

Gefährdungsbeurteilung bei kombiniertem Einfluss von Hand-Arm-Vibrationen und ungünstigen Haltungen und Bewegungen

Erprobung der synchronen Erfassung beider Einflussfaktoren

Dr. med. **Ulrike Hoehne-Hückstädt**, Dipl.-Ing. Uwe Kaulbars,
Dipl.-Ing. N. Raffler, Dr. rer. nat. R. Ellegast,
Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin;

Kurzfassung

Für die Entstehung von muskulo-skelettalen Beschwerden und Erkrankungen (MSE) der Hände und Arme werden verschiedene arbeitsbedingte Einflussfaktoren als ursächlich beschrieben; epidemiologische Studien weisen in diesem Zusammenhang auf eine besonders deutliche Risikoerhöhung für arbeitsbezogene MSE der oberen Extremität hin, wenn zwei oder mehrere Einflussfaktoren kombiniert einwirken. Ebenso wird die Vibrationsübertragung auf Finger, Hand und Arm wesentlich durch die Haltung der oberen Extremität mitbestimmt.

Daher ist in einem ersten Schritt eine synchrone, quantitative Erfassung der Belastungsarten, wie Hand-Arm-Vibration, ungünstige Haltungen und Bewegungen, zur Beschreibung von Risikoprofilen notwendig, um dann im zweiten Schritt eine fundierte Gefährdungsbeurteilung durchführen zu können.

Auf Grund vermehrter Anzeigen von Berufskrankheiten, die auf die Arbeit mit Oszillationsmessern beim Heraustrennen von beschädigten Frontscheiben in Omnibussen zurückgeführt wurden, erfolgten unter betrieblichen Einsatzbedingungen zeitgleiche Schwingungs- und Körperhaltungsmessungen.

Das Messverfahren wird an diesem Beispiel beschrieben; Messergebnisse werden dargestellt, analysiert und die Gefährdungsbeurteilung in diesem Fall erläutert; schließlich werden daraus ableitbare Präventionsmaßnahmen diskutiert.

Abstract

Musculoskeletal disorders (MSD) affecting hands and arms can be caused by different occupational risk factors; regarding this issue, epidemiological studies show a considerable increase of risk for MSD of upper extremities while exposed to two or more risk factors simultaneously. Also, the adopted posture of the upper extremities essentially influences the transformation of the vibration exposure in fingers, hand and arm.

Therefore, a simultaneous and quantitative measurement of the exposures like hand-arm vibration, awkward body postures and movements is needed to describe the risk profiles, which can be followed by a sound risk assessment.

Because of several compensation claims for occupational diseases, caused by oscillating pneumatic cut-out tools used during removing the glass windshield in omnibuses, simultaneous measurements of hand-arm vibrations and body posture have been conducted for these typical occupational tasks.

This article describes exemplarily the measuring equipment, analysis system and the results, which lead to a risk assessment. Finally, prevention actions are provided based on these investigations.

1. Einleitung

Muskuloskeletale Beschwerden und Erkrankungen (MSE) verursachen seit Jahren einen nahezu gleich hohen und immer den größten Prozentsatz (etwa 25%) an Arbeitsunfähigkeitstagen; darunter sind neben den MSE des Rückens und der unteren Extremität auch zu etwa gleichem Anteil die der oberen Extremität vertreten. Unter dem Begriff MSE der oberen Extremitäten werden verschiedene Krankheitsbilder der Halswirbelsäule, der Schultern, der Hände und Arme zusammengefasst. In epidemiologischen Studien werden in Abhängigkeit der untersuchten Krankheitsbilder mehrere arbeitsbedingte Einflussfaktoren als ursächlich beschrieben und insbesondere die Kombination von zwei oder mehreren Einflussfaktoren scheint eine deutliche Risikoerhöhung für arbeitsbezogene MSE der oberen Extremität zu bewirken [1]. Die Hand-Arm-Vibration (HAV) stellt einen dieser Faktoren dar; außer denen als Berufskrankheiten anerkannten „Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen“ (BK Nr. 2103) und „Vibrationsbedingten Durchblutungsstörungen an den Händen“ (BK Nr. 2104) werden auch für das Karpaltunnelsyndrom die Hand-Arm-Vibrationen als Einflussfaktor genannt, der alleine aber vor allem in Kombination mit ungünstigen Haltungen der Hände und Arme sowie mit sich wiederholenden Bewegungen der Hände (Repetition) die Erkrankung hervorrufen kann [2]. Darüber hinaus wird die Vibrationsübertragung auf Finger, Hand und Arm wesentlich durch die Haltung der oberen Extremität mitbestimmt [3].

