. E. Bergmann: Die Abgastemperatur als Maß für die Motorauslastung und den Kraftstoffverbrauch von Dieselmotoren. Grndl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 5, S. 170/76.
- [15] Kipp, J.-C. u. E. Bergmann: Einsatz von Nadelhubsen-soren zur Bestimmung von Motormoment und Kraftstoff-verbrauch in Nutzfahrzeugdieselmotoren. Unveröffentl. Bericht Inst. f. Landtechnik, TU Berlin, Januar 1986.
- [16] Fischer, J.: Untersuchung indirekter Meßmethoden zur Er-mittlung des Motordrehmomentes bei Dieselmotoren. Grndl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 3, S. 71/76.
- [17] Kaplick, C.: Ableitung von Motorauslastung und Kraft-stoffverbrauch aus dem Regelstangenweg und dem Einspritz-winkel am Beispiel eines 6-Zyl.-ATL-Dieselmotors für Nutzfahrzeuge. Studienarbeit Inst. f. Landtechnik, TU Berlin, 1986.
- [18] Bergmann, E. u. J.-C. Kipp: Flexibles Mikrocomputerkon-zept für den rauen, mobilen Einsatz. Veröffentlichung in Grundlagen der Landtechnik vor-gesehen.
- [19] Schön, H., G. Jahns, G. Olfe u. H. Steinkampf: Einfluß von Agrarparametern auf Zeit- und Energiebedarf einiger Schlepperarbeiten. Vortrag 40. Internationale Tagung Landtechnik, Neu-Ulm 28./29. Okt. 1982.

Schwingungsbelastung und Schwingungsbeanspruchung bei der Handhabung vibrierender Arbeitsgeräte

Von Heinrich Dupuis, Mainz*)

DK 613.644:621.936.6

Schwingungsbelastungen des Hand-Arm-Systemes entstehen bei der Handhabung vibrierender Arbeitsgeräte. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der schwingungsphysikalischen Parameter und der erforderlichen Greif- und Andruckkräfte. Die akute Beanspruchung des Menschen wird durch das biomechanische Übertragungsverhalten, die Muskelaktivität, die Hauttemperatur und die subjektive Stärke der Vibrationswahrnehmung gekennzeichnet. Chronische Auswirkungen können vorzeitigen Knochen- und Gelenkverschleiß und Störungen der peripheren Durchblutung und der Nervenfunktion betreffen. Unter den Schutzmaßnahmen stehen technische Verbesserungen an erster Stelle.

*) Prof. Dr. agr. H. Dupuis ist Leiter der Arbeitsgruppe Ergonomie am Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

1. Einleitung

In zunehmendem Maße werden zur Erfüllung bestimmter Arbeitsaufgaben von Hand geführte, vibrierende Arbeitsgeräte eingesetzt. Schwarzlose [1] ermittelte, daß in der Bundesrepublik Deutschland etwa 0,5 Mill. Erwerbstätige täglich mehr als 2 Stunden mechanischen Schwingungen durch solche Arbeitsgeräte ausgesetzt sind. Schon unmittelbar während der beruflichen Arbeiten kommt es zu bestimmten physiologischen Veränderungen, aber auch zu Mißempfindungen und möglicherweise zu Leistungsminderungen. Bei langjähriger beruflicher Einwirkung solcher Schwingungen kann es zu degenerativen Veränderungen der Knochen und Gelenke des Hand-Arm-Systemes und zu Störungen der peripheren Hautdurchblutung und der Nervenfunktion kommen. Beide Erkrankungsgebiete sind offiziell anerkannte Berufserkrankungen.

Die notwendige Verbesserung solcher Handgeräte setzt Kenntnisse über die frequenzabhängigen Wirkungen sowie über mitwirkende Faktoren voraus. Diese Kenntnisse müssen bei der Entwicklung entsprechender Prüfverfahren für das Schwingungsverhalten dieser Geräte berücksichtigt werden. Der folgende Bericht stützt sich auf Ergebnisse von Forschungsprojekten, die mit finanzieller Unterstützung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie und den Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bonn, durchgeführt wurden.

