

# Schwingungen fest im Griff

## Neues System zur Messung von Ankopplungskräften

Uwe Kaulbars, Sankt Augustin

Die Übertragung der Schwingungen von handgeführten Arbeitsmaschinen auf das Hand-Arm-System kann zu einer Gesundheitsgefährdung führen. Die derzeitige Beurteilungsgröße ist die am Griff gemessene Schwingbeschleunigung. Diese beschreibt das Maß der Gefährdung nur unvollständig. Seit Längerem ist bekannt, dass die Ankopplungskräfte einen erheblichen Einfluss auf die Schwingungsbelastung sowie auf die Beanspruchung haben. Aufgrund der bisher fehlenden Messtechnik ist der Kenntnisstand der Interaktion zwischen Hand und Handgriff sehr gering. Im Rahmen des von der EU geförderten Projekts „VIBTOOL“<sup>(1)</sup> wurde ein Messsystem entwickelt, mit dem die Größe und Verteilung der Ankopplungskräfte erfasst und analysiert werden können. Vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGIA wurde der Projektteil der praktischen Erprobung des Systems im betrieblichen Einsatz übernommen, dessen Durchführung und Ergebnisse hier dargestellt werden.

Mit der bevorstehenden Umsetzung der EU-Vibrationsrichtlinie [1] werden Betriebe künftig verpflichtet, Vibrationsminderungsmaßnahmen zu ergreifen, wenn beim Umgang mit vibrierenden Arbeitsgeräten eine Auslöseschwelle überschritten wird. Technische Maßnahmen zur Verringerung der Gefährdung, z. B. nach DIN V 45695 [2], werden damit an Bedeutung gewinnen. Für die Konstruktion vibrationsarmer Maschinen sowie bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen sind die Parameter, die die Schädigungsmechanismen beschreiben, messtechnisch zu ermitteln und zu berücksichtigen. Diese Parameter sind die Zeit- und Frequenzstruktur der Schwingungen sowie die aufzubringenden statischen Halte-, Andruck- und Greifkräfte.

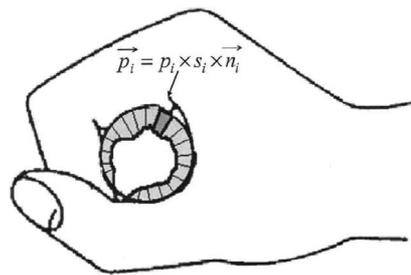
In zahlreichen Veröffentlichungen sowie insbesondere im Forschungsbericht Hand-Arm-Schwingungen III [3] wird die Wirkung von Greif- und Ankopplungskräften unter Schwingungsbelastung auf das biodynamische Schwingungsverhalten, die Hauttemperatur und Vibrationswahrnehmungsschwelle beschrieben. Mit der DIN 45679 [4] werden erstmalig termi-

Andruckkraft

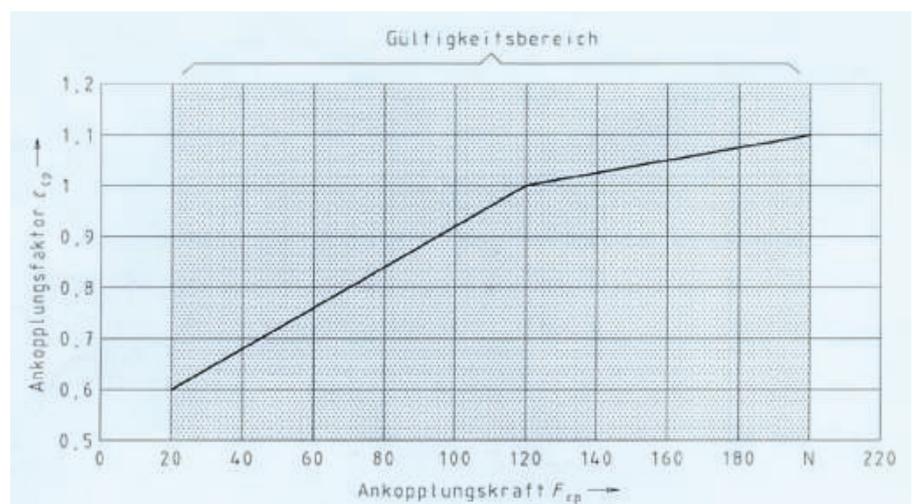
$$\vec{F}_p = \sum_i p_i \times s_i \times \vec{n}_i$$