Daher erscheint es notwendig die verschiedenen Belastungsarten (z.B. Hand-Arm-Vibrationen, ungünstige Haltungen und Bewegungen der oberen Extremität) synchron und quantitativ zu erfassen. Dazu bietet das CUELA-Messsystem (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) in einer speziellen Version die Möglichkeit [4]. Anhand von Messungen bei der Arbeit mit Oszillationsmessern werden die synchrone Erfassung der genannten Einflussfaktoren und die Erstellung von Belastungsprofilen beispielhaft erläutert. Auf der Basis dieser Ergebnisse kann dann im Weiteren eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden, um schließlich Präventionsmaßnahmen abzuleiten.

2. Methode

Die Kombinationsexpositionen durch Hand-Arm-Vibrationen und ungünstige Körperhaltungen bzw. Bewegungen wurden an zwei männlichen Probanden im Karosseriebau gemessen, während sie mit einem Oszillationsmesser die beschädigte

Windschutzscheibe aus einem Bus entfernten. Beide Probanden üben diese Tätigkeit regelmäßig im Rahmen der Wartung und Instandhaltung von Bussen aus. Die Tabelle 1 gibt die Probandendaten wider.

Tabelle 1: Probandendaten

Eigenschaft	Proband 1	Proband 2
Alter [Jahre]	40	52
Körpergröße [cm]	169	176
Gewicht [kg]	79	97
Händigkeit	Rechtshänder	Linkshänder

2.1 Hand-Arm-Vibrationen

Die Hand-Arm-Vibrationen werden wie im Bild 1 gezeigt mittels Beschleunigungsaufnehmer nach DIN EN ISO 5349-2 auf dem Seitengriff an der Maschine vorne in den drei Richtungen (x, y, z) ermittelt [5]. Es handelt sich bei der Maschine um ein pneumatisch angetriebenes Autoglasschneidemesser.

Zur Beurteilung der Vibrationsbelastung wird der Schwingungsgesamtwert als Vektorsumme der frequenzbewerteten Beschleunigungen nach folgender Formel berechnet:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Hier sind a_{hwx} , a_{hwy} , und a_{hwz} die frequenzbewerteten Beschleunigungen in den drei Raumrichtungen.

Für die Beurteilung der Vibrationsbelastung werden dann die maximalen Expositionszeiten pro Arbeitstag bis zur Überschreitung der Kennwerte herangezogen; dies sind der Auslösewert der Tages-Schwingungsbelastung $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$ und der Expositionsgrenzwert der Tages-Schwingungsbelastung $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$.



Bild 1: Die Anbringung des Beschleunigungsaufnehmers (Messpunkt rot eingekreist) für die Hand-Arm-Vibration und Lage der Messachsen

2.2 Körperhaltungen

Die Körperhaltungen werden mit einer Version des Messsystems CUELA des IFA (Institut für Arbeitsschutz der DGUV) ermittelt, das mit Gyroskopen, Beschleunigungsaufnehmern und Potentiometern sowohl die Haltungen und Bewegungen des Rumpfes und der Beine als auch die Bewegungen der Hände, Arme und Schultern erfasst (s. Bild 2) [6].