2. Schwingungsbelastung

Im Sinne des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes (Rohmert [2]) sind Schwingungsbelastung und Schwingungsbeanspruchung voneinander zu trennen. Charakteristik, Intensität und Dauer der Schwingungsexposition, Größe der Greif- und Andruckkräfte der Hand am Gerät sowie die Umgebungstemperatur und Lärm sind in dieser Hinsicht die wichtigsten beruflichen Belastungsfaktoren, die berücksichtigt werden müssen [3]. Allerdings ist der quantitative Beitrag dieser Faktoren im einzelnen bisher nicht bekannt.

Dem Frequenzspektrum der Schwingungen am Handgriff, Beispiel in Bild 1, kommt besondere Bedeutung zu, weil das Schwingungsverhalten des Hand-Arm-Systemes in hohem Maße frequenzabhängig ist. Dabei hat der Kraftschluß zwischen Hand und Griff einen erheblichen Einfluß auf die Schwingungsübertragung auf das Hand-Arm-System und damit sowohl auf mögliche Schädigungen der Knochen und Gelenke als auch auf Störungen der Hautdurchblutung. Darüber hinaus muß damit gerechnet werden, daß niedrige Umgebungstemperaturen, wie diese z.B. bei der Arbeit im Freien während der kalten Jahreszeit auftreten, einen die Durchblutungsstörungen verstärkenden Einfluß haben. Auch für Belastungen durch Lärm ist diese synergistische Wirkung bekannt [4].

Zur Bewertung bestimmter Arbeitsplatzsituationen ist es daher unbedingt erforderlich, umfassende Belastungsanalysen durchzuführen, wenn das Risiko gesundheitlicher Gefährdung beurteilt werden soll.

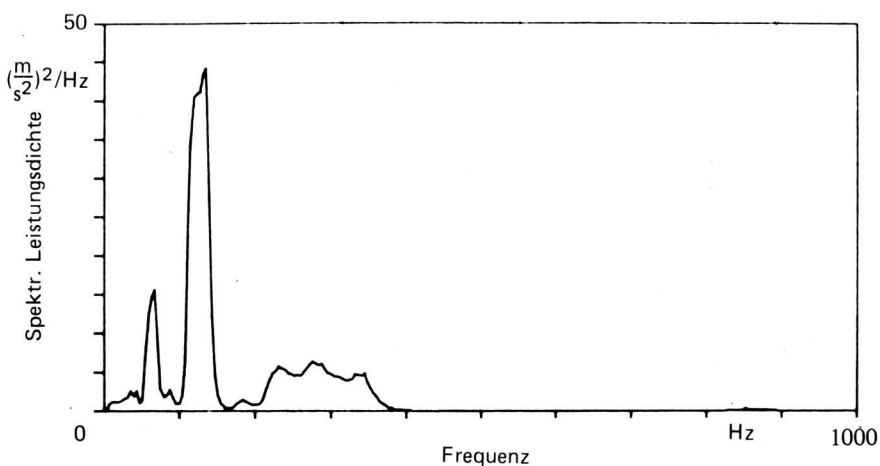
3. Beanspruchung durch Hand-Arm-Schwingungen

Eine gleichartige berufliche Schwingungsbelastung muß nicht bei allen Personen eine gleichartige Wirkung herbeiführen. Vielmehr stellen die individuellen endogenen Voraussetzungen einen weiteren mitwirkenden Faktor dar. So hängt es von der Konstitution und von eventuellen Fehlanlagen im Bereich des Hand-Arm-Systemes ab, ob und ggf. in welchem Umfange chronische Gesundheitsschädigungen auftreten. Auch die Wirkung auf die subjektive Befindlichkeit und auf akute Störungen ist von der momentanen Disposition und der Motivation des Betroffenen abhängig.

