

Arbeitswissenschaft

Gunther Paul

**Ein Beitrag zur Methode der
ergonomischen Beurteilung
des Einstiegs ausgewählter
Nutzfahrzeuge**

**SHAKER
VERLAG**

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Paul, Gunther:

Ein Beitrag zur Methode der ergonomischen Beurteilung des Einstiegs
ausgewählter Nutzfahrzeuge/Gunther Paul.

Aachen: Shaker, 2002

(Berichte aus der Arbeitswissenschaft)

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8322-0560-8

Copyright Shaker Verlag 2002

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0560-8

ISSN 1434-2677

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

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

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt.

An erster Stelle gilt mein Dank dem Institutsleiter, Herrn Prof. Dr.-Ing. Kurt Landau, der mir die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht hat. Seine vorbehaltlose ideelle und logistische Unterstützung, vor allem aber auch die kritische Auseinandersetzung mit der Arbeit waren steter Ansporn und haben wesentlich zum Entstehen des Ergebnisses beigetragen.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Bert Breuer bedanke ich mich herzlich für die Übernahme des Korreferates.

Mein besonderer Dank gilt meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr.-Ing. Walter Rohmert, der mir durch sein persönliches Vorbild intellektuell und emotional den Zugang zur Arbeitswissenschaft öffnete. Er gab mir die ersten Impulse zur Bearbeitung eines Themas aus dem Gebiet der *Bewegungsanalyse* und hat wie kein anderer mein Verständnis arbeitswissenschaftlicher Arbeit geprägt. Durch ihn hatte ich die Möglichkeit am Institut zu arbeiten.

Herrn Wolfgang Kahlmeier, Ford Werke AG, danke ich herzlich für sein wohlwollendes Interesse an meiner Arbeit und die hilfreiche finanzielle Unterstützung in der abschließenden Versuchsphase der Arbeit.

Einige der in dieser Arbeit umgesetzten Ideen entstanden während des von der Unfallkasse Post und Telekom (UKPT) geförderten Projektes „Beurteilung der Belastungen und Beanspruchungen beim Bewegen von Handfahrzeugen auf geneigten Ebenen und beim Handhaben von Rollbehältern in Anlehnung an BK 2108“. Mit den Mitteln dieses Projektes konnte u.a. auch das zur Bewegungsanalyse erforderliche Software-System erworben werden. Herrn Dipl.-Ing. Berendonk möchte ich stellvertretend für die UKPT hierfür danken.

Alle Kollegen am Institut für Arbeitswissenschaft haben zu einer freundschaftlich geprägten und den wissenschaftlichen Zielen förderlichen Atmosphäre beigetragen. Insbesondere meine Kollegen Dr.-Ing. Karlheinz Schaub und Dr.-Ing. Juri Wakula waren stets interessierte und kritische Begleiter meiner Arbeit. Ihrer Erfahrung ist manche hilfreiche Anregung zu verdanken.

Besonders dankbar bin ich meinem Kollegen Dipl.-Ing J. Mussgnug für seine freundschaftliche moralische Unterstützung in guten und schlechten Zeiten und die vielen interessanten Fachdiskussionen.

Ohne die engagierte Mithilfe von Studien- und Diplomarbeitern wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Hierfür gilt mein Dank besonders P. Schüssler, K. Karl, M. Hauptmann und M. Knauf sowie A. Roman, J. Bechtel, M. Walkenhorst, B. Rentrop, H. Schieferstein und D. Wiegand.

Bei meinen Versuchspersonen C. Lücking, E. Mezei, U. Wittstadt, J. Oberle, J. Kötzel, P. Reichert, A. Frosch, H. Bromberg, T. Martin und M. Joeckel bedanke ich mich für ihre geduldige und bereitwillige Unterstützung.

In der Phase der Versuchsdurchführung und -auswertung waren weiterhin Dipl.-Wirtsch.-Ing. Bernd Ringleb sowie T. Tschöp, M. Hartmann, M. Honal, C. Theuerkauf und D. Scholz wertvolle Hilfen.

Ohne den Rückhalt durch Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder und meinen Vater, Hartmut Paul, wäre diese Arbeit nie zustande gekommen. Bei ihnen bedanke ich mich ganz besonders herzlich, vor allem auch für das abschließende Korrektur lesen.