Sensorik für die Hände

Sensorik für Unterarm und Ellenbogen

Sensorik für Schultern und Brustwirbelsäule

Sensorik für die Lendenwirbelsäule
und für die Hüften

Sensorik für die Knie

Bild 2: Das CUELA-System zur Messung der Körperhaltungen des Rumpfes, der Beine, der Hände, Arme und Schultern

In Tabelle 2 sind die einzelnen Freiheitsgrade der betrachteten Gelenke/Körperregionen gemeinsam mit den erfassenden Sensoren zusammengestellt. Die Messdaten werden mit einer Abtastrate von 50 Hz durch ein batteriebetriebenes Mikrocontrollersystem aufgenommen und auf Flash-Karten gespeichert. Gleichzeitig können die Hand-Arm-Vibrationen gemessen werden. Während der Messung erfolgt außerdem eine Videoaufzeichnung.

Tabelle 2: Übersicht über die mit dem CUELA-System erfassten Körperglieder, Freiheitsgrade und eingesetzte Sensorik

Gelenk/Körperregion	Freiheitsgrad	Erfassender Sensor
Kopf	Neigung, Flexion/Extension	Inklinometer
Brustwirbelsäule (BWS)	Neigung, Flexion/Extension, Seitneigung	Inklinometer, Gyroskop
Halswirbelsäule (HWS)	Flexion/Extension	Berechnung aus Neigung des Kopfes und der BWS
Lendenwirbelsäule (LWS)	Neigung, Flexion/Extension, Seitneigung	Inklinometer, Gyroskop
Rumpfneigung und Rumpfseitneigung	Flexion/Extension, Seitneigung	Berechnung aus Neigung bzw. Seitneigung der BWS und LWS
Hüftgelenk	Flexion/Extension	Potentiometer
Kniegelenk	Flexion/Extension	Potentiometer
Schultergürtel	Depression/Elevation, Anterior/Posterior	Potentiometer
Schultergelenk	Flexion/Extension, Ad-/Abduktion, Innen-/Außenrotation	Potentiometer
Ellbogengelenk	Flexion/Extension	Potentiometer
Unterarm	Pro-/Supination	Potentiometer
Handgelenk	Flexion/Extension, Radial-/Ulnarabduktion	Potentiometer

Nach Beendigung der Messung können die Daten im Computer weiterverarbeitet werden. Dazu steht die eigens entwickelte CUELA-Software zur Verfügung, mit der sich der Untersucher zunächst die importierten und synchronisierten Daten in drei Fenstern darstellen lassen kann und anhand des Videos den Zusammenhang zwischen gemessener Körperbewegung, erfassten Hand-Arm-Vibrationen und ausgeführter Tätigkeit des Probanden herstellen kann (vgl. Bild 3).

Die statistische Auswertung der Daten gibt Aufschlüsse über Absolutwerte von Körperhaltungen sowie deren zeitliche Verteilung und erlaubt die Identifikation von Tätigkeiten mit belastenden Körperhaltungen.

