

**10<sup>th</sup> International Conference on Hand-Arm Vibration**

**07. – 11. Juni 2004, Las Vegas/USA**

**Methode zur Beurteilung der Verminderung der Risiken für das  
Muskel-Skelett-System durch verbesserte ergonomische Gestaltung  
vibrierender Werkzeuge**

**Autor: Dr. Eberhard Christ  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA,  
53754 Sankt Augustin**



## Einleitung

In Deutschland werden Knochen- und Gelenkschäden der oberen Extremitäten bereits seit 1929 als Berufskrankheit anerkannt, zunächst nur im Bergbau, später aber auch in zahlreichen anderen Industriezweigen mit Schwerpunkt im Bauwesen. Jährlich stellen mehr als 500 Beschäftigte einen Antrag auf Anerkennung derartiger Erkrankungen als Berufskrankheit. Die neue EU-Vibrationsschutz-Richtlinie 2002/44/EG [1] nennt als wichtiges Präventionsziel die Beseitigung der Gefahr des Entstehens von Muskel- und Skelettschädigungen.

### EU-Richtlinie 2002/44/EG:

... Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer vor den durch Vibrationen verursachten Gefahren ... nämlich insbesondere **Muskel- und Skelettschädigungen**, neurologische Erkrankungen und Durchblutungsstörungen ...

Aus den Erwägungsgründen (3)

Damit Anwenderbetriebe von Vibrationswerkzeugen möglichst vibrationsarme Geräte anschaffen können, sind die Hersteller im Bereich des Europäischen Binnenmarktes verpflichtet, die Vibrationsemission in den Benutzerhinweisen anzugeben. Die EU-Maschinenrichtlinie 98/37/EG [2] verlangt außerdem an vorrangiger Stelle die Berücksichtigung ergonomischer Gestaltungsprinzipien beim Maschinendesign.

### EU-Richtlinie 98/37/EG:

1.1.2.(d) – Bei bestimmungsgemäßer Verwendung müssen Belästigung, Ermüdung und psychische Belastung (Stress) des Bedienungspersonals unter **Berücksichtigung der ergonomischen Prinzipien** auf das mögliche Mindestmaß reduziert werden.

1.5.9 – Die Maschine muss so konzipiert und gebaut sein, daß **Gefahren durch Maschinenvibrationen** auf das ... erreichbare niedrigste Niveau gesenkt werden.

2.2 – In der Hand gehaltene bzw. von Hand geführte Maschinen – In der Betriebsanleitung muß folgende Angabe über die Vibrationen enthalten sein ...: **gewichteter Effektivwert der Beschleunigung** ... falls der nach den entsprechenden Prüfregeln ermittelte Wert über  $2,5 \text{ m/s}^2$  liegt.

Aus Anhang I (Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen)

Die Hersteller können gegenüber dem Benutzer die erreichte Vibrationsminderung durch die zahlenmäßige Angabe der Vibrationsemissions-Kennwerte dokumentieren.

Ob dagegen angegebene ergonomische Verbesserungen tatsächlich eine Verminderung gesundheitlicher Risiken oder übermäßiger körperlicher Belastung bewirken, lässt sich meist nur qualitativ beurteilen, nicht aber objektiv messen. Am Beispiel eines ergonomisch veränderten Schleifarbeitsplatzes in einem Schiffbaubetrieb soll neben dem messtechnischen Nachweis der erreichten Vibrationsminderung die vom BIA entwickelte CUELA-Methode (**C**omputer **u**nterstützte **E**rfassung und **L**angzeit-**A**nalyse von **B**elastungen des Muskel-Skelett-Systems) zur messtechnischen Charakterisierung ergonomischer Belastungsveränderungen vorgestellt werden [3].