Meine Frau Andrea war mir ein liebevoller Ansporn und unersetzlicher Kraftquell bei der Verfassung der Arbeit. Für ihr Verständnis und ihre Hilfe danke ich ihr von Herzen.

| | |
|--|-------------|
| VORWORT | I |
| ABKÜRZUNGEN | V |
| BEGRIFFE | VIII |
| 1 PROBLEMSTELLUNG | 1 |
| 1.1 ERKRANKUNGEN DES BEWEGUNGSAPPARATES BEI FAHRERN | 1 |
| 1.2 METHODISCHE PROBLEMSTELLUNG | 4 |
| 1.3 NATÜRLICHE BEWEGUNGEN | 7 |
| 1.3.1 Definitionen und allgemeine Prinzipien | 7 |
| 1.3.2 Beanspruchung durch Bewegung | 11 |
| 1.4 GESTALTUNG VON FAHRZEUGEINSTIEGEN | 14 |
| 1.4.1 Allgemeine Fahrzeugeinstiege | 14 |
| 1.4.2 Fahrzeugeinstiege bei Fahrzeugen der Transporterklasse | 15 |
| 1.5 EIGENER FORSCHUNGSANSATZ | 15 |
| 1.5.1 Ergonomisch gestaltbare Objekte an Transportereinstiegen | 15 |
| 1.5.2 Bewegungsanalyse zur Fahrzeugeinstiegsgestaltung | 17 |
| 1.5.3 Ableitung des Forschungsbedarfs | 20 |
| 1.5.4 Vorgehensweise | 20 |
| 2 GRUNDLAGEN | 22 |
| 2.1 DARSTELLUNG VON KÖRPERBEWEGUNGEN | 22 |
| 2.2 BEWEGUNGSBEDARF VON GELENKEN | 23 |
| 2.3 BIOMECHANIK DER GELENKBEWEGUNGEN IM KÖRPERMODELL | 24 |
| 2.4 BELASTUNGSGRÖßEN UND -FAKTOREN DER KÖRPERBEWEGUNGEN | 26 |
| 2.5 KINEMATISCH-KINETISCHE MODELLE | 29 |
| 3 METHODIK | 31 |
| 3.1 ABLAUFPLANUNG UND HYPOTHESENBUILDUNG | 31 |
| 3.2 VERSUCHSKONZEPT | 33 |
| 3.3 THEORETISCHES BEWEGUNGSMODELL | 34 |
| 3.4 MEßMETHODEN | 38 |
| 3.4.1 Methodenübersicht | 38 |
| 3.4.2 Methodenanforderungen | 40 |
| 3.4.3 Methodeninventar | 40 |
| 3.4.4 Meßgenauigkeit der Bewegungsmessung | 41 |
| 3.5 METHODEN DER DATENANALYSE | 45 |
| 3.5.1 Deterministische versus statistische Methoden | 45 |
| 3.5.2 Fuzzy C-Means | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.3 KOHONEN-Karte | 48 |
| 3.5.4 Neuro-Fuzzy und Fuzzy-KOHONEN-Clustering Network..... | 49 |
| 3.5.5 Analyse dynamischer Daten | 51 |
| 3.6 AUSWAHL VON TRANSPORTERFAHRZEUGEN | 52 |
| 3.7 INHALT UND ABLAUF DER VORVERSUCHE | 54 |
| 3.7.1 Erste Voruntersuchungen im Feld..... | 54 |
| 3.7.2 Erweiterte Voruntersuchungen im Labor..... | 55 |
| 3.8 INHALT UND ABLAUF DER HAUPTUNTERSUCHUNG | 57 |
| 3.8.1 Probandenkollektiv..... | 57 |
| 3.8.2 Versuchsparameter..... | 60 |
| 3.8.3 Transporter-Sitzkiste | 61 |
| 3.8.4 Versuchsplanung | 64 |
| 3.8.5 Versuchsablauf..... | 65 |
| 3.9 INTEGRIERTE BEWEGUNGSANALYSE ZUR BELASTUNGSERMITTLUNG (IBB)..... | 66 |
| 3.9.1 Bewegungsmessung..... | 66 |
| 3.9.2 Kraftmessung..... | 69 |
| 3.9.3 Meßprogramm..... | 70 |
| 3.9.4 Zeitsynchronisierung..... | 71 |
| 3.10 ERMITTLUNG VON BEANSPRUCHUNGS- UND EIGENZUSTANDSREAKTIONEN..... | 72 |
| 3.10.1 Räumlicher Diskomfort | 72 |
| 3.10.2 Eigenzustandsskalierung (EZ)..... | 73 |
| 3.10.3 CR-10 Skala..... | 73 |
| 3.10.4 Körperhaltungsdiskomfort | 74 |
| 3.11 BEURTEILUNG..... | 75 |
| 3.11.1 Fuzzy Regelbasis | 75 |
| 3.11.2 Klassifizierung..... | 79 |
| 4 ERGEBNISSE | 83 |
| 4.1 VORUNTERSUCHUNGEN | 83 |
| 4.2 ANALYSE DER SUBJEKTIVEN BEANSPRUCHUNG | 87 |
| 4.2.1 Beanspruchung auf der CR-10 Skala..... | 87 |
| 4.2.2 Räumlicher Diskomfort | 88 |
| 4.2.3 Körperhaltungsdiskomfort | 92 |
| 4.2.4 Eigenzustandsskalierung..... | 94 |
| 4.3 BIOMECHANISCHE BELASTUNG..... | 95 |
| 4.3.1 Kinematische Analyse | 95 |
| 4.3.2 Kinetische Analyse | 114 |
| 4.3.3 Intraindividuelle Bewegungsvarianz..... | 118 |
| 4.3.4 Ermittlung der maximalen biomechanischen Belastung..... | 119 |
| 4.4 BEWEGUNGSKLASSIFIKATION | 123 |
| 4.4.1 Bewegungsphasen | 123 |

