

BGIA-Report 2/2007
**Muskel-Skelett-Erkrankungen
der oberen Extremität
und berufliche Tätigkeit**

Entwicklung eines Systems zur Erfassung
und arbeitswissenschaftlichen Bewertung
von komplexen Bewegungen der oberen Extremität
bei beruflichen Tätigkeiten



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Verfasser: Ulrike Hoehne-Hückstädt, Christian Herda, Rolf Ellegast,
Ingo Hermanns, Rene Hamburger, Dirk Ditchen
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA,
Sankt Augustin

Auf Initiative der: Textil- und Bekleidungs-Berufsgenossenschaft, Augsburg

Redaktion: Zentralbereich des Berufsgenossenschaftlichen Instituts
für Arbeitsschutz – BGIA, Referat Informationsmanagement

Illustrationen: Michael Hüter, Bochum

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen
Berufsgenossenschaften (HVBG)
Alte Heerstraße 111, D – 53754 Sankt Augustin
Telefon: 0 22 41 / 2 31 - 01
Telefax: 0 22 41 / 2 31 - 13 33
Internet: www.hvbg.de
– Juni 2007 –

Satz und Layout: HVBG, Kommunikation

Druck: Plump OHG, Rheinbreitbach

ISBN: 978-3-88383-722-9
ISSN: 0173-0387

Kurzfassung

Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität und berufliche Tätigkeit

In den letzten Jahren erwiesen sich Muskel-Skelett-Erkrankungen als bedeutende und anteilmäßig unveränderte Ursache für Arbeitsunfähigkeit. Etwa die Hälfte dieser Beschwerden und Erkrankungen mit Bezug zur Arbeit betrafen dabei die obere Extremität. Zunehmend mit dieser Problematik konfrontiert, beklagen Arbeitsmediziner und Sicherheitsfachkräfte eine mangelnde Übersicht zu fundierten Erkenntnissen über diese Beschwerden und Erkrankungen und deren Prävention. Daher ist das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BGIA seit 1998 im Bereich der Prävention von arbeitsbezogenen Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität intensiv für die Berufsgenossenschaften tätig. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurden zum einen Erkenntnisse zur Verursachung und Krankheitslehre der

Erkrankungen der oberen Extremität, der Epidemiologie in Bezug auf arbeitsbezogene Risikofaktoren und Verfahren durch fortlaufende Recherche in der internationalen Literatur gewonnen und aktualisiert. Zum anderen wurde für die Expositionsermittlung am Arbeitsplatz das CUELA-Messsystem um die Bewegungserfassung der Arme und des Kopfes erweitert und in zahlreichen Messungen eingesetzt. Schließlich wurden die theoretischen Ergebnisse der Literaturrecherche durch Anwendung ausgewählter Verfahren der Expositionsermittlung und -beurteilung im Rahmen von Betriebsberatungen und Forschungsprojekten erprobt und um diese praktischen Erfahrungen ergänzt. Die auf diese Weise gesammelten Informationen werden im vorliegenden Report zusammenfassend dargestellt.

Abstract

Musculoskeletal disorders of the upper extremities and occupational activities

In recent years musculoskeletal disorders have proven to be a constantly common cause of sick leaves. Around half of these work-related complaints and disorders involved the upper extremities. Increasingly confronted with this problem, occupational therapists and health and safety personnel lament the lack of an overview of sound knowledge about these complaints and disorders and their prevention. For this reason since 1998 the BG Institute for Occupational Safety and Health (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI/A) has been working intensively for the German Berufsgenossenschaften (institution for statutory accident insurance and prevention) in the field of preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper extremities. As part of these activities, on the one hand

knowledge of the causes and pathology of disorders of the upper extremities, epidemiology in respect of work-related risk factors and methods has been gained through continuous research in the international literature. On the other hand in order to determine exposure at the workplace, the CUELA measuring system has been extended to include recording of movements of the arms and head and used in numerous measurements. Finally the theoretical results of the literature search were tested by using selected methods of exposure determination and assessment as part of company consultations and research projects and supplemented by this practical experience. The information collected in this way will be presented in summarised form in this report.

Résumé

Troubles musculosquelettiques du membre supérieur et activité professionnelle

Ces dernières années, les troubles musculo-squelettiques se sont constamment avérés être une cause importante d'incapacité de travail. Environ la moitié de ces maladies et troubles liés au travail touchaient les membres supérieurs. Les médecins d'entreprise et les ingénieurs de sécurité, de plus en plus confrontés à ce problème, se plaignent qu'il n'existe pas de vue d'ensemble rassemblant les connaissances fiables sur ces maladies et troubles et leur prévention. C'est pourquoi l'institut pour la sécurité et la santé au travail des BG (BGIA) est actif, depuis 1998, dans le domaine de la prévention des troubles musculosquelettiques du membre supérieur liés au travail. D'un côté, ces activités ont permis, par le biais de recherches suivies dans la littérature internationale, d'acquies et d'actualiser les connaissances

sur la cause et la pathologie des maladies du membre supérieur, l'épidémiologie des facteurs de risques et pratiques liés au travail. D'un autre côté, pour établir le degré d'exposition sur le lieu de travail, le système de mesure CUELA a été élargi et englobe désormais la détection de mouvement des bras et de la tête et il a été utilisé pour de nombreuses mesures. Enfin, les résultats théoriques, issus de la recherche dans la littérature, ont été testés, dans le cadre de conseils d'entreprises et de projets de recherche, grâce à des procédés sélectionnés d'évaluation et d'appréciation de l'exposition. Ces expériences pratiques viennent compléter les résultats théoriques. Les informations ainsi rassemblées sont résumées et présentées dans le présent rapport.

Enfermedades musculoesqueletales de la extremidad superior y actividad profesional

Durante los últimos años, se ha comprobado que las enfermedades musculoesqueletales son una causa de incapacidad laboral con un índice constantemente alto. Cerca de la mitad de estas molestias y enfermedades relacionadas con el trabajo conciernen a la extremidad superior. Viéndose confrontados en creciente medida con esta problemática, los médicos especializados en medicina laboral y los expertos de seguridad laboral reclaman de la falta de un cuadro global de los conocimientos fundados sobre estas molestias y enfermedades y su prevención. Por esta razón, el instituto para la protección laboral de los organismos de seguros y prevención de riesgos profesionales –BGIA– se ocupa intensivamente desde 1998 del tema de la prevención de enfermedades musculoesqueletales de la extremidad superior relacionadas con el trabajo por encargo de los organismos de seguros y prevención de riesgos profesionales. En el marco de estas acti-

vidades y a través de una pesquisa continua en la literatura internacional, se adquirieron y actualizaron, por un lado, conocimientos sobre las causas y la patología de las enfermedades de la extremidad superior, la epidemiología referente a factores de riesgo y procedimientos laborales. Por el otro lado, para la determinación de la exposición ocupacional, se extendió el sistema de medición CUELA a la captación de los movimientos de los brazos y de la cabeza, utilizándose este sistema en numerosas mediciones. Finalmente, se verificaron los resultados teóricos de la pesquisa bibliográfica aplicando procedimientos seleccionados para la determinación y evaluación de la exposición en el marco de asesorías de empresas y proyectos de investigación, completando dichos resultados con estas experiencias prácticas. El presente informe es un resumen de las informaciones recopiladas de esta manera.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung..... 11
2	Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE) 13
2.1	Definition..... 13
2.2	Krankheitsbilder der AMSE-OE 14
2.3	Anatomie und Physiologie des Bewegungsapparates 15
2.3.1	Knochen 17
2.3.2	Gelenke 18
2.3.3	Muskulatur 21
2.3.4	Sehnen und Sehenscheiden 29
2.3.5	Nervensystem..... 31
2.3.6	Blutgefäße 38
2.4	Epidemiologie 41
2.5	Belastungs-Beanspruchungs-Konzept 50
2.6	Risikofaktoren 57
2.6.1	Repetition 57
2.6.2	Statische Belastung..... 62
2.6.3	Ungünstige Haltungen und Bewegungen 63
2.6.4	Kraftaufwendungen 65
2.6.5	Zusätzliche Risikofaktoren 66
2.6.6	Kombinationswirkungen und Ansätze der Beurteilung 67
2.7	Bewertungsverfahren..... 70
2.7.1	Risikobewertung repetitiver Tätigkeiten nach <i>Kilbom</i> 70
2.7.2	Bewertung des Risikofaktors „Statische Belastungen“ 72
2.7.3	Bewertung des Risikofaktors „Ungünstige Haltungen und Bewegungen“ 72

	Seite
2.7.4	Bewertung des Risikofaktors „Kraft“ 76
2.7.5	Rapid Upper Limb Assessment (RULA)..... 77
2.7.6	Hand Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLVs) 79
2.7.7	Occupational Risk Assessment of Repetitive Movements and Exertions of the Upper Limb (OCRA-Index und OCRA-Checkliste) 87
3	Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität..... 113
3.1	Messtechnik..... 113
3.2	Computerunterstützte Auswertung 123
4	Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System 127
4.1	Anwendung der Verfahren auf CUELA-Datensätze 127
4.1.1	Bewertung der Repetition 127
4.1.2	Bewertung von statischen Belastungen 127
4.1.3	Bewertung ungünstiger Haltungen und Bewegungen (Gelenkwinkelstellungen) 129
4.1.4	Bewertung von Tätigkeiten mit Kraftaufwand 132
4.1.5	Bewertung zusätzlicher Faktoren 133
4.1.6	Gesamtbewertung 133
4.2	Beispiele aus der Praxis 134
4.2.1	Nährarbeitsplatz 134
4.2.2	Filterproduktion..... 144
4.2.3	Dentallabor 148
4.2.4	Kürschnerei..... 149
4.2.5	Beurteilung 152

5	Schlussfolgerungen und Ausblick	159
6	Danksagung.....	161
7	Literaturverzeichnis.....	163

1 Einleitung

Dieser Report widmet sich mit interdisziplinärem Ansatz den berufsbedingten Ursachen bzw. Risikofaktoren für Beschwerden des Bewegungsapparates im Bereich der oberen Extremität. Er ist in drei Hauptkapitel unterteilt:

Kapitel 2 befasst sich mit „Arbeitsbezogenen Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)“. Eine Definition und die Beschreibung einiger Erkrankungen, die diesem Komplex zugeordnet werden, sollen der Begriffsklärung dienen. Die Darstellung der Anatomie und Physiologie des Bewegungsapparates liefert die Grundlagen, um die in der Literatur dargelegten Erklärungsansätze möglicher Schädigungsmechanismen nachzuvollziehen. Im Anschluss folgen Erläuterungen möglicher arbeitsbedingter Risikofaktoren, die in aktueller medizinischer und arbeitswissenschaftlicher Literatur genannt werden. Ausgewählte Verfahren zur Erfassung und Bewertung der Risikofaktoren werden im Detail beschrieben.