## Schleifarbeitsplatz im Schiffbau



Abbildung 1:  
Schweißnahtvorbereitung mit  
Winkelschleifer



Abbildung 2:  
Schweißnahtvorbereitung mit  
Turbo-Bandschleifer

Manuelles Schleifen an horizontal liegenden Blechtafeln zur Schweißnahtvorbereitung ist im Schiffbau traditionell ein wichtiger Arbeitsgang. Die Vorkonservierung der Blechtafeln hat den Anteil der manuellen Schleifarbeiten wesentlich erhöht, da vor dem Schweißen die Lackschicht entfernt werden muss. Bisher führte der Arbeiter dazu den Winkelschleifer in hockender Stellung. Zur Entlastung der Wirbelsäule kniete er auf der kalten Blechplatte. Die Schleifmaschine befand sich in Armlängenabstand unterhalb des Gesichtes, so dass neben der Vibrations- und Lärmeinwirkung auch Stäube und Dämpfe eingeatmet wurden. Ziel der Verbesserung dieses in mehrfacher Hinsicht gesundheitsgefährdenden Arbeitsverfahrens war es, die Schleifarbeiten in aufrechter Körperhaltung ausführen zu können. Dazu entwickelte der Betrieb unter Verwendung eines handelsüblichen Winkelschleifers einen eigenen Turbo-Bandschleifer. Ähnlich wie bei einem Rasenmäher können die Schleifarbeiten damit aufrecht gehend ausgeführt werden. Die Führungsstange ermöglicht die exakte Einhaltung der markierten Schleifbahn und die Dosierung des erforderlichen Andruckes des Schleifbandes. Das Einatmen von Staub und Dämpfen vermindert sich durch den vergrößerten Abstand des Gesichtes zum Schleifvorgang. Die typischen Unwuchtvibrationen der rotierenden Schleifscheibe beim Winkelschleifer treten beim Bandschleifer nicht auf. Die erreichte ergonomische Verbesserung ist offensichtlich. Sie soll mithilfe des CUELA-Systems qualitativ beurteilt werden.

## Messergebnisse

### Vibrationsbelastung

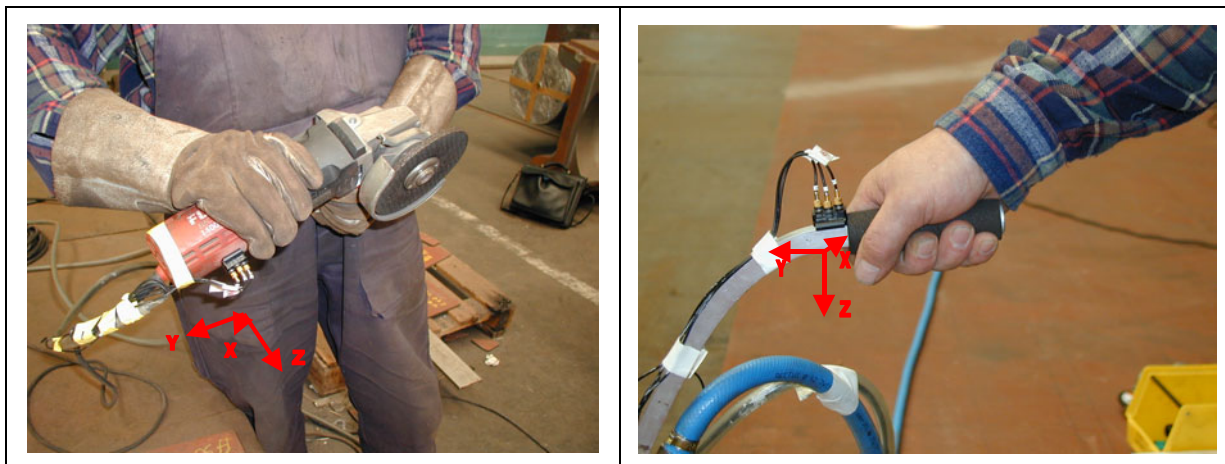


Abbildung 3:  
Befestigung der Beschleunigungsaufnehmer

Zur Ermittlung der Vibrationseinwirkung wurden die Beschleunigungsaufnehmer für die x-, die y- und die z-Richtung entsprechend ISO 5349:2001, Teil 2 [4] an den Handgriffen der Maschinen unmittelbar neben der Hand angebracht. Für alle drei Messrichtungen wurden die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen  $a_{hw(x,y,z)}$  ermittelt. Außerdem wurde der Schwingungsgesamtwert  $a_{hv}$  berechnet.