Greifkraft

$$F_g = \frac{1}{2} \left( \sum_i |p_{i,x}| - F_{p,x} \right)$$



**Bild 1** Definition der Ankopplungskräfte nach ISO/DIS 15230.



**Bild 2** Einfluss der Ankopplungskräfte nach DIN 45679.

<sup>1)</sup>An dem Projekt unter der Leitung der Universität Politecnica Ancona (Italien) waren die Prüfinstitute CNR-Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra (Italien), INRS – Institut National de Recherche et de Sécurité (Frankreich) sowie die Universität Southampton (Großbritannien) und die Fa. Novel GmbH (Deutschland) beteiligt.

nologisch die verschiedenen Kräfte definiert und ein Mess- und Beurteilungsverfahren festgelegt.

Die Begriffe der Greif- und Andruckkraft orientieren sich an der in den 1990er Jah-

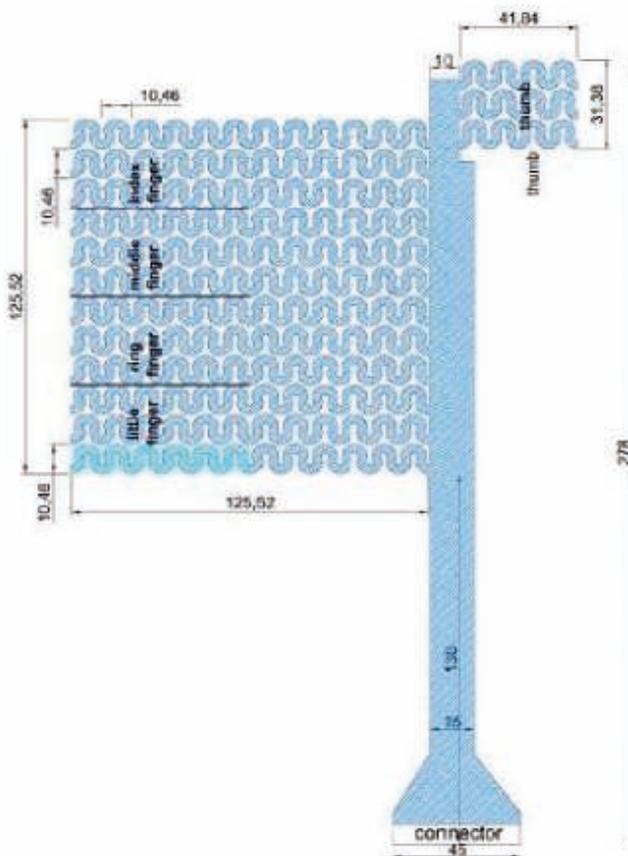
ren zur Verfügung stehenden Messtechnik. So wird die Greifkraft als zangenartig wirkende Kraft definiert, die von der Hand beim Umschließen des Griffs innerhalb der Hand durch entgegengesetzte Teil-