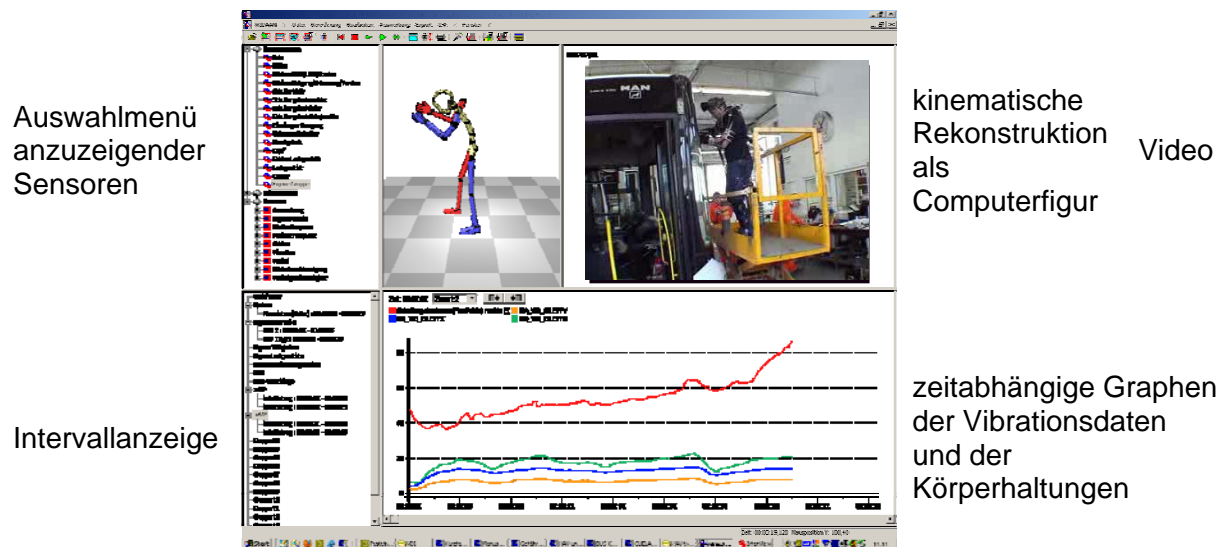



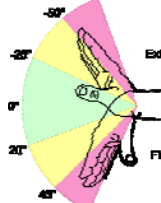


Bild 3: Darstellung der Daten in der CUELA-Software WIDAAN

In Tabelle 3 sind die in dieser Untersuchung am beschriebenen Arbeitsplatz verwendeten Richtwerte für die Bewertung von Gelenk-/Körperwinkeln mit dem Fokus auf die obere Extremität zusammenfassend dargestellt. Die angegebenen Winkelwerte leiten sich von der Neutral-Null-Methode ab. Bei dieser Methode werden alle Gelenkbewegungen von einer einheitlich definierten Null-Stellung aus gemessen. Diese Neutral-Null-Stellung entspricht der Gelenkstellung, die ein gesunder Mensch im aufrechten Stand mit hängenden Armen, nach vorn gehaltenen Daumen und parallelen Füßen sowie gerade nach vorne gewendetem Blick einnimmt. Von der Neutral-Null-Stellung aus sind üblicherweise in einer Ebene Bewegungen in beide Richtungen möglich. Die entgegengesetzten Bewegungsrichtungen werden durch positive und negative Vorzeichen markiert. Entsprechend des Bewegungsausmaßes der einzelnen Gelenke und der angegebenen Referenzen wird der Bewegungsumfang in einen neutralen, mittelgradigen und endgradigen Winkelbereich eingeteilt. Haltungen oder Bewegungen mit einer Auslenkung in den mittelgradigen oder endgradigen Winkelbereich sind als stärker belastend zu bewerten.

Als statische Haltungen werden nach der europäischen Norm EN1005-1 Körperhaltungen bezeichnet, die unter gleich bleibendem oder gering veränderlichem Kraftniveau länger als 4 Sekunden eingenommen werden [7]. Das Schädigungspotential statischer Körperhaltungen wird vorrangig in der Verursachung von Muskelermüdung erkannt. In der Folge treten Veränderungen des Stoffwechsels, der Schmerzempfindung und der Bewegungsmuster auf, die schließlich auch zu einer Überlastung passiver Strukturen des Muskel-Skelett-Systems führen können. Daher werden Tätigkeiten in Gelenkwinkelstellungen, welche außerhalb der Neutralstellung länger als 4 Sekunden gehalten werden, registriert und bezüglich der Häufigkeit ihres Vorkommens bewertet.