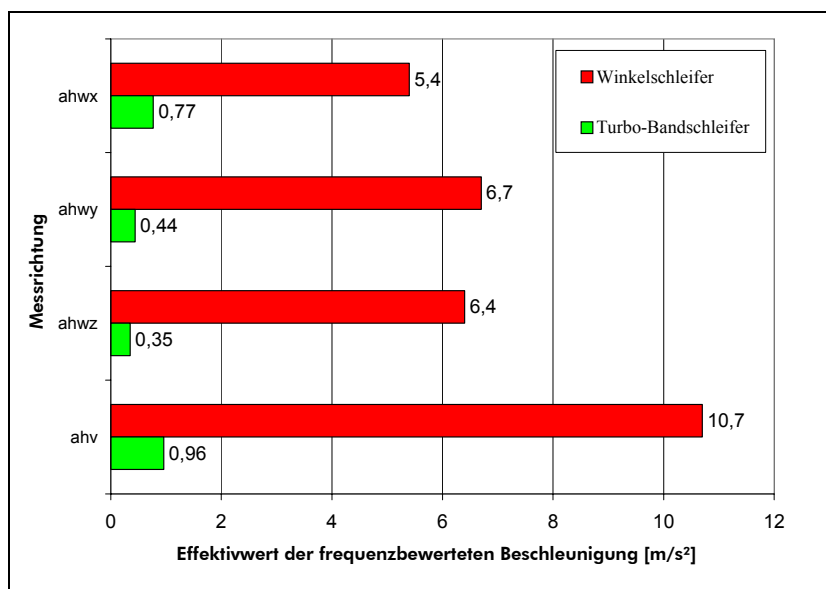


Abbildung 4:  
Hand-Arm-Vibrations-  
belastung beim Schleifen

Die tabellarische Zusammenstellung der Vibrationsmessergebnisse für den bisher verwendeten Winkelschleifer und den neuen Turbo-Bandschleifer zeigt die erwartete deutliche Senkung der Vibrationseinwirkung. Die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen bei der Arbeit mit dem handgehaltenen Winkelschleifer lagen zwischen 5,4 m/s<sup>2</sup> (x-Richtung) und 6,7 m/s<sup>2</sup> (y-Richtung). Der Schwingungsgesamtwert

lag bei  $10,7 \text{ m/s}^2$ . Für den handgeführten Turbo-Bandschleifer wurden Werte zwischen  $0,35 \text{ m/s}^2$  (z-Richtung) und  $0,77 \text{ m/s}^2$  (x-Richtung) gemessen. Der Schwingungsgesamtwert wurde dafür zu  $0,96 \text{ m/s}^2$  errechnet.