Kapitel 3 stellt die Messtechnik eines erweiterten CUELA-Systems (CUELA – Computerunterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) vor. Das System wurde im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGI/A zur quantitativen Erfassung von Haltungen und Bewegungen der Schulter-Arm-Region entwickelt und realisiert. Es ist angelehnt an die Prinzipien des CUELA-Systems, das zur Erfassung von arbeitsbedingten äußeren Belastungen der Wirbelsäule bereits vielfach eingesetzt wurde [1]. Es handelt sich um ein personengebundenes, weitestgehend rückwirkungsfreies, über der Kleidung angebrachtes, robustes Messsystem, das von Werktätigen an ihrem Arbeitsplatz über eine lange Messzeit getragen werden kann.

In Kapitel 4 werden schließlich Ergebnisse aus der Anwendung der zuvor erläuterten Bewertungsverfahren auf Messdaten, die mit dem CUELA-System erfasst wurden, dargestellt und erörtert.

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

2.1 Definition

Mit der Einführung des Begriffes „Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität“ soll ein arbeitswissenschaftlicher/arbeitsmedizinischer Sammelbegriff verschiedener Krankheitsbilder zur Anwendung kommen. Er soll die Verständigung über verschiedene Störungen im Bereich des Muskel-Skelett-Systems der oberen Extremität, deren Auslösung durch die gleichen arbeitsbedingten Risikofaktoren vermutet wird, erleichtern. Zu den bisher häufig verwendeten Bezeichnungen für berufsbezogene Beschwerden des Bewegungsapparates, welche die obere Extremität betreffen, gehören „Repetitive Strain Injury (RSI)“ – vor allem in Kanada, im Vereinigten Königreich und auch in Australien benutzt – sowie in den Vereinigten Staaten von Amerika „Cumulative Trauma Disorder (CTD)“. Beide Ausdrücke sind in die Kritik geraten, da sie die Betonung auf den jeweils vermeintlich wichtigsten Risikofaktor bzw. Pathomechanismus legen. Darüber hinaus können die Begriffe Injury (Verletzung) oder Trauma als schwerwiegende körperliche Beeinträchtigung missverstanden werden, obwohl diese Art der Gewebsschädigung am Ort der Beschwerden häufig nicht nachgewiesen werden konnte. Ärzte und Gutachter forderten daraufhin, eher von klassischen Krankheitsbezeichnungen wie z.B. Sehnen-scheidenentzündungen u.Ä. zu sprechen [2].

Dieser Forderung wird mit dem von *Hagberg et al.* geprägten, in der neueren internationalen Literatur häufiger benutzten Begriff „Work Related Musculoskeletal Disorder of the Upper Limb“ indirekt nachgekommen [3]. Damit wurde ein allgemeiner übergeordneter Begriff geformt, der die Subsumierung der weiter unten erwähnten Krankheitsbilder zulässt sowie die noch zu spezifizierende Beziehung der Erkrankungen zur Arbeit einräumt. In dem hier eingeführten deutschen Begriff „Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)“ findet er eine inhaltliche Entsprechung.

Diesem Begriff werden die vom US-amerikanischen National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) [4] formulierten Kriterien für das mögliche Vorliegen von „Work-Related Cumulative Trauma Disorder (CTD)“ zugrunde gelegt, die in deutscher Übersetzung lauten:

- ❑ Symptome wie Schmerz, Ziehen, Empfindlichkeit, Schwäche, Bewegungsbeeinträchtigung, Krämpfe, Steifigkeit, Brennen, Kribbeln, Taubheit etc.
- ❑ Symptome, die länger als eine Woche anhalten oder mindestens einmal pro Monat zu Beschwerden führen
- ❑ positive körperliche Untersuchungsbefunde in der symptomatischen Gelenk-

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

region wie Schwellung oder Deformität, Überwärmung, Veränderung der Hautfarbe, Empfindung von „Crepitus“ (Reiben, Kratzen) bei Bewegung von Gelenken oder Sehnen, veränderte Empfindlichkeit der Hautberührung, Auffinden von Triggerpunkten, Schmerzhaftigkeit oder Beschränkungen von Bewegungen im Gelenk (Nacken, Schulter, Ellenbogen/Unterarm, Handgelenk/Hand)

- ❑ keine vorausgegangenen Verletzungen der betroffenen Gelenkregion
- ❑ Auftreten während des letzten Jahres
- ❑ Auftreten nach Arbeitsaufnahme und im momentanen Beruf

Während die drei erstgenannten Kriterien die zu betrachtenden Körperabschnitte nennen und auf den Krankheitswert der Symptome abzielen, wird durch die beiden letztgenannten der Arbeitsbezug der Beschwerden hergestellt. In Anlehnung an die Begriffsbestimmung durch das Expertenkomitee der Weltgesundheitsorganisation (WHO) spricht man hier von „arbeitsbezogenen Erkrankungen“ im Gegensatz zu „spezifischen Berufskrankheiten“ [5]. Während für die „spezifischen Berufskrankheiten“ ein direkter Ursachen-Wirkungs-Zusammenhang als nachgewiesen gilt, wird durch „arbeitsbezogene Erkrankungen“ ein multifaktorielles

Geschehen beschrieben, in dem die Arbeit mit ihren Umgebungsbedingungen und der Art und Weise ihrer Ausführung nur zwei mögliche Einflussgrößen darstellt [6].

2.2 Krankheitsbilder der AMSE-OE

Wie oben dargestellt wird unter dem Oberbegriff AMSE-OE eine Vielzahl von Erkrankungen und Beschwerdebildern mit zum Teil recht heterogenem Charakter zusammengefasst. Dementsprechend finden sich darunter sowohl klinisch definierte, in ihrer Pathogenese in weiten Teilen erklärbare Erkrankungen wie das Karpaltunnelsyndrom (KTS) als auch unspezifische Symptomkomplexe wie das Halswirbelsäulensyndrom, für die in vielen Fällen sogar die betroffenen Strukturen und folglich auch die Pathogenese unklar oder nur unscharf zu benennen sind.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden hier die in der Literatur am häufigsten genannten Erkrankungen und Beschwerdebilder (in abgewandelter Form nach *Yassi*), für die im Sinne der oben genannten Definition ein Zusammenhang mit der ausgeübten beruflichen Tätigkeit vermutet werden, aufgelistet [7]:

- ❑ Gelenke betreffende Beschwerden
 - Osteoarthritis

- Synovitis
 - Ganglion
 - Gelenkkapselentzündungen
 - Bursitis
 - Periarthropathia humeroscapularis
- ☐ muskuläre Beschwerden
- myofasziale Syndrome
 - Myositis
 - fokale Dystonie
(z.B. Schreibkrampf)
- ☐ Sehnscheiden und Sehnen betreffende Beschwerden
- Rotatorenmanschettenreizung
 - Epikondylitis radialis (Tennisellenbogen)
 - Epikondylitis ulnaris (Golferellenbogen)
 - Tendinitis
 - Tenosynovitis
 - Tendovaginitis stenosans de Quervain
 - Schnellender Finger
 - Ganglion
- ☐ periphere Nervenkompressions- und Engpasssyndrome
- Thoracic-outlet-Syndrom
 - Sulcus-ulnaris-Syndrom
 - Supinatorlogensyndrom
 - Pronatorsyndrom
 - Karpaltunnelsyndrom
 - Loge-du-Guyon-Syndrom

- ☐ Gefäße betreffende Beschwerden
- Hand-Arm-Vibrations-Syndrom
 - Ulnararterienthrombose
 - Thoracic-outlet-Syndrom

Abbildung 1 (siehe Seite 16) gibt noch mal einen Überblick über die Lokalisation der verschiedenen Beschwerden.

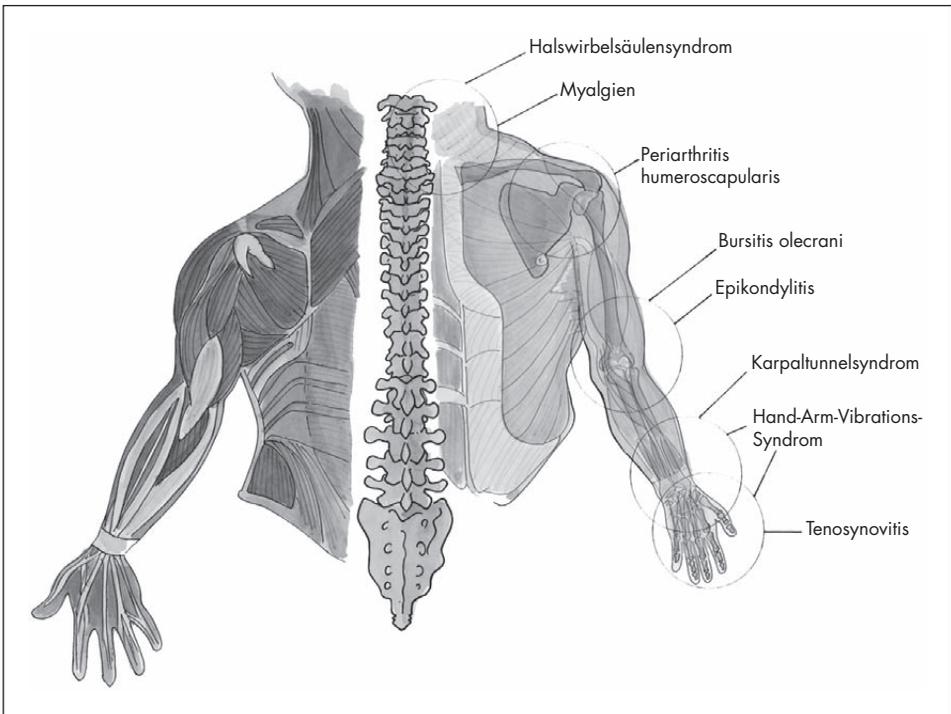
2.3 Anatomie und Physiologie des Bewegungsapparates

Wie die Krankheits- bzw. Beschwerdebilder zeigen, sind bei AMSE-OE verschiedene Strukturen des Bewegungsapparates betroffen. Daher erscheint es notwendig, zunächst unter Rückgriff auf Standardlehrwerke [8 bis 10] die Anatomie und Physiologie der Bauelemente in knapper Form darzustellen.