Tabelle 3: zusammenfassende Darstellung der bewerteten Winkelbereiche

Bezeichnung des Sensors	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung
Schultergelenk Adduktion 	+: z. Körper hin (Adduktion) -: v. Körper weg (Abduktion)	grün: 0° - -20° gelb: -20° - -60° rot: <-60° u. >0° (DIN EN 1005-4)[8]
Schultergelenk Flexion 	+: n. vorne (Flexion) -: n. hinten (Extension)	grün: 0° - 20° gelb: 20° - 60° rot: <0° u. >60° (DIN EN 1005-4)[8]
Ellenbogengelenk Flexion 	+: Beugung des Unterarms (Flexion) -: Streckung des Unterarms (Extension)	grün: 60° - 100° rot: <60° u. >100° (s. McAtamney u. Corlett)[9]
Handgelenk Flexion 	+: z. Handfläche hin (Flexion) -: z. Handrücken hin (Extension)	grün: -25° - 20° gelb: -25° - -50° u. 20° - 45° rot: <-50° u. >45° (s. Drury)[10]

Als repetitive Bewegungen werden Bewegungen bzw. Bewegungsabläufe (Zyklen) bezeichnet, welche sich gleichförmig in einem bestimmten Zeitraum (mindestens über eine Stunde) wiederholen. Um zunächst eine grobe Einschätzung der Repetition vornehmen zu können, wird die Einteilung von Silverstein [11] benutzt. Danach liegt eine hohe Repetitivität vor, wenn eine Zyklusdauer weniger als 30 Sekunden beträgt oder gleiche Aktionsarten während mindestens 50% der Zyklusdauer wiederholt werden. Weitere Werte, die laut *Hansson* zur Beurteilung der Repetitivität vor allem im Zusammenhang mit dem Karpaltunnelsyndrom herangezogen werden können, sind die Geschwindigkeit und die Mittenfrequenz der Handgelenksbewegungen (Flexion/Extension) [12]. Als Richtwerte gibt er für diese Geschwindigkeit 11°/s (Median, niedriges Risiko für CTS) und 23°/s (Median, hohes Risiko für CTS) sowie für diese Mittenfrequenz ein stetig zunehmendes Risiko ab Werten > 0,25 Hz an.

2.3 Kombinationsexpositionen Hand-Arm-Vibrationen und Körperhaltungen

Die Belastungen aus der gleichzeitigen Einwirkung von Hand-Arm-Vibration und ungünstigen Körperhaltungen - hier vor allem die Schultergelenkbewegungen und -haltungen - können als prozentualer Zeitanteil der Messung angegeben werden. Durch automatisierte Erkennung mittels der CUELA-Software können entsprechende Intervalle markiert und deren Gesamtdauer berechnet werden (vgl. Bild 4).

