
IPA-IAO

Forschung und Praxis

Band 222

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart und
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement, Universität Stuttgart

Herausgeber: H. J. Warnecke und H.-J. Bullinger



Rainer Eckert

**Verfahren zur Reduzierung
der Hand-Arm-Schwingungs-
belastung an Trennschleifern**

Mit 80 Abbildungen und 23 Tabellen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH 1995

Dipl.-Ing. Rainer Eckert

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. h. H. J. Warnecke

o. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. H.-J. Bullinger

o. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN 978-3-540-60282-8 ISBN 978-3-662-10768-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-10768-3

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995.

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1995

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Gesamtherstellung: Copydruck GmbH, Heimsheim

SPIN 10511647

62/3020-6543210

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muß, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, die die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muß dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z.B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern geleiteten Institute, das

- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart (IFF),
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT)
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe "IPA-IAO - Forschung und Praxis" herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluß dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Springer-Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

H.J. Warnecke H.-J. Bullinger

Vorwort

Die vibrationsarme Gestaltung gewerblich genutzter Arbeitsmittel gewinnt vor dem Hintergrund steigender Kosten für Arbeits- und Gesundheitsschutz zunehmend an Bedeutung. Die vorliegende Arbeit zeigt am Beispiel des Trennschleifers auf, wie durch den Einsatz moderner Simulationsverfahren das Schwingungsverhalten handgeführter, fremdenergetisch betriebener Arbeitsgeräte vorausberechnet werden kann und sich Maßnahmen zur Reduzierung der Schwingungsbelastung auf effiziente Weise entwickeln und evaluieren lassen.

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) in Stuttgart.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil., Prof. e.h., Dr. h.c. H.-J. Bullinger, Inhaber des Lehrstuhls und Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart danke ich für seine wohlwollende Unterstützung und Förderung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Weinert, Inhaber des Lehrstuhls und Leiter des Instituts für Spanende Fertigung der Universität Dortmund danke ich für die Übernahme des Mitberichts, die eingehende Durchsicht und die sich daraus ergebenden Verbesserungsvorschläge.

Aus dem großen Kreis der Kollegen am Institut, die mich durch Ihre intensive Mitarbeit und konstruktive Kritik unterstützt haben, möchte ich insbesondere Herrn Prof. Dr.-Ing. P. Kern erwähnen. Ihm sowie Herrn Dipl.-Ing. W. Bauer, Herrn Dipl.-Ing. R. Schopp und allen anderen Kollegen gilt mein herzlicher Dank. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. W.F. Muntzinger für seine kritische Durchsicht und wertvollen Anmerkungen.

Mein Dank gilt auch meiner Frau Ute und meinen Kindern Stephanie-Charlotte und Sophie-Cathrine für ihr Verständnis und ihre geduldige Unterstützung. Das Buch ist ihnen gewidmet.