Im Bewegungsapparat bilden die Knochen – in ihrer Gesamtheit unter dem Begriff Skelett zusammengefasst – das Stützgerüst. Die Verbindungen zwischen den Knochen werden allgemein Gelenke genannt. Unter diesen zeigen die als „echte Gelenke“ bezeichneten den komplizierten Aufbau aus knorpelig überzogenen Knochenenden, die die Gelenkflächen bilden, aus Gelenkkapseln, Bändern und gelegentlich anderen Hilfseinrichtungen wie halbmondförmigen oder runden Knorpelscheiben, den Menisci

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Abbildung 1:
Muskelrelief und Skelett der oberen Extremität, rücken- und bauchseitig, mit Lokalisation von Erkrankungen



bzw. Disci, runden Schaltknochen, den sogenannten Sesambeinen, und Schleimbeutel. Durch die Gelenke erhält das an sich feste Stützgerüst die Möglichkeit zur Bewegung, die durch die gelenkwirksame Muskulatur ausgeführt wird. Zur Übertragung der Bewegung auf die Gelenke sind die

Muskeln an den Knochen durch Sehnen verankert. Um die Bewegungen der Skelettmuskulatur im Gesamtorganismus zu koordinieren, bedarf es der Anbindung an die Schaltzentrale, das zentrale Nervensystem, über die peripheren Nerven. Im weitesten Sinne gehören auch die Blutgefäße, die

oben genannte Strukturen versorgen, zum Bewegungsapparat. Schließlich ist dieses Organsystem in die Regelkreise des Gesamtorganismus eingebunden und zeigt dementsprechend Wechselwirkungen mit dem Herz-Kreislauf-System oder auch dem Hormon- und Immunsystem.

2.3.1 Knochen

Der Knochen besteht aus Knochengewebe, dem – nach dem Zahnschmelz – festesten Bestandteil unseres Körpers. Gemäß seiner Stützfunktion erfüllt das Bauprinzip des Knochens die Anforderung an hohe Zug- und Druckfestigkeit bei gleichzeitig leichter Bauweise, um den Kraftaufwand für eine Bewegung ohne äußere Belastung möglichst gering zu halten.

Die Zug- und Druckfestigkeit ist in dem nur mikroskopisch erkennbaren Aufbau begründet. In der für alle Binde- und Stützgewebe typischen Weise liegen Knochenzellen in reichlich vorhandener Grundsubstanz eingebettet. Diese enthält die charakteristischen Bindegewebsfasern, die kollagenen Fasern, in spezifischer strenger Ordnung. An die kollagenen Fasern sind entsprechend dieser Ordnung zusätzlich Calciumverbindungen in die Grundsubstanz eingelagert. So bedingt die Faserstruktur des Knochens seine hohe Bean-

spruchbarkeit auf Zug und Druck bei gleichzeitiger Steifigkeit.

Die Art und Weise, wie ein leichtes Stützgerüst verwirklicht wird, lässt sich dagegen schon mit bloßem Auge erkennen. Zum einen können die mechanischen Beanspruchungen schon durch die äußere Form, zum anderen durch die innere Struktur, die anhand eines Schnitts durch das Hüftgelenk (in der Frontalebene vgl. Abbildung 2 auf Seite 18) sichtbar wird, vermindert werden. Nur die äußere Schicht des Knochens besteht aus kompakter Substanz, während weiter im Inneren Knochenbälkchen eine lockere schwammähnliche Struktur aufbauen. Diese „Schwammstruktur“ weist unterschiedliche Bälkchendichten auf, die sich – wie Untersuchungen belegen – an den Hauptspannungslinien der Kraftübertragung orientieren [11]. So wird nicht nur die Leichtbauweise umgesetzt, sondern außerdem im Knochen ein mehr oder weniger durchsetzter Hohlraum, die Markhöhle, die das Knochenmark enthält, geschaffen.

Von außen wird der Knochen von der gefäß- und nervenführenden Knochenhaut, dem Periost, umgeben. Sie ist über in den Knochen einstrahlende kollagene Fasern mit diesem fest verbunden. Von ihr ziehen Gefäße und Nerven in speziellen Kanälen in den Knochen bis hin zur Markhöhle ein. Innen wird das Knochengewebe durch eine

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

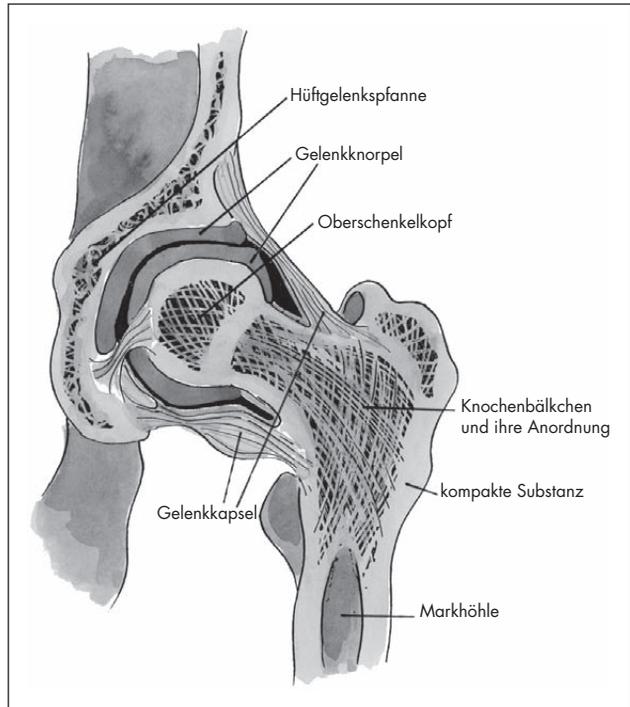


Abbildung 2:
Frontalschnitt durch das Hüftgelenk

ähnliche Knochenhaut, das Endost, von der Markhöhle abgegrenzt. Aus der inneren Zellschicht des Periosts und Endosts entwickeln sich immer wieder Bindegewebszellen zu Knochengewebe aufbauenden bzw. abbauenden Zellen, die für den ständigen Ab-, Auf- und Umbau des Knochens benötigt werden.

Durch diese Regenerationsfähigkeit kann der Knochen auf veränderte Belastungen reagie-

ren oder verletztes Knochengewebe, zum Beispiel bei einem Knochenbruch, ersetzen und die Verletzung zur Ausheilung bringen.

2.3.2 Gelenke

Im Folgenden sollen ausschließlich echte Gelenke beschrieben werden, da diese bei Betrachtung der Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität hauptsächlich

von Interesse sind. Der prinzipielle Bau eines Gelenks lässt sich Abbildung 3 entnehmen.

Nach der Form der miteinander artikulierenden Knochenenden, den Gelenkflächen, werden Gelenke in ebene, zylindrische, Scharnier-, Gelenkrollen-, Ei-, Sattel- oder Kugelgelenke unterteilt. Für das jeweilige Gelenk bestimmen – neben der Form – Ansatz und Verlauf des Kapsel-Band-Apparates den Kraftschluss und den Bewegungsraum, der je nach Ausbildung und Beübung der gelenkwirksamen Muskulatur ausgenutzt wird. Die Beweglichkeit der Gelenke wird nach der Neutral-Null-Methode geprüft, bei der für jedes Gelenk eine Ausgangsstellung, eben die Neutral-Null-Stellung, definiert ist

und die Bewegungen als Abweichung von dieser Stellung um die Achsen des Gelenks in Gradzahlen angegeben werden. Mit der Stellungsänderung der Gelenkpartner von dieser Ausgangsstellung weg kommt es zu Veränderungen der Zugspannungen im zugehörigen Kapsel-Band-Apparat, der Druckbelastung der Gelenkpartner und des Dehnungs- oder Stauchungszustandes der umliegenden Gewebe einschließlich der gelenkwirksamen Muskulatur, die wiederum auf die Gesamtfunktion des Gelenks rückwirken. So werden z.B. beim Beugen eines Fingers im Grundgelenk die Seitenbänder derart gestrafft, dass sie das Kreiseln des Fingers, das mit gestrecktem Finger gut möglich war, auf ein geringes Bewegungsmaß einschrän-

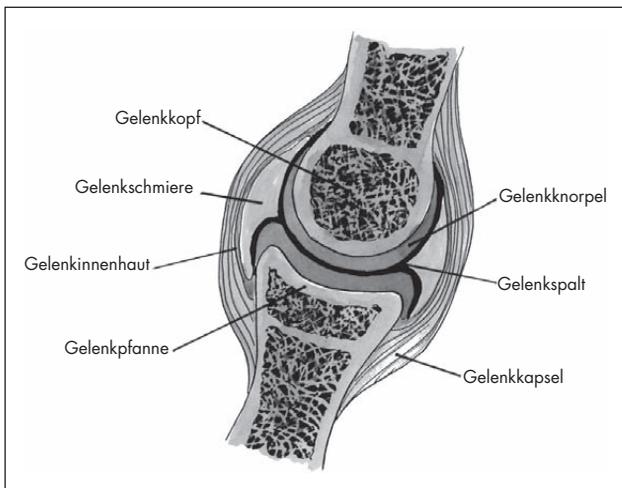


Abbildung 3:
Prinzipieller Bau eines Gelenks

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

ken. Die physiologische Endstellung eines Gelenks ergibt sich also durch die anatomische Beschaffenheit und materielle Belastungsauslegung der einzelnen Gelenkbestandteile und gelenkumgebender Gewebe. Bewegungen im Bereich von Gradzahlen nahe der physiologischen Endstellung bedeuten demnach eine besondere Belastung o.g. Strukturen.