3.1 Direkte Wirkungen

Die direkten Auswirkungen mechanischer Schwingungsbelastung sind mit Hilfe akut auftretender Veränderungen meßbar. Für diese ist entscheidend, in welcher Weise und in welchem Umfange die in die Hände eingeleiteten Schwingungen sich im menschlichen Körper fortpflanzen. Zur Beantwortung dieser Frage mußte das biomechanische Schwingungsverhalten des Hand-Arm-Systemes experimentell untersucht werden.

Bei Schwingungen, die in der Richtung des Unterarmes auftreten, kommt es mit zunehmender Frequenz im Frequenzbereich zwischen 10 und 20 Hz zur Resonanz des Handgelenkes und auch noch des Ellenbogengelenkes, Bild 2. Die Schwingungsüberhöhung beträgt hier maximal bis zu 150 %. Im Frequenzbereich oberhalb von 40 Hz wirkt das Hand-Arm-System jedoch deutlich schwingungsdämpfend.



Eff. Beschl. 49,38 m/s²

K_{ZH} 51,85

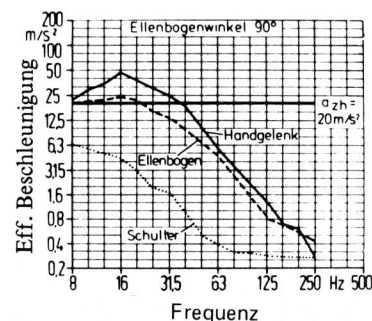


Bild 2. Frequenzabhängiges biomechanisches Übertragungsverhalten für Handgelenk, Ellenbogengelenk und Schulter.

Unterschiedliche Armhaltung sowie unterschiedliche Greif- und Andruckkräfte können das biomechanische Schwingungsverhalten beeinflussen. Der Bereich stärkster biomechanischer Gefährdung entspricht der Resonanzfrequenz, da Resonanz auch bei biologischen Geweben eine besonders hohe Beanspruchung bewirkt.

In Versuchen mit simulierten Schwingungen eines Druckluft-Aufbruchhammers, Bild 3 rechts, ließ sich zeigen, daß aufgrund der Resonanz die Beschleunigungsamplituden am Ellenbogen im Vergleich zum Handgelenk wieder größer werden. Dagegen werden die mechanischen Schwingungen einer Motorkettensäge, Bild 3 links, mit zunehmender Entfernung vom Handgriff im Hand-Arm-System abgebaut.

Bild 1. Schmalbandfrequenzspektrum (oben) und zeitlicher Verlauf der Beschleunigung (unten) für den Handgriff einer Motorkettensäge.

Motorkettensäge (MOS)

Druckluft-Aufbruchhammer (ABH)