Ludwigsburg, im Januar 1995

Rainer Eckert

Inhaltsverzeichnis

| | <u>Seite</u> |
|---|--------------|
| Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen | 12 |
| 1 Einleitung | 20 |
| 2 Zielsetzung und Vorgehensweise | 23 |
| 3 Arbeit mit benzinmotorgetriebenen Trennschleifern | 26 |
| 3.1 Geräteklassifikation | 26 |
| 3.2 Funktionen und Komponenten benzinmotorgetriebener Trennschleifer | 27 |
| 3.3 Normen und Betriebsvorschriften | 31 |
| 3.4 Analyse der Arbeits- und Einsatzbedingungen | 33 |
| 3.4.1 Beschreibung der durchgeführten Feldstudie | 33 |
| 3.4.2 Typische Arbeitsaufgaben | 35 |
| 3.5 Belastungssituation beim Arbeiten mit benzinmotorgetriebenen Trennschleifern | 39 |
| 3.5.1 Schwingungsbelastung | 40 |
| 3.5.2 Lärmbelastung | 42 |
| 3.5.3 Schadstoffbelastung | 43 |
| 3.5.4 Biomechanische Belastung | 44 |
| 3.5.5 Belastung durch Umgebungsbedingungen | 47 |
| 4 Analyse der Schwingungsbelastung | 49 |
| 4.1 Stand der Forschung | 49 |
| 4.1.1 Auftretende Schwingungsbelastung beim Arbeiten mit handgeführten Geräten | 49 |
| 4.1.2 Schwingungsbelastung beim Arbeiten mit benzinmotorgetriebenen Trennschleifern | 51 |
| 4.1.3 Wirkung der von handgeführten Geräten emittierten mechanischen Schwingungen auf das Hand-Arm-System | 53 |
| 4.2 Beschreibung der eingesetzten Meßtechnik und Auswerteverfahren | 56 |
| 4.2.1 Meß- und Beurteilungsgrößen | 56 |
| 4.2.2 Normen zur Erfassung der Schwingungsbelastung an benzinmotorgetriebenen Trennschleifern | 59 |
| 4.2.3 Meßtechnik und Auswerteverfahren | 60 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 4.3 | Experimentelle Untersuchung relevanter Einflußfaktoren auf die Schwingungsbelastung | 65 |
| 4.3.1 | Qualitative Betrachtung der Einflußfaktoren | 65 |
| 4.3.2 | Ergebnisse der Frequenzanalyse | 67 |
| 4.3.3 | Trennscheibenunwucht | 70 |
| 4.3.4 | Trennscheibenposition | 75 |
| 4.3.5 | Trennvorgang | 76 |
| 4.3.6 | Probandeneinfluß | 80 |
| 4.4 | Entwicklung eines mechanischen Hand-Arm-Ersatzsystems | 82 |
| 4.4.1 | Mechanische Hand-Arm-Ersatzsysteme - Stand der technischen Entwicklung | 82 |
| 4.4.2 | Konstruktive Gestaltung | 83 |
| 4.4.3 | Experimentelle Überprüfung des Ersatzsystems | 86 |
| 5 | Entwicklung von technischen Maßnahmen zur Reduzierung der Schwingungsbelastung | 88 |
| 5.1 | Vorgehensweise | 88 |
| 5.1.1 | Klassifikation von Maßnahmen zur Reduzierung der Schwingungsbelastung | 88 |
| 5.1.2 | Auswahl geeigneter Maßnahmen | 91 |
| 5.2 | Beschreibung der eingesetzten Simulationstechnik | 95 |
| 5.3 | Systemmodellierung | 98 |
| 5.3.1 | Komponenten und Einzelelemente | 98 |
| 5.3.2 | Massenkräfte des Motors | 101 |
| 5.3.3 | Unwuchtkräfte der Trennscheibe | 103 |
| 5.3.4 | Anti-Vibrations-System | 103 |
| 5.3.5 | Hand-Arm-Ersatzmodell | 104 |
| 5.3.6 | Validierung des Simulationsmodells | 109 |
| 5.4 | Entwicklung eines schwingungsoptimierten Gerätes | 113 |
| 5.4.1 | Auslegung von Anti-Vibrations-Systemen | 113 |
| 5.4.2 | Drehsteifigkeit des Trennschleiferarms | 116 |
| 5.4.3 | Trennscheibenposition | 117 |
| 5.4.4 | Massenverteilung | 119 |
| 5.4.5 | Anordnung der Anti-Vibrations-Elemente | 120 |
| 5.4.6 | Steifigkeit des Anti-Vibrations-Systems | 123 |
| 5.4.7 | Ergebnisse der numerischen Simulation des optimierten Anti-Vibrations-Systems | 124 |
| 5.5 | Experimentelle Überprüfung des optimierten Anti-Vibrations-Systems | 128 |
| 5.5.1 | Beschreibung des Versuchsträgers | 128 |
| 5.5.2 | Ergebnisse der experimentellen Überprüfung | 130 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 5.6 | Entwicklung eines optimierten Griffsystems | 133 |
| 5.6.1 | Arbeitsaufgabenspezifische Anforderungen an die Gestaltung des Griffsystems | 133 |
| 5.6.2 | Gestaltung des Vordergriffs | 134 |
| 5.6.3 | Gestaltung des Gasgriffs | 136 |
| 5.6.4 | Beschreibung des Menschmodells 'Anthropos' | 138 |
| 5.6.5 | Rechnergestützte Evaluierung der Griffsystemgestaltung | 139 |
| 5.6.6 | Prototypische Umsetzung der optimierten Griffsystemgestaltung | 142 |
| 6 | Zusammenfassung | 144 |
| 7 | Schrifttum | 146 |
| 7.1 | Literatur | 146 |
| 7.2 | Normen und Richtlinien | 159 |
| 8 | Anhang | 164 |
| 8.1 | Bilder | 164 |
| 8.2 | Tabellen | 173 |

Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen

| Abkürzungen / Formelzeichen | Einheit | Bedeutung |
|-----------------------------|------------------|--|
| $a_{ih}(t)$ | m/s ² | zeitlicher Hand-Arm-Schwingbeschleunigungsverlauf |
| $a_{ihw}(t)$ | m/s ² | zeitlicher, frequenzbewerteter (gewichteter) Hand-Arm-Schwingbeschleunigungsverlauf |
| a_{ihw} | m/s ² | energieäquivalente zeitlich gemittelte, frequenzbewertete (gewichtete) Hand-Arm-Schwingbeschleunigung (Effektivwert) |
| \bar{a}_{ihw} | m/s ² | arithmetischer Mittelwert der energieäquivalenten zeitlich gemittelten, frequenzbewerteten (gewichteten) Hand-Arm-Schwingbeschleunigung |
| $a_{iS}(f)$ | m/s ² | Schwingbeschleunigungseffektivwert einer Spektrallinie im Schmalbandfrequenzspektrum |
| a_{iTk} | m/s ² | energieäquivalenter zeitlich gemittelter Schwingbeschleunigungseffektivwert eines Terzbandes k |
| $a_{iTk w}$ | m/s ² | energieäquivalenter zeitlich gemittelter, frequenzbewerteter (gewichteter) Schwingbeschleunigungseffektivwert eines Terzbandes k |
| $a_{iTk f_u}$ | m/s ² | Schwingbeschleunigungseffektivwert der unteren ganzzahligen Grenzfrequenz eines Terzbandes k |
| $a_{iTk f_o}$ | m/s ² | Schwingbeschleunigungseffektivwert der oberen ganzzahligen Grenzfrequenz eines Terzbandes k |
| $a_{iTk f_n}$ | m/s ² | Schwingbeschleunigungseffektivwert der ganzzahligen Frequenzen n innerhalb eines Terzbandes k |
| a_{vhw} | m/s ² | Vektorsumme der frequenzbewerteten (gewichteten) effektiven Schwingbeschleunigungen a_{xhw} , a_{yhw} , a_{zhw} an einem Handgriff (vgl. WAS-Wert) |
| A | % | Kurbelwellenauswuchtgrad |
| A_A | g | virtuelles Ausgleichsgewicht zur Kompensation der statischen Unwucht |
| AV-Element | | Anti-Vibrations-Element |
| AV-System | | Anti-Vibrations-System |
| b | mm | Höhe des Querschnitts des Trennschleiferarms |

| | | |
|-----------------------------|-------------------|--|
| BeKV | | Berufskrankheitenverordnung |
| BK | | Berufskrankheit |
| c | N/mm | Federsteifigkeit |
| c_D | N/mm | Drucksteifigkeit |
| c_{jx}, c_{jy}, c_{jz} | N/mm | Federsteifigkeit eines AV-Elements j in x, y-, bzw. z-Richtung |
| $c_{Hjx}, c_{Hjy}, c_{Hjz}$ | N/mm | Federsteifigkeit eines Koppel-elementes j des Hand-Arm-Ersatz-Systems in x, y-, bzw. z- Richtung |
| c_{rot} | Nm/rad | Drehsteifigkeit des Trennschleiferarms |
| c_S | N/mm | Schubsteifigkeit |
| CAD | | Computer-Aided-Design |
| CEN | | Europäisches Komitee für Normung |
| CO | ppm | Kohlenmonoxid-Konzentration |
| d | Ns/m | Dämpfungsfaktor |
| d_{jx}, d_{jy}, d_{jz} | Ns/m | Dämpfungsfaktor eines AV-Elements j in x, y-, bzw. z-Richtung |
| $d_{Hjx}, d_{Hjy}, d_{Hjz}$ | Ns/m | Dämpfungsfaktor eines Koppel-elementes j des Hand-Arm-Ersatz-Systems in x, y-, bzw. z- Richtung |
| d_{rot} | Ns/rad | Dämpfungsfaktor des Trennschleiferarms bei Verdrehung |
| DSA | | Deutscher Schleifscheiben Ausschuß |
| e | m | Abstand des Fliehkraftpaares bei dynamischer Unwucht (Scheibendicke) |
| E | N/mm ² | Elastizitätsmodul |
| EZM | | Einzylinder-Zweitakt-Motor |
| f | Hz | Frequenz |
| f_i^e | N | in einem Mehr-Körper-System wirkende, eingeprägte Kraft |
| f_M | Hz | Motorfrequenz |
| f_o | | Nummer der unteren ganzzahligen Grenzfrequenz |
| f_S | Hz | Trennscheibenfrequenz |
| f_k | Hz | Terzbandmittenfrequenz |
| f_u | | Nummer der unteren ganzzahligen Grenzfrequenz |
| F | N | Kraft |
| F_A | N | normal zur Werkstückoberfläche wirkende Andruckkraft beim Trennschnitt |
| F_B | N | Anpreßkraft |