Knorpel

Die biomechanisch wichtigste Struktur des Gelenks zur Verteilung der auftretenden Druckbelastungen auf die Gelenkflächen ist der Gelenkknorpel. Die Dicke der Knorpelschicht variiert in den Gelenken und mit dem Alter zwischen 1 und 7 mm. Diese Schicht besteht aus sogenanntem hyalinem Knorpel. Bei dieser Knorpelart liegen die Knorpelzellen in der von ihnen reichlich produzierten Grundsubstanz. Sie kaschiert die in verhältnismäßig geringer Zahl vorliegenden kollagenen Fasern, sodass der Knorpel durchscheinend wirkt. Die kollagenen Fasern des Gelenkknorpels führen bogenförmig von der unter dem Knorpel liegenden, subchondralen Knochenschicht zur Knorpeloberfläche, wo sie ein Stück parallel zu ihr verlaufen, um schließlich wieder zum subchondralen Knochen zurückzuziehen. Zwischen den so entstandenen „Arkaden“ liegen die Knorpelzellen in säulenförmiger Anordnung. Ein-

gebettet sind diese Strukturen in die Grundsubstanz, die als typischen Bestandteil Chondroitinsulfat enthält. Diese Substanz zeichnet sich durch eine hohe Wasser bindende Kapazität aus und bestimmt damit die Viskosität des Knorpels. Die kollagenen Fasern verleihen dem Knorpel Elastizität und Festigkeit. Das Chondroitinsulfat setzt über die Erhöhung seiner Viskosität bei Wasseraufnahme die bei Bewegung entstehenden Reibungskräfte auf ein Minimum herab. Die spezielle Architektur des Knorpelgewebes ermöglicht schließlich eine Druckverteilung innerhalb der Gelenkfläche und hält so plötzlich auftretende hohe Druckbelastungen vom Knochen fern. Am günstigsten wirkt sich diese Druckverteilungsfunktion in der Neutral-Nullstellung aus. Je näher die Gelenkstellung der Endstellung kommt, desto größer wird die Beanspruchung des Knorpelgewebes bei gleicher Druckkraft, da sowohl die Gelenkkontakfläche als auch die beanspruchte Auflagefläche kleiner werden [12]. Der Gelenkknorpel selbst ist gefäß- und nervenfrei. Seine Ernährung erfolgt durch Diffusion von Nährstoffen und Wasser, zum einen aus der subchondralen Knochenschicht und zum anderen aus der Gelenkflüssigkeit, der Synovia. Die Diffusion aus der den Knorpel überziehenden Synovia wird mittels des „Durchwalkens“ des Knorpels durch den wechselnden Druck bei der Gelenkbewegung gefördert und verbessert die Nährstoff- und Wasserversorgung des

Knorpels, während statischer Druck der Diffusion entgegenwirkt. So wirkt sich Bewegung und Beanspruchung in physiologischem Maße wachstumsfördernd auf den Gelenkknorpel aus, während die Knorpelschichtdicke in ruhig gestellten Gelenken abnimmt.

Gelenkkapsel

Die Synovia wird von der inneren Schicht der das Gelenk umfassenden Gelenkkapsel produziert. Die äußere Faserschicht der Gelenkkapsel ist unterschiedlich stark ausgeprägt und verdichtet sich an manchen Stellen zu Verstärkungszügen, die als mehr oder weniger klar abgrenzbare Bänder in Erscheinung treten. Sie geht schließlich in das Periost über. Ebenso wie dieses enthält die Gelenkkapsel Schmerzfasern und darüber hinaus Sensoren – in der medizinischen Fachsprache Rezeptoren – für physikalische Qualitäten wie Temperatur, Druck und Vibration, die u.a. Eindrücke über die Gelenkstellung vermitteln.

An Orten höherer Reibungs- oder Druckbelastung finden sich als Hilfseinrichtungen der Gelenke Schleimbeutel, *Bursae synoviales*. Schleimbeutel sind spaltartige Hohlräume, deren Hüllen ähnlich wie die Gelenkkapsel von einer äußeren Faserschicht und einer inneren Synovialschicht gebildet werden. Der Hohlraum wird von Gelenkschmiere

ausgefüllt. Schleimbeutel verteilen den auftretenden Druck gleichmäßig und erleichtern das Aufeinandergleiten von verschiedenen Geweben; im Bereich der oberen Extremität finden sich z.B. Schleimbeutel zwischen dem Ellenbogen und der darüber gespannten Haut oder in dem engen Raum zwischen der Schulterhöhe und der Schultergelenkkapsel, durch den Sehnen hindurchziehen.

2.3.3 Muskulatur

Die Skelettmuskulatur besteht aus Muskelgewebe, das mikroskopisch eine typische Querstreifung aufweist und daher auch als quer gestreifte Muskulatur bezeichnet wird. Dieses Gewebe zeichnet sich durch besondere Kontraktilität aus. Die Zellen des Muskelgewebes, die wegen ihrer Länge von bis zu 15 cm Muskelfasern genannt werden, enthalten in ihrem Zellplasma die eigentlichen kontraktile Elemente, die Mikrofilamente, in großer Menge. Man unterscheidet die dickeren Myosinfilamente von den dünneren Aktinfilamenten. Diese beiden Mikrofilamente bauen die in der Muskelfaser zahlreich vorhandenen Myofibrillen auf. Dazu sind sie parallel zur Längsachse der Muskelfaser nach einem bestimmten Muster zusammengelagert, wodurch auch das Erscheinungsbild der Querstreifung entsteht (Abbildung 4, siehe Seite 22).

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

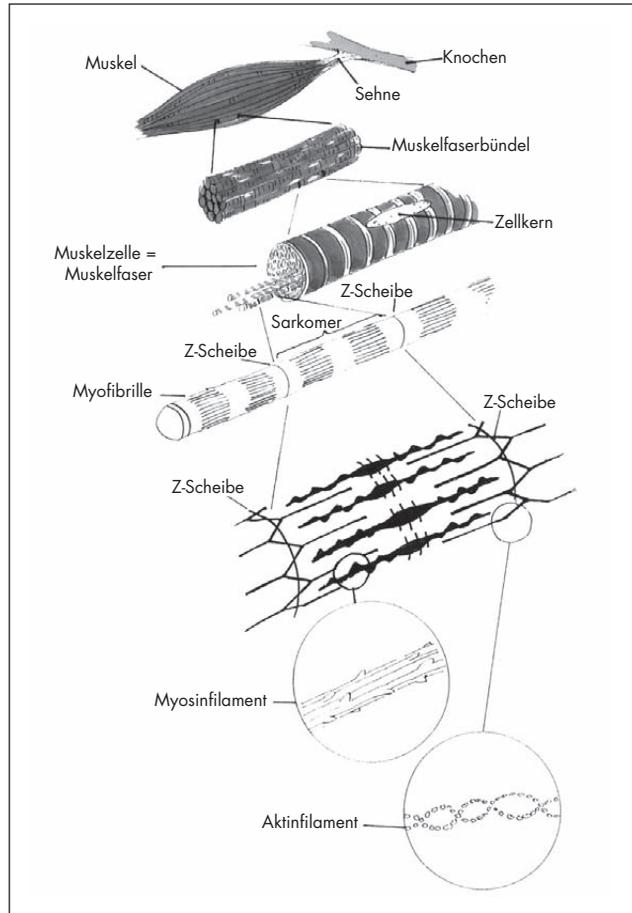


Abbildung 4:
Feinstruktur des Muskelgewebes

Die Aktinfilamente sind an beiden Enden in den sogenannten Z-Streifen verankert. Der Abschnitt zwischen zwei Z-Streifen wird als Sarkomer bezeichnet und bildet die funktionelle Einheit der Muskelfaser. Eine Verkürzung der in Serie geschalteten Sarkomere ergibt nämlich die Muskelkontraktion. Bei diesem Vorgang gleiten die Aktinfilamente

nelle Einheit der Muskelfaser. Eine Verkürzung der in Serie geschalteten Sarkomere ergibt nämlich die Muskelkontraktion. Bei diesem Vorgang gleiten die Aktinfilamente

– durch die Myosinfilamente gezogen – zur Mitte des Sarkomers. Dazu verbinden sich die Köpfe der Myosinfilamente unter der Vermittlung von Calciumionen wie Querbrücken mit den Aktinfilamenten und führen eine Kippbewegung aus, dann lösen sich die Querbrücken wieder. Dieser Vorgang kann sich mehrfach wiederholen, sodass die Aktinfilamente durch eine Art „Rudern“ zwischen die Myosinfilamente gezogen werden. Für den beschriebenen Prozess muss unabhängigbar das im Stoffwechsel produzierte Adenosintriphosphat (ATP) in der Muskelfaser vorhanden sein. Durch die Abspaltung eines Phosphatrestes vom ATP wird die Energiemenge frei, die das Myosinköpfchen für seine Bewegung benötigt. Für die Lösung der Querbrücken ist noch unverbrauchtes, ungespaltenes ATP nötig, damit die Muskelfaser entsprechend ihrer Elastizität wieder passiv entspannen kann. Liegt kein ungespaltenes ATP in der Muskelfaser mehr vor, tritt eine Starre im Muskel ein, wie es z.B. auch bei der Totenstarre geschieht.

Hieraus folgt, dass der arbeitende Muskel in der Lage sein muss, den Energielieferanten ATP durch Stoffwechselleistungen in ausreichendem Maße wieder herzustellen. Je nach Anforderung an die Muskelfaser, ob sie sich schnell kontrahieren und wieder entspannen oder längere Zeit durch die Kontraktion eine Spannung, den Muskeltonus, aufrechterhalten soll, unterscheiden

sich die Muskelfasern in ihrem feingeweblichen Erscheinungsbild und den überwiegend benutzten Stoffwechselwegen. Die Tonus haltenden Muskelfasern haben durch ihren hohen Gehalt an Myoglobin eine rote Farbe und werden daher als rote oder tonische „slow twitch fibres“ sowie Typ-I-Fasern bezeichnet. Myoglobin ist ein dem roten Blutfarbstoff Hämoglobin verwandter Eiweißstoff und sichert die Sauerstoffversorgung der tonischen Muskelfaser. Sie regeneriert ATP über Sauerstoff verbrauchende aerobe Stoffwechselwege. Die zwischen Kontraktion und Relaxation rasch wechselnden Muskelfasern enthalten hingegen wenig Myoglobin, aber viele Mikrofilamente und wirken daher weiß. Für sie werden in der Literatur die Begriffe weiße oder phasische „fast twitch fibres“ oder Typ-II-Fasern synonym gebraucht. Sie können noch in weitere Untertypen (Typ II a bis c) differenziert werden. Für den schnellen Aufbau von ATP benutzen sie den anaeroben Zuckerabbau.

Die einzelnen Muskelfasern werden durch kollagenes, gefäß- und nervenführendes Bindegewebe zu immer größeren Bündeln zusammengefasst, bis schließlich ein anatomisch benannter Muskel, z.B. der kurze Daumenstrecker oder der zweiköpfige Armmuskel, entstanden ist. Die äußere Hülle aus kollagenem Bindegewebe kann als Muskelfaszie mit bloßem Auge identifiziert werden. In einem solchen Muskel sind individuell

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

tonische und phasische Muskelfasern in verschiedenen Mischungsverhältnissen vorhanden [13]. Außerdem enthalten Muskeln speziell ausgebildete, kürzere und dünnere Muskelfasern, die Spindelfasern, die – zu mehreren in bindegewebigen Kapseln zusammengelagert – eine Muskelspindel bilden. Diese fungieren als parallel geschaltete Dehnungsrezeptoren.