**Tabelle 1** Übersicht der untersuchten Arbeitsgeräte.

Arbeitsbereich	Arbeitsgerät	Hersteller/Typ	Antriebsart	Gewicht in kg	Griffform	Griffmaterial	Dreh-/Schlagzahl in Hz	Vibrationsprüfnorm EN ISO 8662 [7]
Baustelle Betonbearbeitung	Aufbruchhammer	Lifton LH 21	hydraulisch	24,5	T-Griff	Gummi-ummantelung	22–36	Teil 5
Baustelle Betonbearbeitung	Meißelhammer	Hilti TE 950-AVR	elektrisch	11,3	D-Griff oval	Gummi-ummantelung	36,6	Teil 5
Aluminiumhütte Verdichten von Füllungen	Stamper	Frölich und Klüpfel ST2P2G	pneumatisch	14,3	Hauptgriff: zylindrisch mit Schaltbügel Seitengriff: zylindrisch	Metall	13,3	Teil 9
Instandhaltung Metallverarbeitung	Winkelschleifer	Bosch GWS 24/180	elektrisch	5,1	Hauptgriff: oval mit integrierter Schaltleiste Seitengriff: zylindrisch	Kunststoffschale	141,5	Teil 4



**Bild 3** Auswahl typischer Arbeitsgeräte.



**Bild 4** „Finger-Matrix“ Kompromiss aus Messhandschuh und starrer Sensormatte.

kräfte kompensiert wird. Die Andruckkraft ist hingegen die nach außen auf die Maschine wirkende Kraft, die nicht innerhalb der Hand kompensiert wird. Sie konnte bisher nur indirekt durch eine Messplattform ermittelt werden, auf dem der Maschinenbenutzer stand. Weiterführende Definitionen der beim „Hand-Maschine-Kontakt“ wirkenden Kräfte werden in der ISO/DIS 15230 [5] beschrieben. Die in **Bild 1** dargestellten Definitionen der Greif- und Andruckkraft stimmen in beiden Normen überein.

Eine Beurteilung, wie sich die Höhe der Ankoppelungskraft auf die Schwingungsbelastung auswirkt, enthält bisher ausschließlich die DIN 45679 [4]. Den Zusammenhang zwischen der Ankoppelungskraft und der Korrektur der einwirkenden Schwingungen zeigt **Bild 2**.

Zur Beurteilung der Arbeitsplatzmessungen kann durch Multiplikation der Messgröße frequenzbewertete Beschleunigung mit einem Ankoppelungsfaktor die ankoppelungsabhängige Messgröße ermittelt werden. Das Verfahren fügt sich damit in die bereits bestehenden Mess- und Beurteilungsverfahren (DIN EN ISO 5349 [6]) ein. Mit der bisherigen Messtechnik, die auf der Basis von Dehnungsmessstreifen arbeitet, konnten die Kräfte nur unvollständig und summarisch erfasst werden.

Mit einer neuen Sensormesstechnik, die ursprünglich für den medizinischen Bereich entwickelt wurde, kann die Druckverteilung mit Sensormatten erfasst werden. Die Sensormatten basieren auf der kapazitiven Messtechnik. Aus der Druckverteilung können die Kraftverteilung und die normgerechten Parameter berechnet werden.

Bis zur Entwicklung eines für den Praxistest geeigneten Prototyps war eine Vielzahl von Entwicklungsschritten und Labortests notwendig. Diese Arbeiten wurden von den anderen Projektpartnern durch-



**Bild 5** Überprüfung des Messsystems mit Referenzmesskette.



**Bild 6** Beschleunigungsaufnehmer am Hauptgriff des Winkelschleifers mit integriertem Schalter.



**Bild 7** Stampfergriff mit Schalter.

geführt und werden in gesonderten Veröffentlichungen dargestellt.

### Auswahl typischer Arbeitsgeräte und -plätze

Ausgehend von einer Studie der unterschiedlichen Griffformen und Arbeitsgeräte [3] wurden typische Arbeitsgeräte

ausgewählt. In **Tabelle 1** sind die in der betrieblichen Praxiserprobung verwendeten Arbeitsgeräte mit den wesentlichen Kenndaten zusammengestellt. **Bild 3** zeigt die Geräte mit den Griffen in unterschiedlichen Maßstäben. Ein Indikator für die Relevanz einer Gerätegruppe ist der Überarbeitungsstand der spezifischen Emissionsmessnormen nach der Reihe ISO 8662 [7]. Die Auswahl der Arbeitsplätze im Bereich der Bauwirtschaft und Metallverarbeitung orientierte sich an den Wirtschaftszweigen in denen neben dem Bergbau und der Holzwirtschaft das größte Vibrationsrisiko zu verzeichnen ist.