| | | |
|---|----------------|---|
| F_{dyn} | N | harmonische Erregerkraft |
| \hat{F}_{dyn} | N | harmonische Erregerkraftamplitude |
| F_{F} | N | bei dynamischer Unwucht auftretende Fliehkraft |
| F_{G} | N | Gewichtskraft |
| F_{Gr} | N | Greifkraft |
| F_{H} | N | Haltekraft |
| F_{N} | N | Normalkraft |
| F_{max} | N | maximal mögliche Körperkraft |
| F_{Mx} | N | Anteil der oszillierenden Motormassenkräfte in Richtung x |
| F_{MxA} | N | Anteil der oszillierenden Motormassenkräfte in Richtung x unter Berücksichtigung des Aus- wuchtgrades A |
| F_{Mz} | N | Anteil der oszillierenden Motormassenkräfte in Richtung z |
| F_{MzA} | N | Anteil der oszillierenden Motormassenkräfte in Richtung z unter Berücksichtigung des Aus- wuchtgrades A |
| F_{T} | N | virtuelle Kraft bei Biegebelastung des Trennschleifer- arms |
| F_{U} | N | aus einer statischen Unwucht bei Scheibenrotation resultierende Unwuchtkraft |
| F_{zul} | N | maximal zulässige Körperkraft |
| g | m/s^2 | Erdbeschleunigung |
| g_{k} | [-] | Hand-Arm-Schwingungs-Gewichtungsfaktor eines einzelnen Terzbandes k nach ISO 5349 |
| G | [-] | Isoliergrad eines elastisch gelagerten Systems |
| HAS | | Hand-Arm-System |
| HC | ppm | Kohlenwasserstoffkonzentration |
| $ H_{\text{H}} $ | | Amplitudenfrequenzgang eines Bewertungs- filters für Hand-Arm-Schwingungen |
| i | | Laufindex für die drei Schwingungsrichtungen x, y und z |
| j | | Laufindex (allgemein) |
| $J_{\text{Ax}}, J_{\text{Ay}}, J_{\text{Az}}$ | kgm^2 | Massenträgheitsmomente des Trennschleiferarms um die x-, y- bzw. z-Achse |