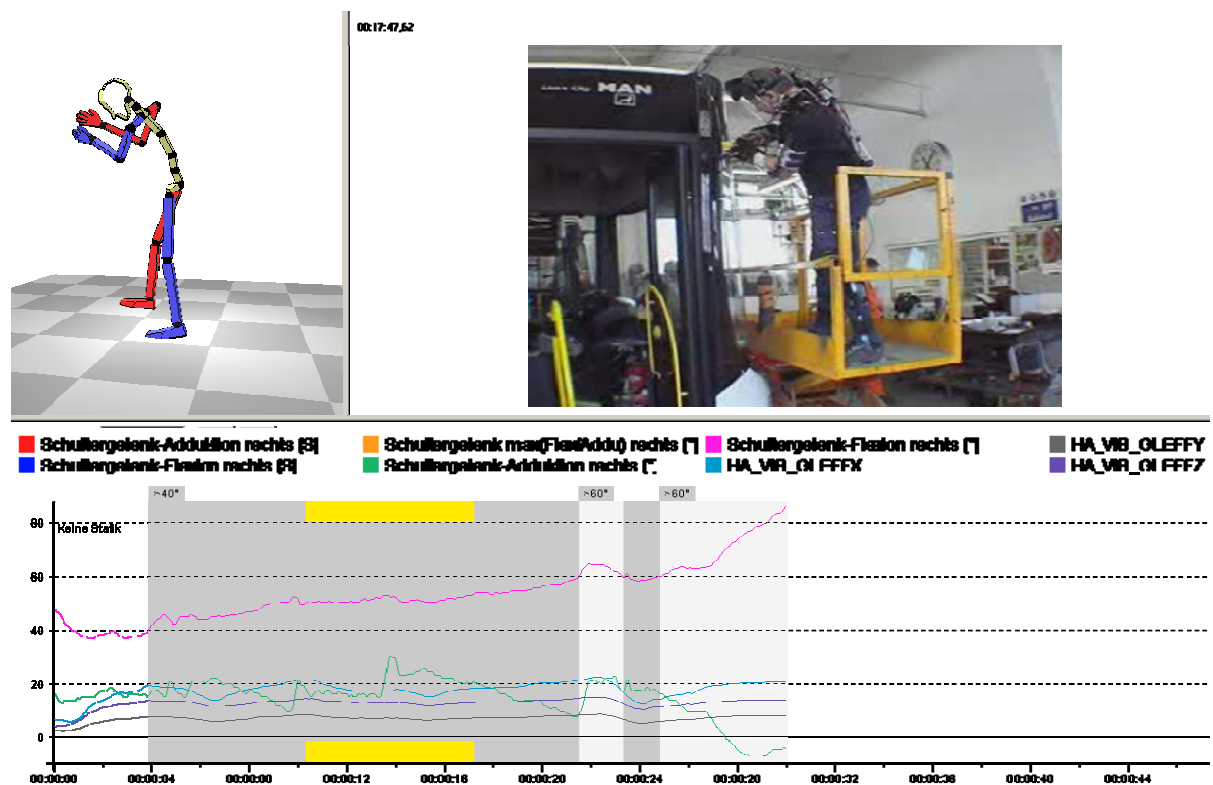


Bild 4: Darstellung der graue markierten Intervalle und der auftretenden statischen Haltungen in der CUELA-Software WIDAAN

3. Ergebnisse

3.1 Arbeitstätigkeiten und Hand-Arm-Vibrationen

Die Benutzung der Geräte erfordert nach Abschätzung durch die Untersucher einen sehr hohen Kraftaufwand. Tabelle 4 zeigt die HAV-Werte einer kombinierten Messung.

Tabelle 4: Berechnung des a_{hv} -Werts

Messung:	a_{hwX} [m/s ²]	a_{hwY} [m/s ²]	a_{hwZ} [m/s ²]	a_{hv} [m/s ²]
Teil 1	12,92	7,19	17,84	23,17
Teil 2	13,91	7,93	22,41	27,54
	$\bar{a}_{hv} (\pm SD)$			25,36(± 3,1)

Diese Werte bestätigen die bereits früher durchgeführten HAV- Messungen, bei denen die Schwingungsbelastungen der untersuchten pneumatisch betriebenen Geräte im Bereich $a_{hv} = 16,0 - 22 \text{ m/s}^2$ lagen. Bereits nach 5-6 Minuten pro Tag kann der untere Auslösewert und der Expositionsgrenzwert nach 19 Minuten pro Tag erreicht werden [13]. Außerdem tritt beim Arbeitsgang in der Interaktion zwischen Gummielemente, Gerät und Hand-Arm-System häufig ein Resonanzeffekt auf, bei dem die Vibrationsbelastung zeitweise höher liegt.

3.2 Körperhaltungen

Die gemessenen Bewegungen und Haltungen in den Schultergelenken zeigen über große Zeiträume der Messung ungünstige Haltungen; dies wird hier beispielhaft anhand der Winkelverteilung für die Flexion/Extension des rechten Schultergelenks im Boxplot-Diagramm dargestellt. (Bild 5).