### Erprobung im betrieblichen Einsatz

#### Durchführung der Messungen

Die grundlegenden unterschiedlichen Anbringungsmöglichkeiten der Sensoren am Griff und direkt an der Hand in der Form eines Messhandschuhs erfolgte parallel in Laboruntersuchungen. Die nicht zu standardisierenden Greifmöglichkeiten mit einem Messhandschuh führten zu einer Kombination von beiden Anbringungsmöglichkeiten, der sog. „Finger-Matrix“ (s. **Bild 4**). Sie ermöglicht eine flexible Anpassung der Fingergriffflächen an der Griffoberfläche und besitzt für den Daumen einen gesonderten Bereich.

Die betriebliche Erprobung mit der Finger-Matrix erfolgte mit zwei Messsystemen, so dass die Ankopplungskräfte beider Hände parallel erfasst werden konnte. In den Fällen, in denen die Positionierung des Beschleunigungsaufnehmers und der „Finger-Matrix“ dies zuließ, wurden zeitgleich zu den Ankopplungskraftmessungen die Vibrationsmessungen nach DIN EN ISO 5349-2 [6] durchgeführt.

Die Messstrategie orientierte sich an der Vibrationsmessnorm [6] und an der ISO/DIN 15230 [5] sowie an der deutschen Norm zur Messung und Beurteilung der Greif- und Andruckkraft DIN 45679 [4]. Jede Messreihe wurde mit fünf Wiederholungsmessungen durchgeführt. Am Stampfer und am Winkelschleifer erfolgten die Messungen mit zwei Versuchspersonen. Die unterschiedlichen Greifsituationen und Körperhaltungen während der Messwerterfassung wurden mit Videoaufnahmen dokumentiert.

Zur Überprüfung der Messkette am Einsatzort und zur Ermittlung der Andruckwinkel wurde vor jeder Messreihe eine statische Kraftmessung durchgeführt. Dazu steht die Versuchsperson auf einer Kraft-



**Bild 8** Modifizierter Griff des Winkelschleifers.



**Bild 9** Modifizierter Griff des Stampfers.



**Bild 10** Hilfsgriff am Winkelschleifer.



**Bild 11** Anbringung der „Finger-Matrix“ am Hilfsgriff des Winkelschleifers.

messplattform und drückt in typischer Arbeitsposition auf das Arbeitsgerät (siehe **Bild 5**). Die Messplattform dient dabei als Referenzmesssystem.

### Besonderheiten und Problemstellung bei der Messdurchführung

Beim Aufbruchhammer sind die Griffe als „T-Griff“ symmetrisch angeordnet. Hier war es ausreichend, die Messung der Ankopplungskraft auf eine Hand zu beschränken und zeitgleich auf der anderen Griffseite die Schwingungseinwirkung zu erfassen. Bei den anderen Arbeitsgeräten, bei denen die Griffgröße sowie das Eigenschwingungsverhalten des Griffs keine Platzierung des Beschleunigungssensors und der „Finger-Matrix“ zulässt (siehe Beispiel **Bild 6**), mussten die Vibrationsmessungen und Kraftmessungen nacheinander erfolgen. Bei Arbeitsgeräten, bei denen der Schalter durch eine Schaltleiste im Griff integriert (z. B. Winkelschleifer **Bild 6**) oder der Griff verändert (z. B. Stampfer, **Bild 7**) war, musste aufgrund der mechanischen Empfindlichkeit der Sensoren der Griff modifiziert werden. Dazu wurde der Schalter blockiert und der Griff einschließlich Schalter mit einer dünnen Matte ummantelt. Die **Bilder 8** und **9** zeigen solche modifizierten Griffe. Aus Gründen der Arbeitssicherheit wurden für diese Fälle die Arbeitsgeräte über einen Fußschalter bedient und zusätzlich ein Notausschalter vorgesehen.