| | | |
|-----------------------------|----------------|---|
| $J_{ASx}, J_{ASy}, J_{ASz}$ | kgm^2 | Massenträgheitsmomente der Abstellstütze um die x-, y- bzw. z-Achse |
| J_{Gx}, J_{Gy}, J_{Gz} | kgm^2 | Massenträgheitsmomente des Gasgriffs um die x-, y- bzw. z-Achse |
| J_{Lx}, J_{Ly}, J_{Lz} | kgm^2 | Massenträgheitsmomente der Luftfiltereinheit um die x-, y- bzw. z-Achse |
| J_{Mx}, J_{My}, J_{Mz} | kgm^2 | zusammengefaßte Massenträgheitsmomente von Motor, Vergasereinheit und Auspuff um die x-, y- bzw. z-Achse |
| J_{Rx}, J_{Ry}, J_{Rz} | kgm^2 | zusammengefaßte Massenträgheitsmomente von Riemenscheiben, Trennscheibenachse und Klemmscheiben um die x-, y- bzw. z-Achse |
| J_{Sx}, J_{Sy}, J_{Sz} | kgm^2 | Massenträgheitsmomente der Trennscheibe um die x-, y- bzw. z-Achse |
| $J_{SHx}, J_{SHy}, J_{SHz}$ | kgm^2 | Massenträgheitsmomente der Schutzhaube um die x-, y- bzw. z-Achse |
| J_{Tx}, J_{Ty}, J_{Tz} | kgm^2 | Massenträgheitsmomente der Tankeinheit um die x-, y- bzw. z-Achse |
| J_{Vx}, J_{Vy}, J_{Vz} | kgm^2 | Massenträgheitsmomente des Vordergriffs um die x-, y- bzw. z-Achse |
| k | | Terzbandnummer (k=8 bis k=30) nach ISO 5349 bzw. ISO R266 |
| k_A | [-] | Faktor zur Berücksichtigung von Alter und Geschlecht bei der Berechnung maximal zulässiger Körperkräfte |
| k_B | [-] | Faktor zur Berücksichtigung der Trainiertheit bei der Berechnung maximal zulässiger Körperkräfte |
| k_C | [-] | Faktor zur Berücksichtigung von Häufigkeit dynamischer Kraftanstregungen bei der Berechnung maximal zulässiger Körperkräfte |
| k_d | Ns/m | Dämpfungskonstante |
| k_D | [-] | Faktor zur Berücksichtigung von Haltedauer statischer Kraftanstregungen bei der Berechnung maximal zulässiger Körperkräfte |
| K_{Hi} | [-] | bewertete Schwingstärke für Hand-Arm-Schwingungen |

| | | |
|--------------------|-------|---|
| k_o | [-] | Dämpfungsfaktor für obere ganzzahlige Grenzfrequenz |
| K_{ri} | [-] | bewertete Beurteilungs-Schwingstärke für Hand-Arm-Schwingungen |
| k_u | [-] | Dämpfungsfaktor für untere ganzzahlige Grenzfrequenz |
| $K_{ZH\ eq}$ | [-] | bewertete äquivalente Beurteilungs-Schwingstärke in z-Richtung |
| l | mm | Abstand Trennscheibenachse zur Biegestelle |
| l_P | m | Pleuellänge |
| $L(y, \dot{y}, t)$ | | Lagrange'sche Funktion |
| L_A | db(A) | Schalldruckpegel |
| m | kg | Masse |
| m_A | kg | Masse des Trennschleiferarms |
| m_{AS} | kg | Masse der Abstellstütze |
| m_G | kg | Masse des Gasgriffs |
| m_K | kg | Kolbenmasse |
| m_L | kg | Masse der Luftfiltereinheit |
| m_M | kg | Gesamtmasse von Motor, Vergasereinheit und Auspuff |
| m_O | kg | oszillierender Massenanteil eines Hubkolbenmotors |
| m_P | kg | Pleuelmasse |
| m_R | kg | Gesamtmasse von Riemenscheibe, Trennscheibenachse und Klemmscheiben |
| m_S | kg | Trennscheibenmasse |
| m_{SH} | kg | Schutzhaubenmasse |
| m_T | kg | Masse der Tankeinheit |
| m_V | kg | Masse des Vordergriffs |
| M_U | Nm | aus einer dynamischen Unwucht bei Scheibenrotation resultierendes Unwuchtmoment |
| MAK | ppm | Maximale Arbeitsplatz-Konzentration |
| MIK | ppm | Maximale Immissions-Konzentration |
| MKS | | Mehrkörper-System |
| MTS | | Motortrennschleifer |
| NO_x | ppm | Stickoxide-Konzentration |
| n | | Probandenanzahl |
| n_M | 1/min | Motordrehzahl |