Kontraktionsformen

Das Vorhandensein verschiedener Muskel- fasertypen legt schon nahe, dass der Muskel auf unterschiedliche Weise kontrahieren kann. Die Kontraktion kann zu einer Veränderung der Länge und/oder der Spannung des Muskels führen; demnach werden theoretisch folgende Kontraktionsformen differenziert:

- ❑ **Isotonische Kontraktion:**
Der Muskeltonus bleibt während der Bewegung konstant, aber die Muskel- länge verändert sich in der oben beschriebenen Weise.
- ❑ **Isometrische Kontraktion:**
Die Muskellänge bleibt konstant, aber durch die oben dargestellten Aktionen der Mikrofilamente werden die elastischen Komponenten des Muskels (Z-Streifen, Zellhülle und die binde- gewebigen Strukturen) gestrafft, sodass

die Muskelspannung (Muskeltonus) zunimmt.

- ❑ **Auxotonische Kontraktion:**
Während der Bewegung ändern sich sowohl die Muskellänge als auch die Spannung. Diese Kontraktionsform ist als die häufigste im Körper ausgeführte anzunehmen. Weiterhin können eine ekzentrische und konzentrische Kontrak- tion unterschieden werden, je nachdem, ob der Muskel nachgebend arbeitet und sich sein Ursprung und Ansatz vonein- ander entfernen, oder ob sich unter der Anspannung Ursprung und Ansatz ein- ander annähern.

Nach einer Kontraktion lösen sich unter den o.g. Voraussetzungen die Querbrücken zwischen den Mikrofilamenten und der Muskel wird durch seine elastischen Elemente passiv, d.h. ohne Energieverbrauch, in seine Ruhespannung bzw. den Ruhetonus zurück- versetzt.

Innervation

Die Kontraktion eines Skelettmuskels wird durch elektrische Impulse ausgelöst. Eine einzelne Muskelfaser erhält den „Befehl“ zur Kontraktion über Nervenfasern, die an spe- ziellen Kontaktstellen, den „motorischen End- platten“, die Muskelfaser erreichen. Solche

Nervenfasern sind Fortsatzaufzweigungen einer Nervenzelle, des α -Motoneurons, die im Vorderhorn des Rückenmarks lokalisiert ist. Der Fortsatz einer Nervenzelle, das Axon, kann über unterschiedlich viele Aufzweigungen viele oder weniger Muskelfasern erreichen. Das Motoneuron und die Muskelfasern, die über seine Axonaufzweigungen versorgt werden, werden zu dem Begriff „motorische Einheit“ zusammengefasst. Bei Erregung des Motoneurons wird diese über das Axon und seine Verzweigungen an die motorischen Endplatten und damit an alle Muskelfasern der motorischen Einheit weitergeleitet. Die Vorgänge an der motorischen Endplatte bewirken elektrische Potenzialveränderungen aufgrund von Ionenströmen an der Muskelfasermembran, das Aktionspotenzial. Dadurch wird in den Muskelfasern schließlich Calcium freigesetzt, das – wie oben beschrieben – die Anknüpfung der Myosinköpfe an die Aktinfilamente vermittelt und damit die Kopplung zwischen Befehlsempfang und Befehlsausführung herstellt. Die Muskelfasern reagieren dabei dem Alles-oder-Nichts-Gesetz folgend auf einen überschwelligeren Nervenimpuls, der an der motorischen Endplatte ein Aktionspotenzial auslöst, immer gleichförmig, d.h. für die momentanen Bedingungen mit maximaler Kontraktion.

Die Spindelfasern werden von eigenen Motoneuronen, den γ -Motoneuronen, die

ebenfalls im Rückenmarksvorderhorn liegen, innerviert. Dadurch sind Sollwerte des Dehnungsrezeptors Muskelspindel verstellbar und den Bewegungsbedingungen anpassbar (vgl. unten, Beispiel für die Propriozeption, unbewusste Muskelaktionen).

Zwei Formen komplexer nervaler Steuerung der Muskelaktivität – Regelkreis – lassen sich unterscheiden, wenngleich sie auch ineinander greifen:

□ Unbewusste Muskelaktionen

Sie beruhen auf Reflexen – schnellen Reaktionsmöglichkeiten des Körpers auf sich verändernde Bedingungen; die Informationen über körperinnere Zustandsänderungen werden über Rezeptoren in den Gelenken, den Sehnen oder Muskeln sowie der Haut über sensible Nervenbahnen an das Rückenmark bzw. an den Hirnstamm und von hier aus auch an das Bewusstseinszentrum Großhirn übermittelt. Diesen Vorgang nennt man Propriozeption. Die äußeren Reize werden durch die Sinnesorgane Auge, Ohr, Gleichgewichtsorgan und den Geruchssinn aufgenommen und über sensible/sensorische Bahnen weitergeleitet (Exterozeption). Noch bevor der Reiz das Großhirn erreicht und evtl. wahrgenommen wird, wird über kurze Umschaltwege auf Motoneurone,

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

sogenannte Reflexbögen, im Rückenmark bzw. Hirnstamm eine schnelle Aktion bewirkt.

Beispiel für die Propriozeption:
Der Schlag auf die Sehne des Oberschenkelstreckers kurz unterhalb der Knie-
scheibe bei frei baumelndem Unter-
schenkel führt über die Aktivierung
der Muskelspindeln zum sprunghaften
Anheben des Unterschenkels durch
Kontraktion der Oberschenkelmuskulatur.

Beispiel für die Exterozeption:
Die Hand wird von der heißen Herdplatte
fortgezogen, noch bevor der Schmerz
bewusst geworden ist.

Reflexe dienen der Sicherung der aufrechten Haltung durch den Grundtonus und der Schadensabwendung; sie können aber in ihrer Auslösbarkeit durch Impulse des Gehirns verändert werden.

□ Bewusste Muskelaktionen

Sie erfolgen durch Abruf ererbter oder erworbener Bewegungsmuster; der Erwerb von Bewegungsmustern kann über Gewöhnung oder beabsichtigt im Rahmen von Übungen ablaufen. Die Grundmuster können willentlich und/oder durch Einflüsse aufgrund von Rezeptormeldungen (siehe oben) variiert werden.

Kraftentwicklung

Wie viel Kraft bzw. welche Kontraktionsgeschwindigkeit während einer Muskelkontraktion entwickelt wird, hängt neben der Kontraktionsform, dem makroskopischen Bau des Muskels und der Anzahl seiner Muskelfasern von folgenden veränderlichen Faktoren ab:

□ Länge des Muskels

Für die maximale Ausbildung von Querbrücken zwischen den Myosin- und Aktinfilamenten ist ein bestimmter Überlappungszustand dieser Filamente optimal; dieser Zustand entspricht einer gewissen Sarkomerlänge und korreliert selbst wiederum mit einer für jeden Muskel eigenen Ruhelänge. Dieser Zusammenhang wird z.B. durch die geringe Kraft bzw. die Unvollständigkeit des Faustschlusses sowohl bei Beugung als auch bei Streckung des Handgelenks ersichtlich: Bei endgradiger Beugung des Handgelenks werden Ursprung und Ansatz der Fingerbeuger angenähert und die Filamente bereits passiv zu starker Überlappung gebracht, während durch die Streckung des Handgelenks die Fingerbeuger so weit gedehnt werden, dass durch die geringe Überlappung kaum noch Querbrücken zwischen den Filamenten ausgebildet werden können.

□ Frequenz der Erregungsimpulse

Die Muskelfaser reagiert auf einen Nervenimpuls, der einen Schwellenwert überschritten hat, mit der „mechanischen Antwort“ einer Kontraktion nach dem „Alles-oder-Nichts-Gesetz“; d.h., durch die Stärke eines Nervenimpulses kann diese Antwort nicht verändert werden. Da die Erschlaffungsphase – sprich: die Querbrückenlösung – längere Zeit benötigt als der Nerv, um einen neuen Kontraktionsbefehl erfolgreich an die Muskelfaser zu übermitteln, können sich als Antwort auf schnell aufeinander folgende Erregungsimpulse zusätzlich zu noch bestehenden Querbrücken neue ausbilden.

□ Rekrutierung motorischer Einheiten

Da die Fasern eines Muskels von mehreren Nervenzellen aus aktiviert werden (siehe motorische Einheit), kann durch die Zahl der erregten Nervenzellen die Zahl der sich kontrahierenden Muskelfasern variiert werden.

□ Muskelfaserquerschnittsgröße

Je mehr Muskelfasern sich kontrahieren und dabei Kraft in die gleiche Richtung entwickeln, desto größer ist die insgesamt aufgebrauchte Kraft.

Nun ist die Muskelfaser nicht – wie etwa die Knochenzelle – zur Teilung und damit zur Regeneration fähig. Sie kann sich also auch nicht auf äußere Reize hin vermehren, um sich an gestiegene Anforderungen anzupassen. Dennoch kann durch Krafttraining ein Zuwachs an Muskelmasse erzielt werden, da die einzelnen Muskelfasern dann durch Anregung ihres Eiweißstoffwechsels mehr Fibrillen produzieren und an Faserdicke zunehmen. Bei geringem Einsatz der Muskulatur, z.B. bei Bewegungsmangel, kommt es durch Abbau von Myofibrillen zum Muskelschwund.

Funktionelle Aspekte

Nach ihrer überwiegenden Funktion im Körper lassen sich zwei Arten von Muskeln unterscheiden [14]:

□ Tonische Muskeln

Sie verrichten mit ihrem hohen Anteil roter Muskelfasern (slow twitch fibres/Typ I) überwiegend Haltearbeit. Ihre Kontraktionen verlaufen in der Regel langsamer als die der phasischen Muskulatur. Die motorischen Einheiten dieser Muskeln sind groß, d.h., die Kraftentwicklung erfolgt in gröberen Abstufungen. Weiterhin sind sie reich an Myoglobin und haben eine gute Blutversorgung bei kleinerem Sauerstoffbedarf. Dadurch ist

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

die Versorgung der Muskelfasern über längere Zeiträume gesichert und die Muskeln ermüden nicht so schnell. Sie sind außerdem reich mit Muskelspindeln versehen. Diese Tatsache weist darauf hin, dass sie in hohem Maße der unbewussten Grundtonuskontrolle (siehe oben) unterliegen. Innerviert werden sie durch γ -Motoneurone mit geringer Leitgeschwindigkeit. Die Aufgabe der tonischen (posturalen) Muskeln ist es, ihre Länge und Spannung gegen von außen einwirkende Kräfte konstant zu halten. Bei Über- oder Fehlbelastung neigen diese Muskeln zu Verkürzungen.