Ein weiteres Problem stellt die Anbringung der „Finger-Matrix“ an eng begrenzten Griffbereichen dar, wie beispielsweise am Hilfsgriff des Winkelschleifers, siehe **Bild 10**. Bedingt durch die Empfindlichkeit der „Finger-Matrix“ auf Biegung und Knickung wurde die Anbringung der Griffe wie in **Bild 11** dargestellt modifiziert. Eine alternative Lösung wäre eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensormatten hinsichtlich der Form und Größe. Ebenso müsste dann auch die Breite der Einzelsensoren variabel sein.

### Auswertung der Messergebnisse

Die Umrechnung der Kraftverteilung aus der messtechnisch erfassten Druckverteilung sowie die Berechnung der Greifkraft und der Andruckkraft erfolgt in Anlehnung an ISO/DIS 15230 [5]. Für diese Auswertung der Messdaten standen die parallelen Programmentwicklungen des INRS und der Universität von Ancona zur Verfügung. Die Auswertung der Vibrationsmessungen erfolgte nach DIN EN ISO 5349 [6] mit Software des BGIA.

**Tabelle 2** Einfluss der Griffgeometrie auf die Messergebnisse.

	Zylindrische Griffgeometrie	Genauere Griffgeometrie
Greifkraft in N	135 ± 13,0	112 ± 11,7
Andruckkraft in N	210 ± 26,5	130 ± 13,4

**Tabelle 3:** Vergleich der Ergebnisse aus unterschiedlicher Software.

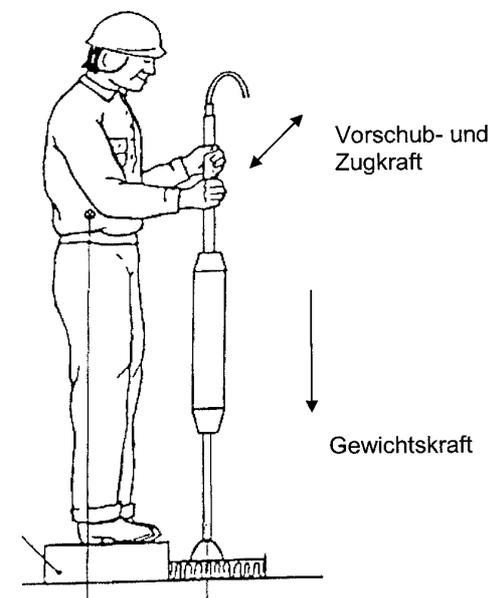
	Universität von Ancona-Software	INRS-Software
<b>Stampfer</b>		
Andruckkraft in N	40 ± 9,0	40 ± 9,0
Greifkraft in N	44 ± 11,5	64 ± 13,2
<b>Winkelschleifer</b>		
Andruckkraft in N	56 ± 2,6	56 ± 2,6
Greifkraft in N	55 ± 14,0	52,8 ± 10,9

Die Berechnung der Ankopplungskräfte benötigt die Winkelstellungen der Sensorelemente auf der Griffoberfläche. Da die Gerätegriffe überwiegend annäherungsweise eine zylindrische Form besitzen, verwenden die Programme als Berechnungsgrundlage einen Zylinder. Zur Abschätzung des Einflusses der auf einer zylindrischen Griffgeometrie basierenden Berechnung gegenüber der exakten Griffgeometrie wurde der Griff mit der größten Abweichung (elektrischer Meißelhammer) exakt vermessen.

Die Ergebnisse des Vergleichs der verwendeten unterschiedlichen Griffgeometrien sind in **Tabelle 2** zusammengefasst als Mittelwert und Streuung angegeben. Mit der annäherungsweise Verwendung einer zylindrischen Griffgeometrie werden höhere Messwerte berechnet. Sie betragen für die Andruckkraft + 20 % und für die Greifkraft + 61 %.