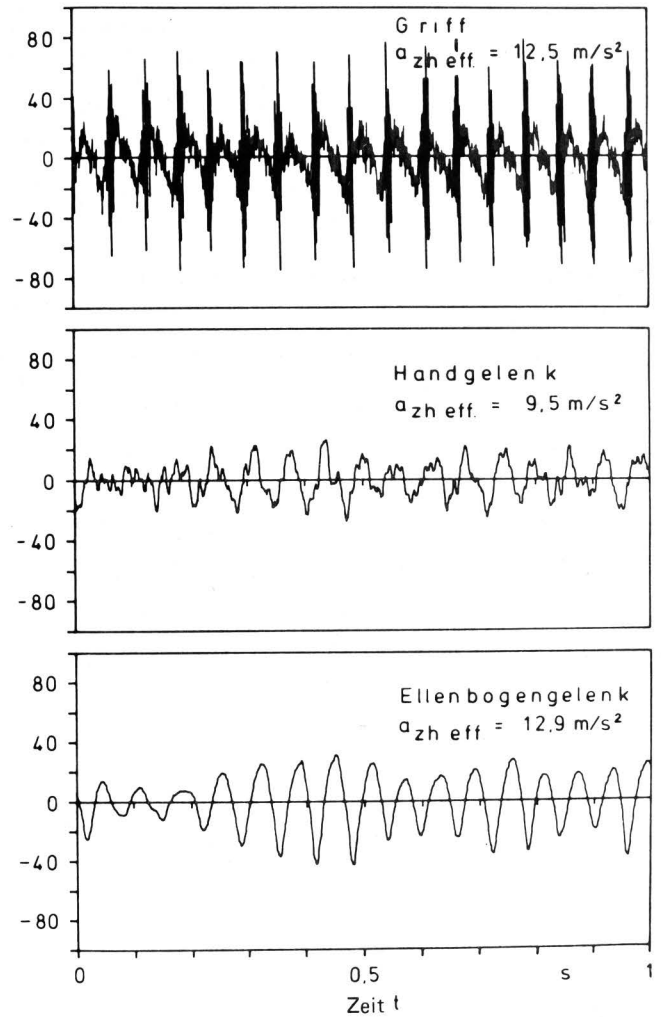
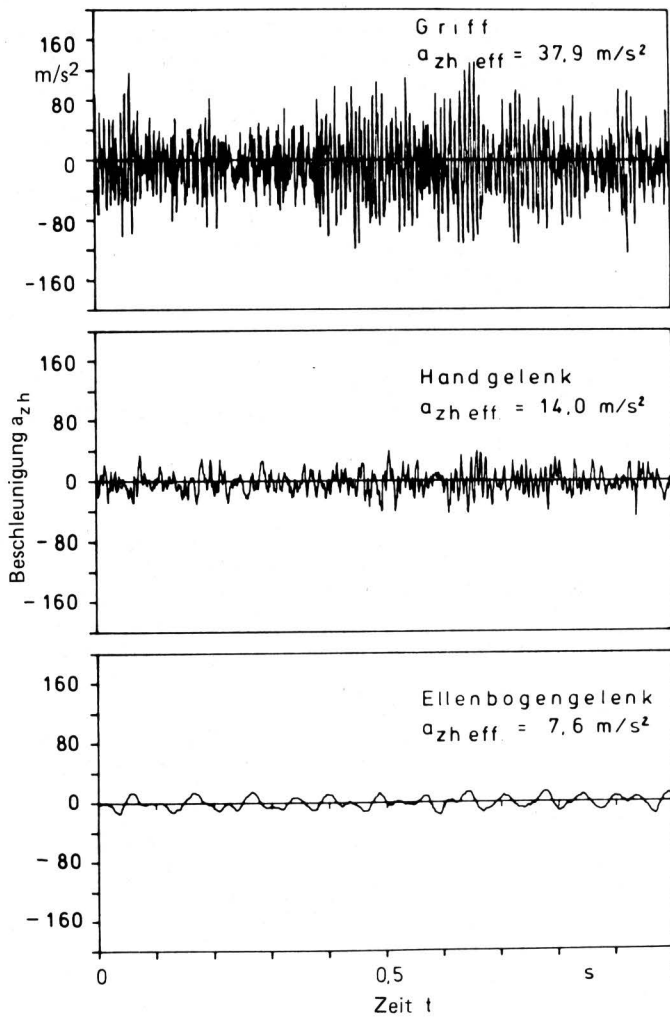


Bild 3. Schwingungsübertragung am Handgriff von Motorkettensäge (links) und Druckluft-Aufbruchhammer (rechts); dargestellt durch die Beschleunigung von Griff, Handgelenk und Ellenbogengelenk.

Dem dargelegten biomechanischen Schwingungsverhalten entspricht auch das Verhalten der größten Armmuskeln. So zeigt der *musculus triceps* im Bereich niedriger Frequenzen eine besonders hohe Aktivität, wie sich durch elektromyographische Messungen belegen ließ, Bild 4. Mit weiter zunehmender Frequenz wird die Muskelaktivität deutlich reduziert. Diese Aussagen gelten für verschiedenartige Armhaltungen, ausgedrückt in Winkelgraden für den Ellenbogenwinkel. Die erhöhte Muskelaktivität kann als physiologischer Abwehrmechanismus gegen die Resonanzschwingungen gedeutet werden.