## Ergonomische Beurteilung mit dem CUELA-System

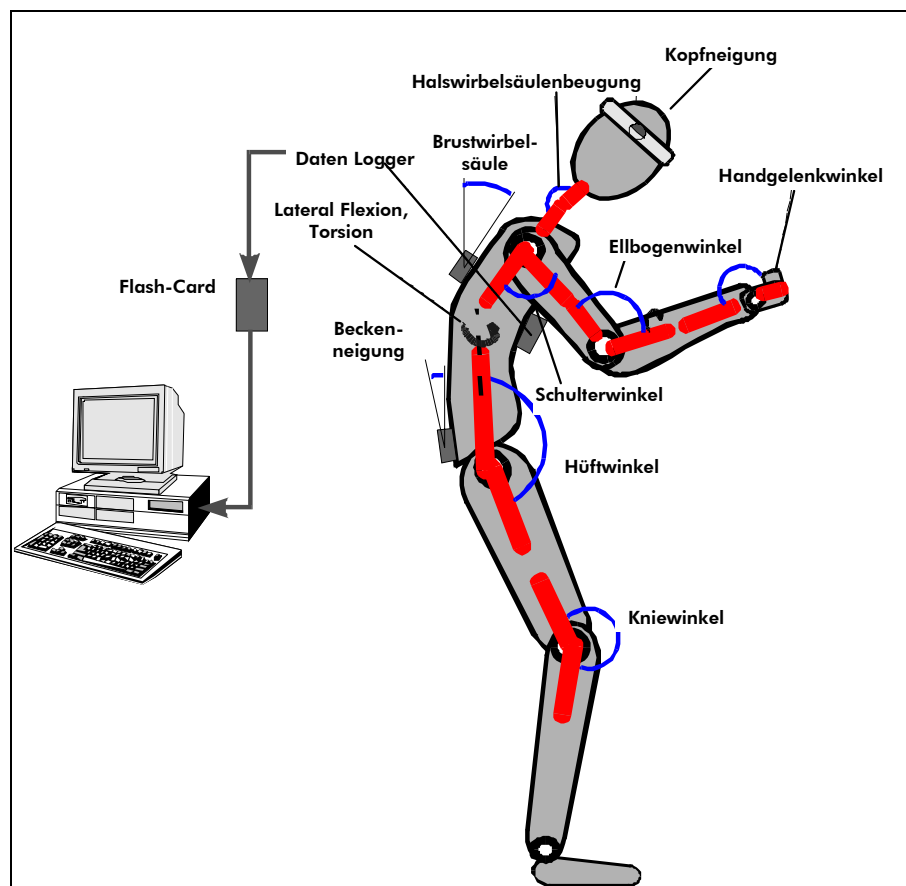


Abbildung 5:  
Registrierung und Speicherung der Körperhaltung beim Schleifen

Bisher war es üblich, Bewegungsstudien zur Ermittlung von Muskel-Skelett-Belastungen an Arbeitsplätzen mithilfe visueller Methoden oder durch die Auswertung von Einzelbildern aus Videoaufzeichnungen durchzuführen. Dies war bei unzureichender Genauigkeit mit hohem zeitlichen und personellen Aufwand verbunden. Das CUELA-System ermöglicht hohe Genauigkeit bei geringem zeitlichen und personellen Aufwand. Es besteht aus moderner Sensorik (Inklinometer, Gyroskope, Potentiometer) und einem tragbaren Minicomputer, die auf der Kleidung der arbeitenden Person angebracht werden. Damit ist das CUELA-System nicht nur im Labor, sondern an jedem beliebigen Arbeitsplatz ohne Behinderung der Arbeitsausführung einsetzbar.

Tabelle 1:  
Übersicht über die mit dem CUELA-System erfassten Gelenk-/Körperteilbewegungen und die eingesetzte Sensorik

Gelenk/Körperregion	Freiheitsgrad	Erfassender Sensor
Kopf	Neigung, Flexion/Extension	Inklinometer
Halswirbelsäule (HWS)	Flexion/Extension	berechnet
Brustwirbelsäule (BWS)	Neigung, Flexion/Extension, Seitneigung	Inklinometer, Gyroskop
Lendenwirbelsäule (LWS)	Neigung, Flexion/Extension, Seitneigung	Inklinometer, Gyroskop
Becken	Neigung (sagittal)	Inklinometer, Gyroskop
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

Die interessierenden Belastungsdaten der Sensoren für das Hand-Arm-Schulter-System, aber auch für die mittlere und untere Körperregion werden mit hoher Zeitaufösung (Abtastrate 50/s) in dem ebenfalls an der Person befestigten Minicomputer auf einer Flash-Card gespeichert. Es ist möglich, sämtliche Sensordaten über die Dauer einer vollständigen Arbeitsschicht von acht Stunden zu speichern. Unmittelbar nach Abschluss der Arbeit werden die Daten in einen Computer übertragen und stehen sofort für die Auswertung zur Verfügung. Die dazu vom BIA entwickelte CUELA-Software erlaubt es, zu jedem beliebigen Messzeitpunkt die registrierten Gelenkwinkel und Körperneigungen und -drehungen anhand einer dreidimensionalen Computerfigur bildlich anzuzeigen. Ein parallel dazu aufgenommenes Videobild wird automatisiert eingeblendet.

Als Beispiel dafür seien für die Schleifarbeiten die Flexion, die Adduktion und die Innenrotation der Schultergelenke dargestellt. Deutlich kann man den repetitiven Bewegungsablauf bei der Arbeit in hockender bzw. kniender Körperhaltung mit dem Winkelschleifer erkennen (Skalierung beachten). Im Vergleich dazu sind diese Bewegungen bei der Arbeit in aufrechter Körperhaltung mit dem Turbo-Bandschleifer von weitaus geringerem Umfang.