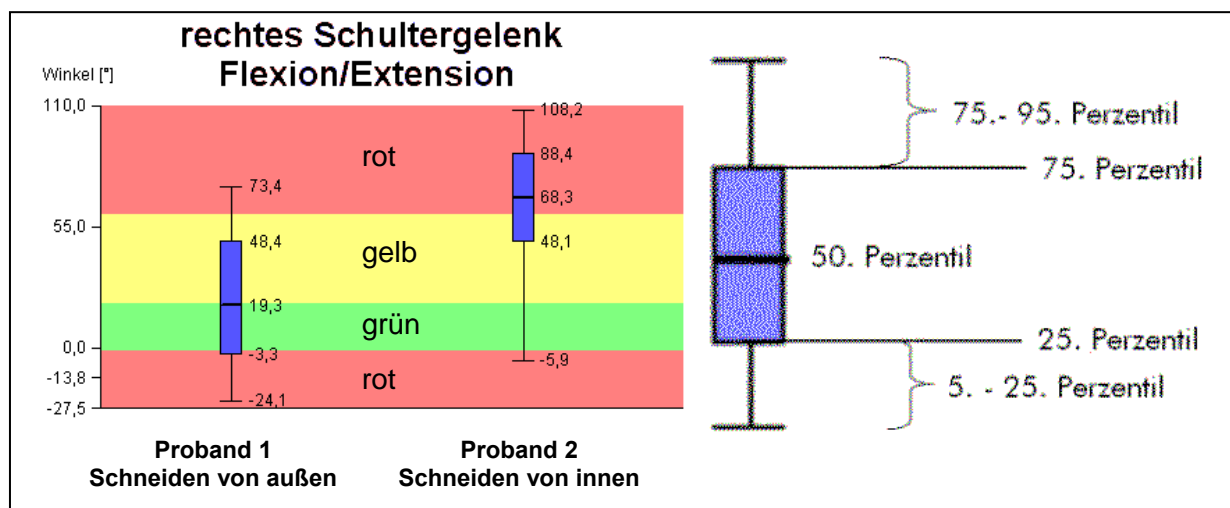


Bild 4: Darstellung der Winkelverteilung des rechten Schultergelenks Flexion/Extension

Es ist deutlich zu erkennen, dass das Schneiden von außen eine etwas geringere Belastung darstellt, da hier teilweise der Arbeitsbereich mit einer höhenverstellbaren Arbeitsbühne erreicht werden kann, während beim Schneiden von innen immer über das Armaturenbrett und das Lenkrad gelehnt gearbeitet werden muss.

Bezüglich der Handgelenksbewegungen i. S. der Flexion/Extension rechts ergaben sich nur sehr geringe Zeitanteile (unter 10 % der Messzeit) in ungünstigen Bereichen; die Bewegungsgeschwindigkeit zeigte für beide Probanden mit 2,1 °/s bzw. 5,8 °/s und die Mittenfrequenz mit 0,1 Hz kein Risiko für CTS an.

3.1 Kombinationsexpositionen Hand-Arm-Vibrationen und ungünstige Körperhaltung

Zur Beurteilung der Kombinationsbelastung wurde der Zeitanteil der ungünstigen Bewegungen und Haltungen der Schultern für die Flexion/Extension und die