Da langjährige Schwingungsexposition, z.B. bei Motorsägenführern, zu peripheren Durchblutungsstörungen führen kann, war naheliegend zu untersuchen, ob sich auch unter direkter Schwingungsbelastung die periphere Durchblutung der Haut reduziert. Diese Frage kann am besten durch indirekte Methoden, z.B. Messungen der Hauttemperatur untersucht werden. In entsprechenden Versuchen hat sich gezeigt, daß die Fingerkuppentemperatur bereits bei statischer Greifkraft, d.h. bei festem Umfassen des Griffes, absinkt.

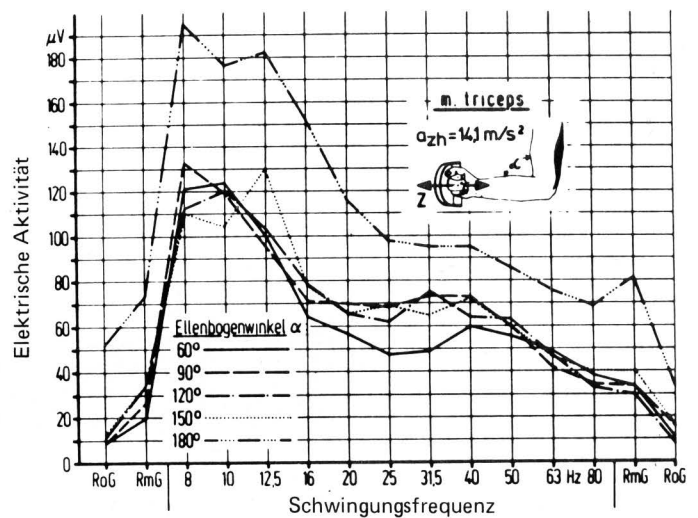


Bild 4. Elektrische Aktivität des *musculus triceps* bei Schwingungseinleitung in die Hand in Abhängigkeit von der Frequenz für verschiedene Winkel des Ellenbogengelenks.

RoG Ruhebedingungen ohne Greifkraft
RmG Ruhebedingungen mit Greifkraft

Vergleichende Untersuchungen mit Belastung durch weitere Faktoren lassen erkennen, daß Lärmbelastung mit 95 dB(A) allein zu vorwiegend initialer Reduzierung der Hauttemperatur führt, Bild 5. Beim Aufbringen von statischer Haltekraft (25 N Greifkraft und 50 N Andruckkraft) ist die Minderung der Hauttemperatur deutlicher ausgeprägt und anhaltender. Im Kombinationsversuch mit gleichzeitiger statischer Belastung und Schwingungsbelastung ist der Effekt noch stärker und bei zusätzlicher Mitwirkung von Lärm am stärksten ausgeprägt. Die beiden zuletzt genannten Versuchsvarianten führten jedoch nicht zu signifikanten Unterschieden der dargestellten Mittelwerte.

Weitere Experimente sind zum Einfluß unterschiedlicher Frequenzen auf die Vibrationswahrnehmung angestellt worden. Hierbei hat sich deutlich gezeigt, daß mit zunehmender Frequenz die Schwingbeschleunigung erhöht werden muß, um einen gleichstarken Effekt zu erreichen, Bild 6. Diese Aussage gilt für drei verschiedene Intensitätsstufen.

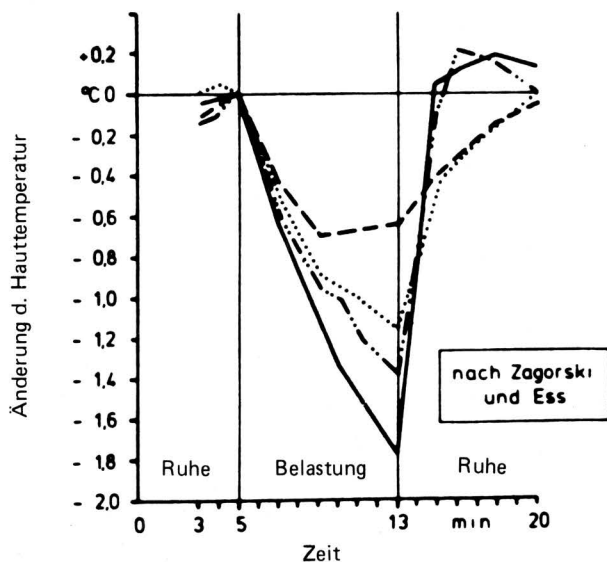


Bild 5. Änderung der Hauttemperatur an der rechten Hand bei Einwirken verschiedenartiger Belastungen.