| | | |
|--------------------|-------|---|
| n_s | 1/min | Trennscheibendrehzahl |
| p | [-] | Laufindex der Einzelmessungen innerhalb einer Meßreihe |
| PCM | | Puls-Code-Modulation |
| q | m | Trägheitsradius |
| r | m | Trennscheibenradius |
| r_{KW} | m | Kurbelwellenradius |
| r_s | m | Entfernung des Schwerpunkts S_0 von der Drehachse bei statischer Unwucht |
| s | m | virtuelle Auslenkung bei Biegebelastung des Trennschleiferarms |
| s_i | | Standardabweichung |
| S_{ip} | | Schmalbandfrequenzspektrum mit ganzzahliger Frequenzteilung |
| \bar{S}_i | | Gemittelttes Schmalbandfrequenzspektrum mit ganzzahliger Frequenzteilung |
| S_0 | | Trennscheibenschwerpunkt |
| t | s | Zeit |
| t_A | mm | Breite des Querschnitts des Trennschleiferarms |
| $T(y, \dot{y}, t)$ | | Skalar zur Beschreibung der kinetischen Energien eines Mehrkörper-Systems |
| T | h | Zeitkonstante zur Beurteilung der Schwingungsbelastung |
| T_e | h | Einsatzzeit eines vibrierenden Gerätes |
| T_r | h | Gesamtarbeitszeit |
| u | m | Schwingweg |
| U_{stat} | g | statische, auf den Trennscheibendurchmesser bezogene Unwucht einer Trennscheibe |
| $U(y)$ | | Skalar zur Beschreibung der potentiellen Energie eines Mehrkörper-Systems |
| UVV | | Unfallverhütungsvorschrift |
| V | [-] | Amplitudenfrequenzgang eines elastisch gelagerten Systems |
| V_D | [-] | Durchlässigkeit eines elastisch gelagerten Systems |
| V_i | [-] | Variationskoeffizient |
| VVS | | Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom |

| | | |
|--|---------|---|
| WAS | m/s^2 | Weighted-Acceleration-Sum (Vektorsumme der gewichteten effektiven Schwingbeschleunigungen) |
| WAS _v | m/s^2 | WAS-Wert am vorderen Handgriff |
| WAS _h | m/s^2 | WAS-Wert am hinteren Handgriff |
| x, y, z | | (Schwingungs-)Richtungen im gerätebezogenen Koordinatensystem |
| x', y', z' | | Richtungen für die Orientierung der Koppellemente des Hand-Arm-Ersatzsystems am Gasgriff |
| x'', y'', z'' | | Richtungen für die Orientierung der Koppellemente des Hand-Arm-Ersatzsystems am Vordergriff |
| x _h , y _h , z _h | | Schwingungsrichtung im Hand-Koordinatensystem |
| x _s , y _s , z _s | | Richtungen im schwerpunktsgezogenen Koordinatensystem der elastisch gelagerten Einheit |
| x _{Si} | m | Abstand eines AV-Elements j von der Position des Gesamtschwerpunkts in x-Richtung |
| y _{Sj} | m | Abstand eines AV-Elements j von der Position des Gesamtschwerpunkts in y-Richtung |
| $y(t) = [y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_f]^T$ | | f x 1 Lagevektor zur Beschreibung eines holonomen MKS mit f Freiheitsgraden |
| α | ° | Kurbelwellenwinkel |
| β | ° | Ellenbogenwinkel |
| δ _{ri} | | virtuelle Verschiebung |
| ΔU _{min} | % | minimal aufgetretene Änderung der statischen Trennscheibenunwucht |
| ΔU _{max} | % | maximal aufgetretene Änderung der statischen Trennscheibenunwucht |
| Δ \bar{U} | % | arithmetischer Mittelwert der aufgetretenen Änderung der statischen Trennscheibenunwucht |
| ΔWAS _{v min} | % | minimal aufgetretene Änderung des WAS-Wertes am Vordergriff |
| ΔWAS _{v max} | % | maximal aufgetretene Änderung des WAS-Wertes am Vordergriff |
| Δ \overline{WAS}_v | % | arithmetischer Mittelwert der aufgetretenen Änderung des WAS-Wertes am Vordergriff |
| ΔWAS _{h min} | % | minimal aufgetretene Änderung des WAS-Wertes am Gasgriff |

| | | |
|---------------------------|-----|---|
| $\Delta WAS_{h \max}$ | % | maximal aufgetretene Änderung des WAS-Wertes am Gasgriff |
| $\overline{\Delta WAS}_h$ | % | arithmetischer Mittelwert der aufgetretenen Änderung des WAS-Wertes am Gasgriff |
| η | [-] | Frequenzverhältnis |
| λ_P | [-] | Pleuelstangenverhältnis |
| ω | 1/s | Kreisfrequenz |
| ω_0 | 1/s | Eigenkreisfrequenz eines elastisch gelagerten Systems |
| ω_S | 1/s | Trennscheibenkreisfrequenz |
| Ω | 1/s | Erregerkreisfrequenz |
| ϑ | [-] | Lehr'sches Dämpfungsmaß |