☐ Phasische Muskeln

Entsprechend ihrer Zusammensetzung aus vorwiegend weißen Muskelfasern (fast twitch fibres/Typ II) besitzen sie vor allem Bewegungsfunktionen. Ihre vielen kleinen motorischen Einheiten werden durch ein schnell leitendes α -Motoneuron innerviert. Diese Charakteristika befähigen die phasischen Muskeln zur Anpassung an rasch wechselnde Sollwerte für Länge und Spannung und damit zu schnellen und feineren Bewegungen der zielgerichteten Willkürmotorik. Die geringere Versorgung mit Muskelspindeln bedingt eine geringere Rolle bei propriozeptiven Steuerungsvorgängen. Phasische Muskeln ermüden wesentlich

schneller als tonische und zeigen eine Tendenz zur Abschwächung und funktionellem Muskelschwund.

In Bezug auf ihre Bewegungsrichtung an einem Gelenk lassen sich Muskeln weiter unterteilen [14] in:

☐ Agonisten

Die jeweilige Bewegung entspricht der Hauptbewegungsrichtung dieser Muskeln.

☐ Synergisten

Sie führen andere Bewegungen als die getestete aus, können diese aber als Nebenfunktion unterstützen und den Agonisten ggf. teilweise ersetzen.

☐ Antagonisten

Diese Muskeln wirken entgegengesetzt zur Richtung des Agonisten.

☐ Stabilisationsmuskeln

Ihre Funktion besteht in der Fixierung der von der Bewegung beanspruchten Körperregion in günstiger Arbeitshaltung.

☐ Neutralisationsmuskeln

Sie heben die durch den Agonisten bewirkten Nebenbewegungen auf;

häufig sind diese Muskeln auch Synergisten.

Diese Aufstellung lässt erkennen, dass Muskeln in einem funktionellen Zusammenspiel, einem Bewegungsmuster, arbeiten, das als motorischer Stereotyp („movement pattern“) bezeichnet wird [14]. Diese Stereotypen sind teils ererbt und teils im Rahmen von Lernvorgängen erworben. Dabei sind sowohl die Körperhaltung als auch die Bewegung von Mensch zu Mensch unterschiedlich ausgeprägt, sodass von einem individuellen Stereotyp gesprochen werden kann. Entsprechend sich verändernden Anforderungen können zeitlebens neue Bewegungsabläufe entworfen werden, die durch Übung schließlich als Stereotyp zur Routine werden. Anfangs erfordert ein neuer Vorgang Konzentration und ist mit Anstrengung und rascher Ermüdung verbunden, wohingegen er später leicht ausgeführt werden kann, wie es z.B. beim Erlernen des Autofahrens erlebt wird.

2.3.4 Sehnen und Sehnenscheiden

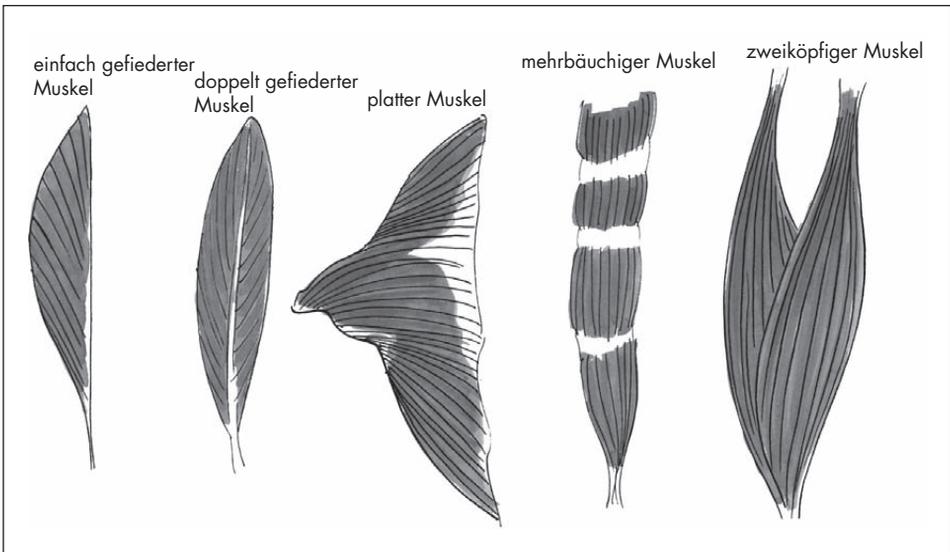
Sehnen stellen die Verbindung eines Muskels zu seinem Ursprung und Ansatz her. Sie haben die Aufgabe, Zugkräfte, die durch die Kontraktion des Muskels entstehen, aufzufangen und auf Strukturen, die durch den Muskel gespannt, bewegt oder festgestellt werden, zu übertragen. Sehnen bestehen

aus kollagenem Bindegewebe, das streng parallel und dicht angeordnete kollagene Fasern enthält, zwischen die sich nur wenige Zellen drängen. Jede einzelne Muskelfaser ist an ihren stark eingefalteten Enden durch Kraft übertragende Fibrillen mit der Sehne regelrecht verzahnt. Das Bindegewebe, das die Muskelfasern zu Muskeln zusammenfasst, setzt sich in der Sehne fort. Dadurch werden auch die Sehnen in Bündel unterteilt. Dieses Bindegewebe führt Gefäße und Nerven zur Versorgung des Sehnengewebes. Das andere Ende der Sehne geht in das Bindegewebe der Struktur über, auf die der Muskel einwirkt; beim Knochen strahlt sie z.B. in das Periost ein und verankert sich wie dieses über spezielle Bindegewebsfasern, die Sharpey'schen Fasern, im Knochen.

Für die Kraftübertragung vom Muskel auf die Sehne gilt, dass der Unterschied ihrer Zugfestigkeit durch eine strukturelle Besonderheit ausgeglichen wird: Die Muskelfasern enden nur teilweise parallelfaserig in den Sehnen. Man unterscheidet verschiedene Fiederungen der Muskulatur (siehe Abbildung 5 auf Seite 30) anhand der unterschiedlichen Winkel, mit denen die Muskelfasern in die Sehne einstrahlen, den sogenannten Fiederungswinkeln. Die vom Muskel aufgebrachte Kraft vermindert sich aufgrund der Kraftumlenkung durch den Fiederungswinkel, der sich auch während der Kontraktion fortlaufend verändert. Schließlich reduziert sich

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Abbildung 5:
Beispiele verschiedener Muskelfiederung



die Muskelkraft bei steigendem Fiederungswinkel bis auf die Sehnenkraft [14].

Die Zugfestigkeit zwischen Sehne und Knochen ist nahezu gleich, allerdings differiert die Elastizität erheblich. Sehnen sind viskoelastisch und haben die Fähigkeit zur Entspannung. Dabei kommt es zu keiner Erschlaffung des Sehngewebes, da der Spannungsabfall über propriozeptiv gesteuerte Muskelanspannung kompensiert wird [14]. In den Sehnen befinden sich

nämlich zu den Muskeln in Serie geschaltete Sehnen-spindeln, die in ihrem Aufbau den Muskelspindeln ähneln.

Sehnenscheiden sind Hilfseinrichtungen der Sehnen, die Reibung und Druck auf umliegende Gewebe herabsetzen. Daher finden sie sich an Stellen, wo die Sehnen relativ zu ihrem einwirkenden Muskel eine Richtungsänderung vollziehen und dadurch einen stärkeren Druck auf Bänder und Knochen ausüben. Sehnenscheiden

sind Bindegewebsschläuche mit einer äußeren Faserschicht und einer inneren synovialen Schicht. Diese innere Schicht ist mit der inneren Gelenkkapselhaut vergleichbar und produziert ebenfalls synoviale Gleitflüssigkeit. In einigen Fällen wird die äußere Wand der Sehnenscheide durch Bänder verstärkt, die diese am Knochen anheften und mit diesem einen osteofibrösen Kanal bilden; solche Bänder finden sich z.B. für die Beugesehnen der Finger oder die Streckersehnen des Daumens, um ein Abheben der Sehne vom Knochen während der Kraftübertragung zu vermeiden. Sie stellen aber auch mögliche Engpässe der Sehnenbewegung dar.

2.3.5 Nervensystem

Das Nervensystem stellt die Gesamtheit des Nervengewebes als baulich ähnliche und funktionelle Einheit dar. Allgemein formuliert bestehen die Aufgaben des Nervensystems in der Reizaufnahme durch Rezeptoren, der Erregungsbildung durch Reizumwandlung, Erregungweiterleitung und deren Verarbeitung, die schließlich in einer Reizbeantwortung mündet. Allein nach der Lage im Körper unterscheidet man das zentrale Nervensystem (ZNS), dem das Gehirn und das Rückenmark zugerechnet werden, und das periphere Nervensystem, zu dem die Hirnnerven, peripheren Nerven und peripheren Ganglien zählen. Eine funktionelle Unter-

scheidung erfolgt in animales und vegetatives Nervensystem. Das animale Nervensystem regelt die willkürlichen Funktionen des Organismus, vor allem die Steuerung der (Willkür-)Motorik durch Wahrnehmung und Integration von Reizen, während das vegetative Nervensystem dafür sorgt, dass die Vitalfunktionen der Eingeweide wie Atmung, Verdauung, Stoffwechsel etc. den jeweiligen Bedürfnissen angepasst werden. Zu diesem Zwecke besteht das vegetative Nervensystem aus zwei Teilsystemen. Das eine, der Sympathicus, versetzt durch seinen Einfluss den Körper in Aktionsbereitschaft, das andere, der Parasympathicus, sorgt für Vorgänge der Regeneration. Unter normalen Verhältnissen stehen die Wirkungen beider Systeme im Gleichgewicht. Diese Funktionen unterliegen nicht primär dem Einfluss des Willens und des Bewusstseins, stehen aber mit dem ZNS und damit auch seelischen Vorgängen in enger Wechselbeziehung.