- statische Haltekraft (25/50 N)
- Lärm (95 dB(A))
- · - · - Schwingungen (K = 28) + statische Haltekraft
- Schwingungen + stat. Haltekraft + Lärm

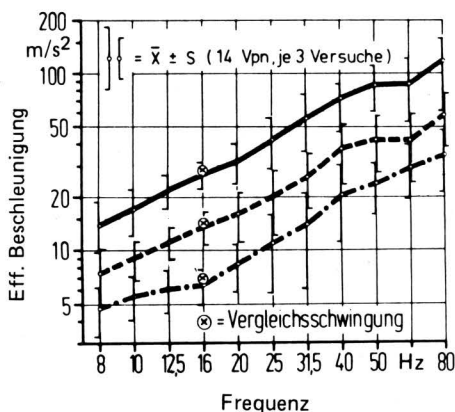


Bild 6. Kurven gleichstarker Wahrnehmung von Schwingungsbeschleunigungen in Abhängigkeit von der Frequenz bei Schwingungseinleitung in die Hand.

3.2 Wirkungen nach langjähriger Belastung

Langjährige Schwingungsbelastung kann zu chronischen Gesundheitsschäden führen. Bei Arbeiten mit Geräten, die niedrigfrequente Schwingungen (10–20 Hz) erzeugen und die mit großen Haltekraften geführt werden müssen, wie z.B. Aufbruchhämmer und Abbauhämmer, kann es zu vorzeitigen degenerativen Veränderungen an den Knochen und Gelenken des Hand-Arm-Systems kommen. Es handelt sich dabei um die Berufskrankheit Nr. 2103, die in den letzten 40 Jahren in mehr als 10000 Fällen anerkannt wurde. Vor allem das Ellenbogengelenk und das Handgelenk werden hiervon betroffen.

Die Berufskrankheit Nr. 2104 wurde dagegen erst in die letzte Änderung der Liste der Berufskrankheiten aufgenommen. Sie betrifft Störungen der peripheren Hautdurchblutung und des peripheren Nervensystems der Hände. Diese Erkrankung findet sich vor allem bei Personen, die mit Motorkettensägen und Schleifmaschinen arbeiten.

Das Krankheitsbild läßt sich durch einen stadienhaften Ablauf einer Gefäßverengung mit einzelnen oder mehreren weißverfärbten, gefühllosen, manchmal versteiften Fingern und Kälteempfindung beschreiben (Weißfingerkrankheit). Bezeichnend ist dabei, daß solche Attacken in der Regel nicht während der Arbeit auftreten, da dann wegen des erhöhten Energieumsatzes der Blutkreislauf ebenfalls verstärkt ist. Vielmehr treten die Anfälle häufig während der Freizeit oder auch während der Nacht auf und werden durch subjektiv beschwerdefreie Perioden unterbrochen.

Anfangs zeigt sich eine Weißverfärbung der einzelnen Finger, die gelegentlich auch bläuliche Farbe annehmen können. Dabei besteht im allgemeinen Schmerzfreiheit, jedoch ist eine Herabsetzung der Empfindung gegeben. Als Folge davon wird jegliche manuelle Arbeit, insbesondere solche mit feinmotorischer Koordination, erschwert. Die Gefäßverengung läßt nach einer Zeit von einigen Minuten bis zu einer Stunde nach, abhängig vom Grad der Erkrankung und der Möglichkeit, die Hände wieder zu erwärmen. Im Laufe der Wiedererwärmung stellt sich eine Hyperämie (vermehrte Durchblutung mit Rötung der Hand) ein, die im allgemeinen als schmerzhaft empfunden wird.