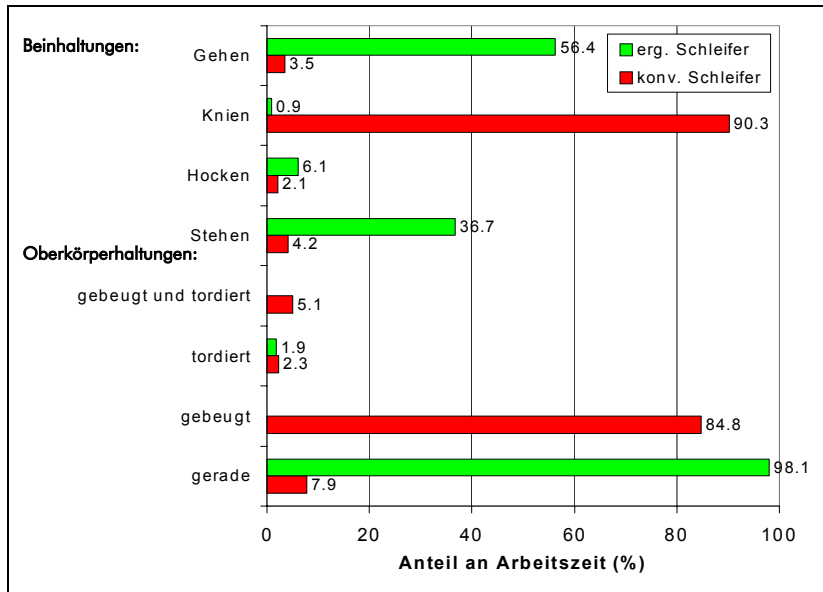


Abbildung 6:  
Ergebnisse der Körperhaltungsanalyse

Die Tabelle mit den Ergebnissen der Körperhaltungsanalyse verdeutlicht im Vergleich beider Arbeitsvorgänge die Beseitigung der ungünstigen Kniehaltung und der starken Rumpfbeugung. Beim Schleifen mit dem Turbo-Bandschleifer überwiegt die aufrechte, nicht verdrehte Haltung des Oberkörpers.

Für die Bewertung der Körperhaltungsmessergebnisse wurde die in Finnland entwickelte OWAS-Methode (**O**vako **W**orking **P**osture **A**nalysing **S**ystem) gewählt [5]. Dabei werden insgesamt 252 verschiedene Körperhaltungen klassifiziert und statistisch vier Risikoklassen (Handlungskategorien) zugeordnet. Damit erhält der Anwender eine Prioritätenliste für die präventive Arbeitsgestaltung. Das CUELA-System ermöglicht es, nach der Realisierung entsprechender Maßnahmen deren Erfolg zu kontrollieren und gegebenenfalls eine Optimierung durchzuführen.

Kategorisierung von insgesamt 252 Arbeitshaltungen kombiniert mit Lastgewichten und klassifiziert nach vier Risikoklassen („Maßnahmenklassen“)	
<span style="color: green;">■</span>	Klasse 1: Keine Maßnahmen notwendig
<span style="color: yellow;">■</span>	Klasse 2: Maßnahmen bei der nächsten Routineprüfung notwendig
<span style="color: orange;">■</span>	Klasse 3: Maßnahmen in naher Zukunft notwendig
<span style="color: red;">■</span>	Klasse 4: Maßnahmen umgehend notwendig