Feingeweblicher Bau einer Nervenzelle

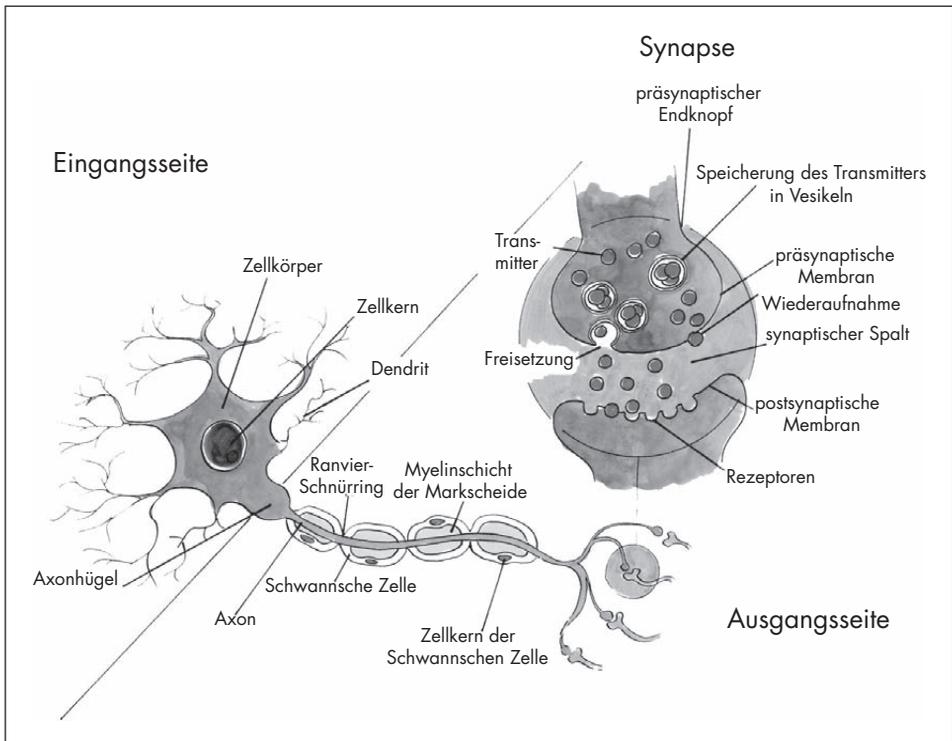
Ungeachtet einzelner Charakteristika, die Nervenzellen verschiedener Lokalisationen und Funktionen in ihrem feingeweblichen Bau aufweisen, kann ein allgemeines Bauprinzip der Nervenzelle beschrieben werden: Eine Nervenzelle (Neuron) besteht aus einem Zellkörper (Perikaryon). Von diesem Zellkörper ausgehend finden sich Fortsätze,

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

meist mehrere Dendriten, die sich wie die Äste eines Baumes verzweigen, die Erregungen aufnehmen und zum Zellkörper weitergeben, und genau ein Axon. Die Aufgabe des Axons ist die Weiterleitung der Erregung über eine „Umschaltstation“ zu anderen

Nervenzellen oder Zellen anderer Erfolgsorgane, z.B. Muskelfasern oder Drüsenzellen. Die erwähnten Umschaltstationen nennt man Synapsen. Der generelle Aufbau einer Nervenzelle und einer Synapse ist in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6:
Nervenzelle mit Synapse



Die Nervenzellen werden von besonderen Hüllzellen, den Gliazellen, umgeben. Sie unterscheiden sich im zentralen und peripheren Nervensystem. Im peripheren Nervensystem werden die Fortsätze von sogenannten Schwannschen Zellen umgeben. Um einige Nervenfortsätze bilden sie durch Myelinproduktion Markscheiden in unterschiedlicher Ausprägung aus. Nach dem Kriterium der Markscheidenbildung unterteilt man die entstandenen Nervenfasern in marklose (alleinige Umhüllung durch Schwannsche Zellen), markarme und markhaltige Nervenfasern. Sogenannte Ranvier-Schnürringe unterbrechen die Kontinuität dieser Umhüllung. Der Abstand zwischen den Schnürringen entspricht der Ausdehnung einer Schwannschen Zelle, d.h., die gesamte Markscheide eines peripheren Axons wird von einer größeren Zahl Schwannscher Zellen gebildet. Die Markscheiden dienen als Isolationsschicht. Die Erregungsleitung in der Nervenfaser erfolgt durch elektrische Impulse, welche die Ladung ihrer Membran über Ionenströme verändern. Für die markhaltigen Nervenfasern gilt, dass diese Impulse nur im Bereich der Ranvierschen Schnürringe weitergegeben werden können, da hier die Membran frei von der Isolierschicht vorliegt. Auf diese Art und Weise wird die Erregung praktisch in Sprüngen besonders schnell fortgeleitet, man spricht von saltatorischer Erregungsleitung.

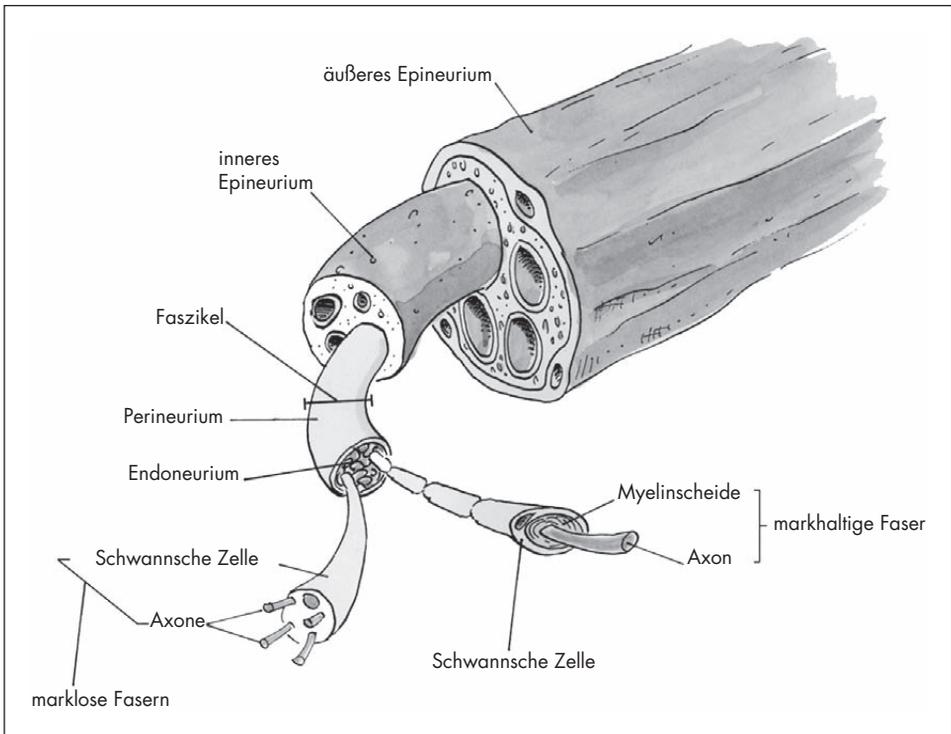
Nervenfaserbündel, Nerven

Die Nervenzellkörper befinden sich in der grauen Substanz der Zentren, also des Gehirns und des Rückenmarks, oder in peripheren Ansammlungen, den Ganglien. Die Nervenfasern verschiedener Zellen werden in der von Muskeln und Sehnen bekannten Art durch verschiedene Bindegewebsschichten gebündelt und bilden die Hirn- oder peripheren Nerven. Der Aufbau eines peripheren Nervs ist in Abbildung 7 (siehe Seite 34) dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

In das Endoneurium peripherer Nerven sind einzelne Nervenfasern und die sie umhüllenden Schwannschen Zellen eingebettet. Es enthält je nach den mechanischen Gegebenheiten des betrachteten Körperabschnitts mehr oder weniger parallel angeordnete kollagene Fasern. Mehrere durch das Endoneurium eingeschleuderte Nervenfasern werden durch das Perineurium zu Bündeln, sogenannte Faszikeln, zusammengefasst. Die Bindegewebszellen des Perineuriums sind konzentrisch um das Bündel angeordnet und stehen über Zellhaften untereinander in Verbindung. Sie stellen eine Diffusionsbarriere dar und sorgen so für die Aufrechterhaltung des Milieus in der Umgebung der Nervenfasern. Zwischen den Zellen sind kollagene Fasern in die Grundsubstanz eingebettet. Das Epineurium schließlich ist die äußere Bindegewebslage und umgibt, schützt und

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Abbildung 7:
Aufbau eines peripheren Nervs



polstert die Faszikel. Dazu besteht es aus weniger dichtem kollagenem Bindegewebe mit zahlreichen Fettzellen und enthält elastische Netze, wodurch Nerven bis zu einem gewissen Grade dehnbar sind. Das Epineurium trennt die einzelnen Faszikel (inneres Epineurium) und bildet eine abgrenzende

Hülle um das gesamte Faszikelbündel (äußeres Epineurium). Das innere Epineurium ermöglicht das Gleiten zwischen den Faszikeln, was eine notwendige Anpassung an Bewegungen darstellt. Das gesamte Epineurium ist von vielen Blutgefäßen und begleitenden Lymphgefäßen durchzogen.

Das gesamte Bindegewebe eines Nervs ist selbst stark innerviert. Im Nerv können drei Arten von Nervenfasern enthalten sein: motorische, sensible und autonome. Im Folgenden soll von den peripheren Nerven die Rede sein. Motorische Nervenfasern gehen von den Zellkörpern im Vorderhorn des Rückenmarks aus, verlassen dieses über die vordere Wurzel und enden an der motorischen Endplatte der Muskeln, einer spezifisch ausgebildeten Synapse. Sensible Nervenfasern liefern Informationen von Rezeptoren für verschiedene Qualitäten wie z.B. Druck, Temperatur, Schmerz. Sie gehören zu den in den Spinalganglien gelegenen Nervenzellkörpern, die im Bereich der hinteren Wurzel des Rückenmarks liegen. Zum einen werden die Rezeptorinformationen von dort an Motoneurone im Vorderhorn der grauen Substanz des Rückenmarks weitergegeben und lösen einen Reflex aus, z.B. das Fortziehen der Hand von einer heißen Herdplatte. Zum anderen werden die Empfindungen an höher gelegene Zentren des Gehirns übermittelt. Durch die Vereinigung der vorderen motorischen und hinteren sensiblen Wurzel zu einem Nervenfaserbündel entsteht der Spinalnerv. Es gibt 31 Spinalnervpaare. Ein Paar entspringt jeweils zu beiden Körperhälften aus einem Rückenmarkssegment (siehe Abbildung 8 auf Seite 36). Hier ist also die entwicklungsgeschichtliche segmentale Ordnung des Körpers noch sichtbar erhalten. Die von einem Rückenmarkssegment versorgten

Gebiete entstammen einem zugehörigen Körpersegment, wobei diese Zuordnung durch die Gliedmaßenbildung verwischt wird. Auch die den Rückenmarksegmenten entstammenden Spinalnerven geben diese segmentale Ordnung auf, indem sie sich in Nervenplexen durchmischen, aus denen neue periphere Nerven hervorgehen. Nur im Bereich des Brustmarkes erkennt man noch die Gliederung, in der ein Spinalnerv einen Zwischenrippenraum versorgt.