Adduktion/Abduktion an der gesamten Netto-Arbeitszeit ermittelt. Die Netto-Arbeitszeit schließt Wartezeiten und Umrüstzeiten der Geräte aus. Während dieser Netto-Arbeitszeit kommt es zu hohen Einsatzzeiten des Oszillationsmessers und es können mittelgradig und höhergradig belastende Armhaltungen zu 71 % bzw. 48,3 % der Zeit gemessen werden.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Für das Entfernen einer Windschutzscheibe konnte anhand der vorliegenden Messungen eine Netto-Arbeitszeit von rund 38 Minuten berechnet werden, in der die Einsatzzeiten des Oszillationsmessers sehr wahrscheinlich zum Überschreiten des Auslösewerts und des Expositionsgrenzwerts führen. Daher sind zunächst zur Reduktion der HAV-Exposition arbeitsorganisatorische Maßnahmen wie Jobrotation zu empfehlen. Außerdem können konstruktive Lösungen, z. B. ein Stützsystem, ausgestattet mit entkoppelten Teflongriffen und Schwingungsdämpfern die Vibrationsemission der Oszillationsmesser auf weniger als ein Viertel der Ausgangswerte reduzieren; eine verbesserte ergonomische Gestaltung des Handgriffs ist ebenfalls anzunehmen (vgl. Mitteilung INRS) [14]. In erster Linie aber sollte der Ersatz des Verfahrens überdacht werden und es gilt, bereits bei der Konstruktion auf die Belastung, die bei der Reparatur und Demontage entsteht, zu achten. Durch diese Interventionen würden auch die hier nicht thematisierten Belastungen für den Nacken und Rücken durch ungünstige Körperhaltungen vermieden.

5. Literaturangaben

- [1] Hales, T.; Sauter, S.; Petersen, M.; Putz-Anderson, V.; Fine, L.; Ochs, T.; Schleifer, L.; Bernard, B.: Health hazard evaluation and technical assistance report, Newsday Inc., Melville, New York. NIOSH HETA Report No. 89-250-2046. (Hrsg.): National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH), US Dept. of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio 1992
- [2] Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Druckschädigung des Nervus medianus im Carpaltunnel (Carpaltunnel-Syndrom - CTS) durch repetitive manuelle Tätigkeiten mit Beugung und Streckung der Handgelenke, durch erhöhten Kraftaufwand der Hände oder durch Hand-Arm-Schwingungen“, Bekanntmachung im Gemeinsame Ministerialblatt (GMBl) Nr. 27, 2009, S. 573-581
- [3] M. J. Griffin: Handbook of Human Vibration, S. 540-541. Academic Press, London 1990. ISBN 0-12-303040-4

- [4] Herda, C.: Entwicklung eines personengebundenen Systems zur Erfassung komplexer Haltungen und Bewegungen der Schulter-Arm-Region bei beruflichen Tätigkeiten. Dissertation Johannes Gutenberg- Universität Mainz, Fachbereich Medizin 2002
- [5] DIN EN ISO 5349-2:2002, Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz, Beuth, Berlin 2001
- [6] Ellegast, R.: Ermittlung und Bewertung der Belastung des Muskel-Skelettsystems bei beruflichen Tätigkeiten. *Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz aktuell*, (2000) 47, S. 57-70
- [7] DIN EN 1005-1: Menschliche körperliche Leistung, Teil 1: Begriffe. Beuth, Berlin 2002
- [8] DIN EN 1005-4, Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen
- [9] McAtamney, L.; Corlett, E. N.: RULA: a survey method for the investigations of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics* 24 (1993) Nr. 2, S. 91-99
- [10] Drury, C. G.: A Biomechanical Evaluation of the Repetitive Motion Injury Potential of Industrial Jobs. *Seminars in Occupational Medicine* 2, 1 (1987), 41-49
- [11] Silverstein, B. A.; Fine, L. J. and Armstrong, T. J.: Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine* 43 (1986), S. 779-784
- [12] Hansson, G. Å., Balogh, I; Ohlsson, K. et al. (2009): Physical workload in various types of work: Part I. Wrist and forearm. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, S. 221-233
- [13] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung , Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I, Nr. 8, S. 261 - 296. (LärmVibrationsArbSchV)(ausgegeben zu Bonn am 8. März 2007)
- [14] INRS Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelle, Centre de Laboratoire de Vibrations, Avenue de Bourgogne B.P. n°27, 54501Vandœuvre Cedex