Motorsägenführer sind von dieser Erkrankung relativ häufig betroffen, jedoch keinesfalls alle, da offensichtlich eine individuelle Widerstandsfähigkeit vorliegen kann. Das Auftreten der Erkrankung beschreiben die Motorsägenführer im allgemeinen nach einer Einwirkungszeit von 5 bis 10 Jahren, wobei auch die durchschnittliche Dauer der täglichen Exposition berücksichtigt werden muß. Nach japanischen Untersuchungen ist zu erwarten, daß bei einer täglichen Expositionsdauer von weniger als 2 Stunden die Weißfingerkrankheit praktisch nur noch ganz selten auftritt.

Aufgrund epidemiologischer Untersuchungen, die im Ausland durchgeführt worden sind, konnte für die ISO-Richtlinie 5349 der Dosis-Wirkungs-Zusammenhang dargestellt werden. Hieraus läßt sich eine statistische Voraussage zum Risiko (Häufigkeit der Weißfingererkrankungen in %) aufstellen, Bild 7. Bei vorgegebener Schwingungsbelastung (K-Wert) und durchschnittlicher täglicher Expositionsdauer kann die Wahrscheinlichkeit für die Häufigkeit des Auftretens dieser Erkrankung mit ersten Symptomen vorausgesagt werden. Jede Minderung der Schwingungsbelastung oder der täglichen Expositionsdauer führt zu einer Minderung des Risikos.

4. Prävention

Gegen das Risiko vibrationsbedingter gesundheitlicher Schädigungen lassen sich folgende Maßnahmen vorsehen [5]:

1. Schwingungsminderung an der Quelle
2. Minderung der Schwingungsübertragung (z.B. vibrationsgedämpfte Handgriffe)
3. Persönliche Schutzmaßnahmen (z.B. Verhinderung der Unterkühlung der Hände)

4. Organisatorische Maßnahmen (z.B. Reduzierung der täglichen Expositionsdauer)
5. Arbeitsmedizinische Maßnahmen (Erstuntersuchungen und regelmäßige Nachuntersuchungen).