Der Einfluss der Software wurde stichprobenartig überprüft. Dazu wurden die gleichen Messdatensätze in beiden Programmversionen verarbeitet. Die Ergebnisse sind als Mittelwert und Streuung in **Tabelle 3** zusammengefasst. Sie zeigen nur geringe Abweichungen, die durch Rundungsfehler oder unterschiedliche Zuordnung der Griffgeometrie entstehen können.

Die systembedingten Grenzen der messtechnisch erfassten Kräfte werden bei der Messung und Auswertung des Stampfers deutlich. Die vom Benutzer ausgehenden Andruckkräfte können mit einer Messplattform, aber nicht mit den Messensoren am Griff erfasst werden. Die vom System erfassten „Zug- und Vorschubkräfte“ sind Führungskräfte. Bei horizontaler Führung des Geräts tritt jeweils an der einen Hand eine Vorschubkraft und in der anderen liegenden Hand eine Zugkraft auf (**Bild 12**).



**Bild 12** Eingeschränkte Erfassung der Andruckkräfte.

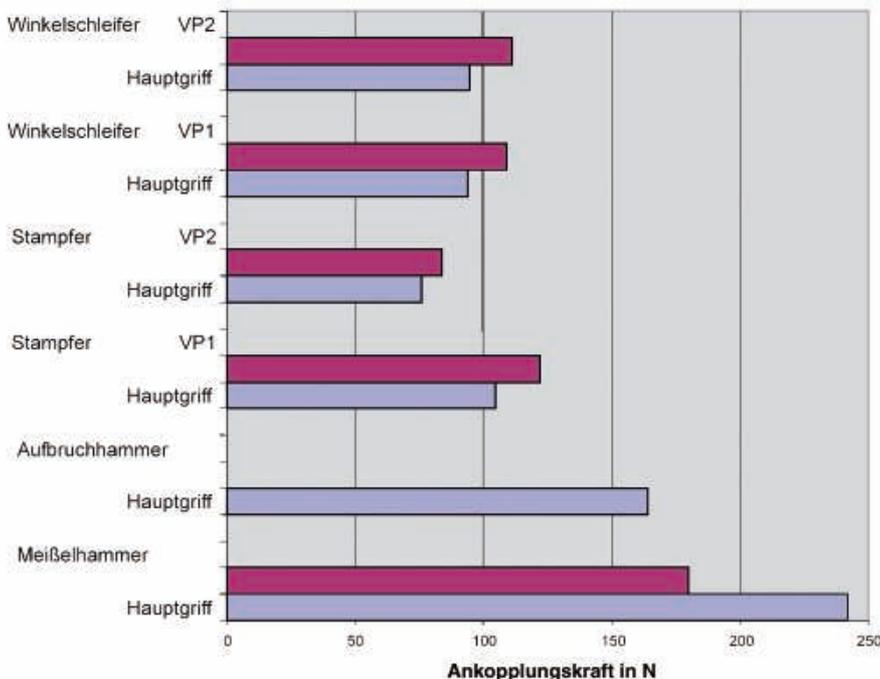
Für diese Sonderfälle wären eine synchrone Erfassung der beiden Messstellen und eine softwaremäßige Erfassung der resultierenden Kräfte der jeweiligen Griffseiten mit der gleichen Bewegungsrichtung notwendig. Bei Geräten, bei denen sich die Arbeitsrichtung des Arbeitsgeräts sowie die Handstellung oder der Handwinkel zum Griff während des Arbeitsgangs verändern, ändern sich jeweils die Bezugsgrößen (Winkel) zur Berechnung der Greif- und Andruckkräfte. Dieser Sachverhalt wurde in der Software berücksichtigt und die Messdaten zusätzlich als „andruckrichtungsorientiert“ ausgewertet. In **Tabelle 4** sind alle nach beiden Verfahren ausgewerteten Messwerte getrennt nach den jeweiligen Geräten und Messpunkten zusammengefasst. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert mit Streuung.