Abbildung 7:  
Ergonomische Bewertung nach OWAS

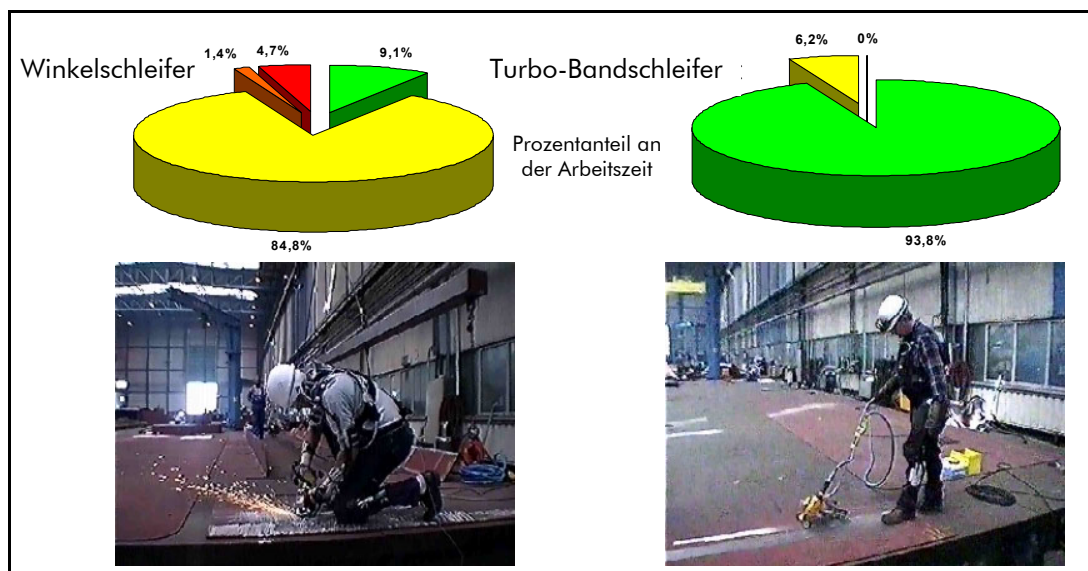


Abbildung 8:  
Beurteilung der Muskel-Skelett-Belastung beim Schleifen:  
Maßnahmenklassen für die Prävention

Die OWAS-Analyse ergab, dass bei der Arbeit mit dem Winkelschleifer nur für 9,1 % der Arbeitszeit kein ergonomischer Verbesserungsbedarf besteht. Während 90,9 % der Arbeitszeit wird die eingenommene Körperhaltung als gesundheitlich bedenklich für das Muskel-Skelett-System eingestuft. Bei der neuen Schleiftechnik mit dem Turbo-Bandschleifer gelten 93,8 % der Arbeitszeit als gesundheitlich unbedenklich. Nur 6,2 % der Arbeitszeit werden hier der Risikoklasse 2 zugeordnet.

## Schlussfolgerungen

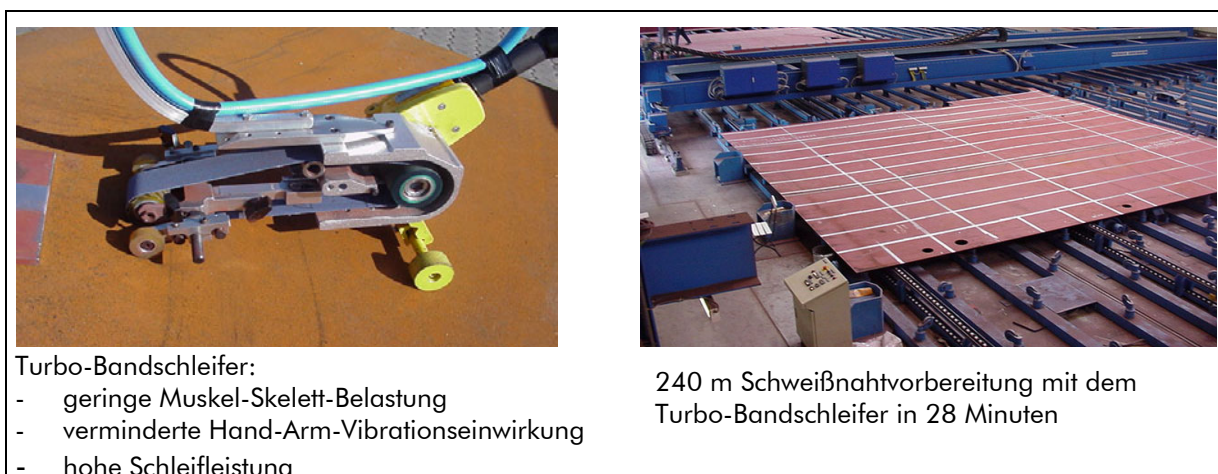


Abbildung 9:  
Erfolgreiche ergonomische Verbesserungsmaßnahmen bei der  
Schweißnahtvorbereitung