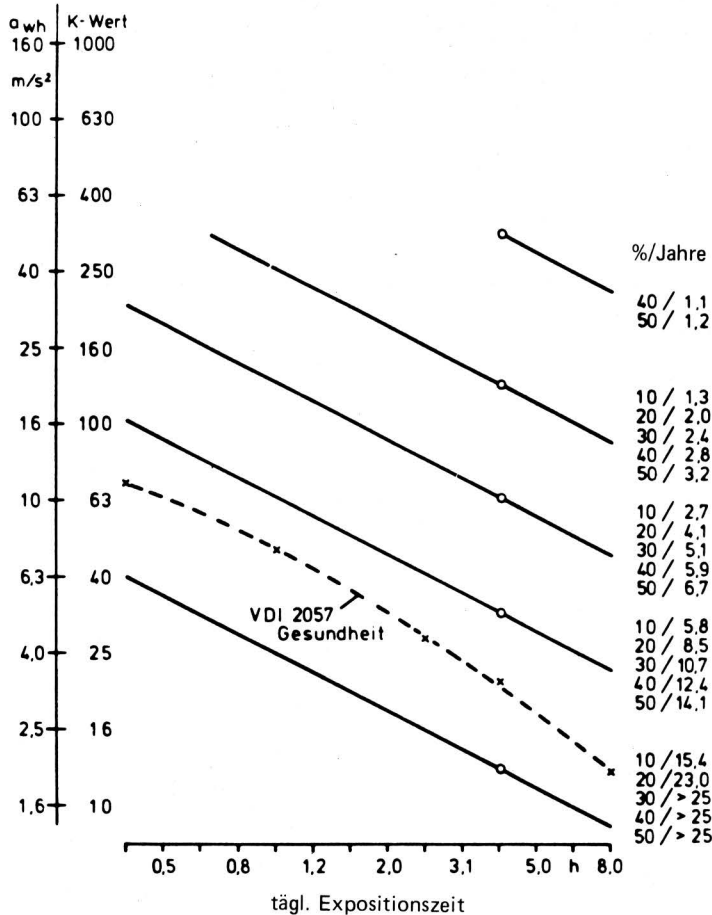


Bild 7. Gesundheitsrisiko vibrationsbedingter Durchblutungsstörungen der Hände (Stadium I) in Abhängigkeit von K-Wert und täglicher Expositionsdauer; dargestellt als Kurven gleicher relativer Häufigkeit der Erkrankungen bezogen auf die Belastungsdauer in Jahren bis zum Auftreten erster Krankheitssymptome.

Im Arbeitskreis FANAK/VDI C7.3-4 "Hand-Arm-Schwingungen" werden zur Zeit Prüfverfahren entwickelt, um das Schwingungsverhalten verschiedener Gerätegruppen vergleichend prüfen zu können. Für Motorkettensägen gibt es bereits ein derartiges Prüfverfahren. Der Ausschuß "Arbeitsmedizin" des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften befaßt sich darüber hinaus mit der Entwicklung eines Berufsgenossenschaftlichen Grundsatzes "Hand-Arm-Schwingungen", in dem Methodik und Umfang arbeitsmedizinischer Erstuntersuchungen und regelmäßiger Nachuntersuchungen festgelegt werden sollen.

5. Zusammenfassung

Berufliche Tätigkeit mit stark vibrierenden, von Hand geführten Arbeitsgeräten führt zu akuten biomechanischen, physiologischen und subjektiven Reaktionen und kann nach langjähriger Exposition chronische Erkrankungen bewirken, die vorzeitigen Knochen- und Gelenkverschleiß und Störungen der peripheren Nervenfunktion und der Durchblutung der Haut der Finger betreffen. Eingehende Kenntnisse der Wirkungen solcher Schwingungen sind Voraussetzung, um effektive technische Schutzmaßnahmen entwickeln zu können.

Schrifttum

- [1] Schwarzlose, H.: Vorkommen von Hand-Arm-Vibrationen bei beruflich Tätigen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Bd. 35 (1981) H. 4, S. 227/34.
- [2] Rohmert, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Bd. 38 (1984) H. 4, S. 193/200.
- [3] Dupuis, H.: Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Forschungsbericht Nr. 308, Dortmund, 1982.
- [4] Dupuis, H., L. Ess u. J. Zagorski: Akute Veränderungen der peripheren Fingerdurchblutung unter Lärm, statischer Belastung und Schwingungsbelastung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Bd. 36 (1982) H. 4, S. 243/46.
- [5] Schäfer, N., H. Dupuis u. E. Hartung: Schwingungsminde- rung am Arbeitsplatz. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Forschungsbericht Nr. 305, Dortmund, 1982.

Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

Internationale Tagung Landtechnik 1986

Die in Zusammenarbeit der VDI-Fachgruppe Landtechnik mit der Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik (MEG) veranstaltete Tagung ist für den 23. und 24. Oktober 1986 im Edwin-Scharf-Haus in Neu-Ulm/Donau geplant.

Es sind etwa 60 Einzelvorträge in vier Parallelzügen vorgesehen, wobei, vielfachen Anregungen folgend, die "Technik um das Rind" dieses Mal einen besonderen Schwerpunkt bilden soll.

Insgesamt sind für die Tagung die folgenden Themenkreise gewählt:

1. Ackerschlepper

Markt und Einsatz, Sonderbauarten (bes. für Grünland), Schnittstellen zu Geräten, Komponenten (Fahrwerk, Motoren, Getriebe, Hydraulik, Fahrerplatz)

2. Technik um das Rind

Futterernte und -Konservierung (mit Transporttechnik), Technik der Rinderhaltung (Haltungskonzepte, Fütterungstechnik, Melktechnik, Flüssigmistlagerung und -ausbringung) Bautechnik