Tabelle 4 Übersicht der Messergebnisse der „Ankopplungskräfte“.

Arbeitsgerät	Messpunkt	ISO 15230	UNIVPM <sup>**)software andrucksrichtungsorientiert</sup>
Meißelhammer	Hauptgriff		
	Andruckkraft in N	117 ± 11,2	123 ± 12,7
	Greifkraft in N	210 ± 20,0	189 ± 21,6
	Hilfsgriff		
	Andruckkraft in N	82 ± 22,3	89 ± 21,4
Aufbruchhammer	Hauptgriff		
	Andruckkraft *) in N	70 ± 28,0	150 ± 13,8
	Greifkraft in N	114 ± 14,2	89 ± 16,7
Stampfer	Hauptgriff		
	Andruckkraft in N VP1 (VP2)	37 ± 16,1 (31 ± 7,5)	42 ± 16,2 (36 ± 7,6)
	Greifkraft in N VP1 (VP2)	101 ± 19,8 (70 ± 21,9)	63 ± 9,9 (40 ± 16,3)
	Hilfsgriff		
	Andruckkraft in N VP1 (VP2)	25 ± 4,9 (26 ± 4,7)	37 ± 6,3 (40 ± 9,0)
	Greifkraft in N VP1 (VP2)	93 ± 20,4 (50 ± 11,5)	85 ± 12,9 (44 ± 11,5)
Winkelschleifer	Hauptgriff		
	Andruckkraft in N VP1 (VP2)	58 ± 6,7 (48 ± 7,0)	58 ± 6,7 (49 ± 6,9)
	Greifkraft in N VP1 (VP2)	95 ± 12,4 (96 ± 15,3)	36 ± 6,4 (46 ± 8,5)
	Hilfsgriff		
	Andruckkraft in N VP1 (VP2)	48 ± 5,4 (47 ± 2,9)	49 ± 4,6 (56 ± 2,6)
Winkelschleifer	Greifkraft in N VP1 (VP2)	63 ± 10,4 (55 ± 10,3)	60 ± 8,4 (55 ± 14,0)

VP = Versuchsperson  
 \*) symmetrische Belastung der Andruckkraft an beiden Griffelementen  
 \*\*) UNIVPM = Universität Ancona

Bild 13 Ankopplungskräfte der untersuchten Geräte.



Literaturverzeichnis

[1] Richtlinie 2002/44/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen) (16. Einzelrichtlinie des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABI. EG Nr. L 177 vom 6. Juli 2002, S. 13-19. <http://europa.eu.in/eur-lex>

[2] DIN V 45695: Hand-Arm-Schwingungen – Leitfaden zur Verringerung der Gefährdung durch Schwingungen – Technische und organisatorische Maßnahmen (CR 1030-1:1995 + CR 1030-2:1995). Berlin: Beuth-Verlag 1996.

[3] Scheffer, M.; Kaulbars, U.: Forschungsbericht Hand-Arm-Schwingungen III. Wirkung von Greif- und Andruckkraft unter Schwingungsbelastung. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Sankt Augustin 1992.

[4] DIN 45679: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Greif- und Andruckkräfte zur Beurteilung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems. Berlin: Beuth-Verlag 2005.

[5] ISO/DIS 15230 (Entwurf): Mechanische Schwingungen und Stöße – Definition der Ankopplungskräfte bei Hand-Arm-Schwingungen. Berlin: Beuth-Verlag 2005.

[6] DIN EN ISO 5349: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1:2001. Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2:2001. Berlin: Beuth-Verlag 2001.