Das erfolgreiche Beispiel des Einsatzes eines handgeführten Turbo-Bandschleifers anstelle eines handgehaltenen Winkelschleifers zeigt, dass mit der Zielstellung einer wirksamen Minderung der Vibrationseinwirkung zugleich auch wesentliche ergonomische Verbesserungen erreichbar sind. Die Verbindung beider Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitssicherheit, die z. B. eine der Kernforderungen der EU-Richtlinie über Maschinensicherheit ist, erfordert als Erfolgsnachweis neben der messtechnischen Ermittlung der Vibrationskenngrößen auch eine objektive, überprüfbare Bewertung der ergonomisch günstigeren Gestaltung. Dafür hat sich das im BIA entwickelte CUELA-System als geeignet erwiesen. Die ergonomische Gestaltung vibrierender handgehaltener und handgeführter Maschinen muss auch den unter den vorgesehenen Verwendungen an den Arbeitsplätzen erforderlichen körperlichen Einsatz der Bedienpersonen berücksichtigen und gegebenenfalls geeignete Handhabungshilfen bereitstellen.

Einen wesentlichen Beitrag zur Minderung gesundheitsgefährdender Arbeitsbedingungen hat der Maschinenanwender durch die Auswahl geeigneter Geräte und Arbeitsverfahren zu leisten. Die von der EU-Maschinenrichtlinie für sämtliche handgehaltenen und handgeführten Maschinen verlangte Angabe der Vibrationsemissions-Kennwerte bietet dafür eine wichtige Voraussetzung.

Dass sich ergonomische Verbesserungsmaßnahmen nicht nur in einem Abbau von Muskel-Skelett-Belastungen und damit u. a. einem verminderten Krankenstand der Beschäftigten dokumentieren, sondern auch direkte ökonomische Vorteile bieten können, hat sich im dargestellten Beispiel der Schleifarbeit im Schiffbau deutlich gezeigt. Um zwei Meter Schleifstrecke bei 50 mm Schleifbreite mit dem Winkelschleifer zu erzeugen, wurden bisher 3,5 Minuten benötigt. Mit dem Turbo-Bandschleifer kann diese Aufgabe jetzt in nur 14 Sekunden erledigt werden.

## **Zusammenfassung**

Das im BIA entwickelte CUELA-System zur Analyse von Körperhaltungen und Lastgewichthandhabung wurde zur quantitativen Ermittlung der erreichten Verminderung der Muskel-Skelett-Belastung durch Veränderungen des Schleifprozesses in einem Schiffbaubetrieb eingesetzt. Gegenüber der Hand-Arm-Vibrationseinwirkung beim herkömmlichen Schleifprozess mit einem Winkelschleifer von  $10,7 \text{ m/s}^2$  konnte durch den Einsatz eines im Betrieb selbst entwickelten Turbo-Bandschleifers eine Verminderung auf  $0,96 \text{ m/s}^2$  erreicht werden. Die im Knien ausgeführte Winkelschleiferarbeit wurde zu 90,9 % der Tätigkeit als ergonomisch verbesserungsbedürftig charakterisiert. Die mit dem Turbo-Bandschleifer im Stehen ausgeführte Schleifarbeit wurde nur noch zu 6,2 % der Arbeitszeit als verbesserungsbedürftig beurteilt.

## Schrifttum

- [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 im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG).  
Abl. EG L 177 v. 06.07.2002, S. 13
- [2] Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen. Abl. EG L 207 v. 23.07.1998, S. 1
- [3] Ellegast, R.; Kupfer, J.: Portable posture and motion measuring system for use in ergonomic field analysis. In: Landau, K. (Hrsg.): Ergonomic Software Tools in Product and Workplace Design. Ergon, Stuttgart 2000
- [4] DIN EN ISO 5349-2: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz. Beuth, Berlin 2002
- [5] Karhu, O.; Kausi, P.; Kuorinka, I.: Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. Appl. Ergonomics (1977) Nr. 8, S. 199-201

### Danksagung:

Der Autor dankt für die freundliche Unterstützung des Projektes Herrn Dipl.-Ing. H. Gese, Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, Hannover und Herrn R. Bliedung, Fa. Neptun Stahlbau, Rostock.