| | |
|---|------------|
| 4.4.2 Klassenbildung mit Fuzzy C-Means..... | 126 |
| 4.4.3 Bestimmung der Bewegungsgüte..... | 127 |
| 5 DISKUSSION | 129 |
| 5.1 HYPOTHESENBEWERTUNG | 129 |
| 5.2 METHODISCHE DISKUSSION DER ERGEBNISSE..... | 131 |
| 5.3 ABLEITUNG VON GESTALTUNGSREGELN FÜR DEN FAHRZEUGEINSTIEG..... | 136 |
| 6 ZUSAMMENFASSUNG | 139 |
| 7 ANHANG | 141 |
| 7.1 ANATOMISCHE BEWEGLICHBEREICHE..... | 141 |
| 7.2 BIOMECHANISCHE GRÖßEN | 145 |
| 7.3 KONVENTIONEN DER FUZZY LOGIK | 147 |
| 7.4 FRAGEBOGEN „ANTHROPOMETRISCHE UND PERSONENBEZOGENE DATEN“ UND „ANAMNESE“ | 149 |
| 7.5 FRAGEBOGEN ZUR ERMITTLUNG DER SUBJEKTIVEN BEANSPRUCHUNG | 153 |
| 7.6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 154 |
| 7.7 TABELLENVERZEICHNIS | 156 |
| 7.8 LISTE VON BEITRÄGEN..... | 158 |
| 7.9 LITERATUR | 159 |

Abkürzungen

| | |
|----------------|---|
| <i>ABB</i> | Arbeitsbeschreibungsbogen (NEUBERGER / ALLERBECK 1978) |
| <i>AHSF</i> | Arbeitsherzschlagfrequenz |
| <i>ANOVA</i> | Analysis of Variance (Varianzanalyse) |
| <i>APAS</i> | Ariel Posture Analysis System |
| <i>API</i> | Application Programmer Interface |
| <i>BI</i> | Beweglichkeitsindex |
| <i>BK</i> | Berufskrankheit |
| <i>BeKV</i> | Berufskrankheitenverordnung |
| <i>BKZ</i> | Berufskennzeichnung |
| <i>BWS</i> | Brustwirbelsäule |
| <i>CAD</i> | Computer Aided Design |
| <i>CCD</i> | Charge Coupled Device |
| <i>CR</i> | Category Ratio (BORG, 1990) |
| <i>DLT</i> | Direct Linear Transformation |
| <i>EA</i> | Elektrische Aktivität. Beanspruchungsmaß, abgeleitet aus Muskelaktionspotentialen im Elektromyogramm |
| <i>EKG</i> | Elektrokardiogramm |
| <i>EMG</i> | Elektromyogramm |
| <i>EZ</i> | Eigenzustand (NITSCH 1976) |
| <i>f</i> | Bewegungsfrequenz |
| <i>F</i> | Kraft |
| <i>FCM</i> | Fuzzy C-Means Algorithmus |
| <i>FEM</i> | Finite Elemente Modell |
| <i>FKCN</i> | Fuzzy Kohonen Clustering Network. Typus eines fuzzy-neuronalen Netzwerkes, der Eigenschaften von Fuzzy C-Means und Kohonen Karte integriert |
| <i>fps</i> | Frames per second (Bilder pro Sekunde) |
| Γ | Bewegungsgüte |
| <i>G</i> | Anforderungsmatrix |
| <i>GB</i> | Klasse Gering Beanspruchend |
| <i>H</i> | Hüftwinkel |
| <i>H-AET</i> | Arbeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse - Haltungsspezifisches Supplement (ROHMERT ET AL. 1979) |
| <i>HB</i> | Klasse Hoch Beanspruchend |
| <i>H-Punkt</i> | Hüftpunkt |
| <i>HSF</i> | Herzschlagfrequenz. Beanspruchungsmaß abgeleitet aus dem Elektrokardiogramm |