[7] DIN EN 28662-1: Handgehaltene, motorbetriebene Maschinen; Messung mechanischer Schwingungen am Handgriff; Allgemeines (ISO 8662-1:1988); Deutsche Fassung EN 28662-1:1992. Teil 4: Schleifmaschinen (ISO 8662-4:1994); Deutsche Fassung EN ISO 8662-4:1995. Teil 5: Aufbruchhämmer und Spatenhämmer (ISO 8662-5:1992); Deutsche Fassung EN 28662-5:1994 + A1:1995. Teil 9: Stampfer (ISO 8662-9:1996); Deutsche Fassung EN ISO 8662-9:1996. Berlin: Beuth-Verlag.

**Tabelle 5** Frequenzbewertete Beschleunigung der untersuchten Arbeitsgeräte.

Arbeitsgerät		ahw in m/s <sup>2</sup>			
		X	Y	Z	V
Meißelhammer (el.)	Hauptgriff	6,9 ± 0,72	5,5 ± 0,78	5,6 ± 0,76	10,5 ± 1,21
	Hilfsgriff	3,3 ± 0,14	3,9 ± 0,23	5,9 ± 0,29	7,8 ± 0,33
Aufbruchhammer (hy.)	Hauptgriff	6,3 ± 0,67	4,5 ± 0,51	13,3 ± 1,11	14,4 ± 1,09
Stampfer (pn.)	Hauptgriff	2,0 ± 0,14	12,1 ± 0,77	2,1 ± 0,15	12,8 ± 0,73
Winkelschleifer (el.)	Hauptgriff	2,2 ± 0,28	3,6 ± 0,16	3,1 ± 0,31	5,3 ± 0,13
	Hilfsgriff	5,3 ± 0,16	3,2 ± 0,09	5,1 ± 0,16	8,1 ± 0,09

Zur Verdeutlichung der für jedes Arbeitsgerät erforderlichen unterschiedlichen Kräfte wurden für jeden Messort nach DIN 45679 [4] die Greif- und Andruckkräfte zu einer Ankopplungskraft summiert und in **Bild 13** grafisch dargestellt.

Die Vibrationsmessungen wurden nach ISO 5349 ausgewertet und sind in **Tabelle 5** getrennt nach einzelnen Messrichtungen und Messpunkten zusammengefasst. Angegeben ist der Mittelwert und die Streuung für die einzelnen Messrichtungen und der Schwingungsgesamtwert, der sich aus allen drei Messrichtungen berechnet.

### Zusammenfassung und weiterführende Optimierungsvorschläge

Das Messsystem mit „Finger-Matrix“ und zwei Softwarealternativen zur Berech-

nung der Ankopplungskräfte wurden an typischen und für die Gefährdungsanalyse nach der EU-Vibrationsrichtlinie [1] relevanten Arbeitsmaschinen erprobt. Eine Vielzahl von Optimierungen wurde in der Erprobungsphase bereits umgesetzt, so dass ein geeignetes Messsystem für einen weiten Anwendungsbereich zur Verfügung steht. Darüber hinaus können die nachfolgenden Verbesserungsvorschläge gegeben werden:

#### Für die Sensoren:

- Bessere Anpassung der Sensoren an ergonomisch geformte Griffoberflächen, z. B. durch eine Auswahl verschieden großer und ggf. vorgeformter Sensormatten.
- Einsatzmöglichkeit an eckigen Schaltoberflächen durch robustere Sensoren, die unempfindlich gegenüber Knick- und Zug-

kräften sind und eine längere Lebenszeit aufweisen.

#### Für die Software:

- Geführte Eingabehilfen zur Erkennung von Anwendungsfehlern bei der Zuordnung der Sensoren zur Griffgeometrie und der Überlappung von Sensorbereichen. Vorstellbar wäre neben dem zylinderförmigen Griff eine Auswahl von bereits vordefinierten Grifftypen und geometrischen Abmessungen.

- Software zur zeitgleichen Messung an beiden Handgriffen und zur Selektion der Führungskraft bei speziellen Anwendungsfällen.

TÜ 614



Dipl.-Ing. **Uwe Kaulbars** ist Sachgebietsleiter Hand-Arm-Vibration im Fachbereich 4 beim Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGIA, in Sankt Augustin.