Die den sympathischen Nervenfasern zugehörigen Zellkörper befinden sich im Seitenhorn der Segmente des Brust- und Lendenmarks. Bevor sie sich dem Spinalnerv anschließen, werden sie in eigenen Ganglien umgeschaltet. Diese Ganglien sind durch Nervenfasern auch untereinander verbunden und bilden so auf beiden Seiten der Wirbelsäule den Grenzstrang, *Truncus sympathicus*. Etwa 21 bis 25 Ganglien sind in einem Grenzstrang zusammengefasst. Im Bereich der Halswirbelsäule verlaufen die Grenzstränge vor den Querfortsätzen. Im Brustbereich ziehen sie vor den Rippenköpfchen nahe an den Gelenken zwischen Rippen und Querfortsätzen entlang. Im Bauchbereich liegen sie seitlich vor den Wirbelkörpern, ziehen vor das Kreuzbein und verbinden sich dann vor dem Steißbein.

Die parasymphatischen Fasern des vegetativen Nervensystems haben hingegen

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

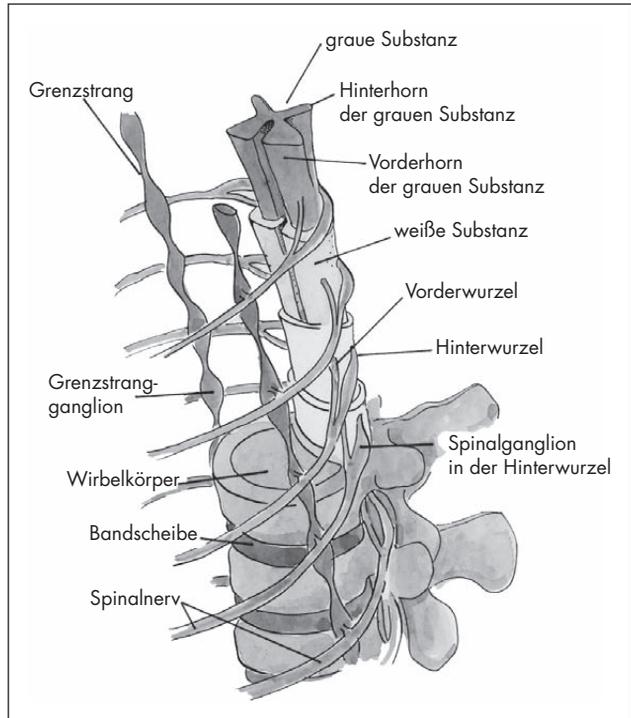


Abbildung 8:
Schematischer Querschnitt
des Rückenmarks mit Austritt
der Nervenwurzeln,
Spinalnervbildung und
Verbindung des Grenzstrangs
mit dem Spinalnerv

verstreute Ursprünge im Bereich des Gehirns und des sakralen Rückenmarks. Sie verlaufen direkt gemeinsam mit anderen Nervenfasern und werden erst nahe den Erfolgsorganen umgeschaltet. Nur der X. Hirnnerv, der *Nervus vagus*, lässt sich als reiner Bestandteil des parasympathischen Nervensystems identifizieren.

Reizaufnahme, Reizweiterleitung und Stoffwechselforgänge

Die Erregungsweiterleitung innerhalb einer Nervenzelle, also von Dendrit zu Nervenzellkörper und von Nervenzellkörper über das Axon bis zur Axonendigung findet elektrisch statt. Alle Zellmembranen weisen durch

eine bestimmte Verteilung der Ionen inner- und außerhalb der Zelle ein Membranpotenzial auf. Dieses Membranpotenzial kann an Zellen durch entsprechende Reize, die Ionenströme auslösen, zu einem sogenannten Aktionspotenzial verändert werden: Es kommt zur Erregung der Zelle. Welcher Reiz und welche Reizstärke eine Zelle erregt, hängt vom Zelltyp ab. Rezeptorzellen für Dehnung reagieren z.B. auf Dehnung mit der Ausbildung veränderter Membranpotenziale. Die Ionenströme sind letztlich groß genug, um benachbarte Membranareale ebenfalls zu erregen, und so wird die Erregung in Form eines fortlaufenden Aktionspotenzials weitergeleitet. Nach der Erregung wird das Ruhemembranpotenzial wieder hergestellt. Diese Prozesse sind energieverbrauchend. An den Axonendigungen muss ein kleiner Zwischenraum, der synaptische Spalt, überwunden werden (siehe Abbildung 6). Daher erfolgt hier die Reizweitergabe von Zelle zu Zelle auf chemischem Weg. Das an der präsynaptischen Membran ankommende Aktionspotenzial löst die Freisetzung des Botenstoffes, des Transmitters, aus den präsynaptischen Vesikeln aus. Dieser verbindet sich an der postsynaptischen Membran mit spezifischen Rezeptoren, wodurch das Membranpotenzial verändernde Ionenströme ausgelöst werden. Die Wirkung des Transmitters wird durch Spaltung und/oder Wiederaufnahme in die präsynaptische Axonendigung beendet. Danach kann der Transmitter, ggf. nach

Wiederherstellung durch Synthese, wieder in Vesikel „verpackt“ werden. Auch diese Vorgänge sind stark energieverbrauchend. Weiterhin wird der Energiebedarf der Nervenzelle dadurch gesteigert, dass spezielle Transportmechanismen unterhalten werden müssen, um die großen Distanzen des innerzellulären Stoffaustausches in den langen Axonen ihrer Funktion entsprechend schnell zu überwinden. Es gibt mehrere Transportsysteme, von denen bisher drei identifiziert sind: ein langsames Transportsystem vom Zellkörper zum Zielgewebe (orthograd), ein schnelles vom Zellkörper zum Zielgewebe und ein retrogrades von der Peripherie zum Zellkörper [8]. Im schnellen Transport werden z.B. Neurotransmitter und Transmitterbläschen, die an der Synapse benötigt werden, mit einer Geschwindigkeit von bis zu 400 mm/Tag befördert. Im langsamen orthograden Transport wird Material zum Aufbau des „Zell-Skeletts“ befördert. Damit ist dieser Transportweg besonders für die Erhaltung der Axonstruktur verantwortlich. Der retrograde Transport bewegt sich schnell – etwa 200 mm/Tag – und führt Transmitterbläschen in den Kreislauf zurück. Des Weiteren befördert er extrazelluläre Materialien wie wachstumsanregende Faktoren für den Neuriten. Es wird angenommen, dass auch sogenannte trophische Botschaften über den Zustand des Axons und der Synapse über dieses Transportsystem gesandt werden. Durch äußere

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Druckerhöhung kann der Transport im Axon behindert werden. Dies wird durch Befunde belegt, die Schwellungen eines Nervs diesseits und jenseits einer Stelle lokaler Druckerhöhung nachweisen.

Der durch diese besonderen Erfordernisse erhöhte Energie- und damit auch Sauer- und Nährstoffbedarf erklärt die besondere Anfälligkeit des Nervengewebes für Substratmangel, z.B. bei Durchblutungsstörungen. Schäden sind nur bedingt reversibel, da Nervenzellen sich nicht durch Teilung vermehren können, also eine Regeneration nicht mehr möglich ist. Ein gewisser Ersatz untergegangener Nervenzellen ist durch die Plastizität des Nervengewebes möglich. Plastizität bedeutet hier, dass vorhandene, bisher nicht genutzte Nervenzellen die Funktionen der abgestorbenen Nervenzelle übernehmen können. Eine weitere Besonderheit ist, dass durchtrennte periphere Nerven, also die Fortsätze der Nervenzellen, nachwachsen können, solange die Neural-scheide als Leitschiene erhalten geblieben ist.

2.3.6 Blutgefäße

Blutgefäße sind das Verteilungssystem des Körpers. Über das Blut erhalten die Organe, die sie bildenden Gewebe und schließlich die einzelnen Zellen Sauerstoff

und die für Stoffwechselfvorgänge nötigen Substrate. Im Gegenzug werden Abfallprodukte sowie Kohlendioxid abtransportiert. Als Motor dient in diesem System das Herz, das Blut in den Kreislauf pumpt und wieder ansaugt. Entsprechend erfolgt eine Unterteilung der Gefäße in Arterien, die das Blut vom Herzen weg führen, und in Venen, die das Blut zum Herzen hin führen. Dabei sind zwei Kreisläufe parallel geschaltet, nämlich der „kleine“ oder Lungenkreislauf und der „große“ oder Körperkreislauf. Für die vorliegende Betrachtung sind nur die Gefäße des Körperkreislaufes von Bedeutung. Im Bereich des Körperkreislaufes gilt, dass die Arterien das nähr- und sauerstoffreiche Blut zu den Organen leiten und die Venen das mit Stoffwechselprodukten und Kohlendioxid beladene Blut abtransportieren. Zu diesen Zwecken entspringt zunächst aus dem Herzen ein großes Gefäß, die Aorta, von der kleinere Arterien zu den einzelnen Organen führen, die sich dann im Organ baumartig zu immer kleineren Gefäßen, den Arteriolen und Kapillaren (Haargefäßen), verzweigen. In umgekehrter Weise vereinigen sie sich zu wieder größeren Gefäßen, den Venolen und Venen, die sich letztendlich in der oberen und unteren Hohlvene sammeln und als diese wieder im Herz münden. Größere Gefäße, Arterien und Venen zeigen eine typische Wand-schichtung in ihrem Feinbau:

□ Innere Schicht = Intima

Sie besteht aus einer Lage platter Zellen, dem Endothel, das eine glatte innere Oberfläche gewährleistet, und einer schmalen eigenen Bindegewebsschicht, die eine elastische Membran enthält.

□ Mittlere Schicht = Media

Hier finden sich glatte Muskelzellen in zirkulärer Anordnung, die vom vegetativen Nervensystem gesteuert werden, und ggf. elastische Fasern.

□ Äußere Schicht = Adventitia

Sie wird aus kollagen-elastischem Bindegewebe gebildet, in das die Gefäßwand versorgende Gefäße und Nerven eingebettet sind (siehe oben).

Herznahe Arterien enthalten viele elastische Fasern in ihrer Media, um den vom Herzen generierten pulsierenden Blutstrom durch eine Art von „Windkesselfunktion“ in einen gleichmäßigen Strom umzuwandeln. Die organnahen Arterien hingegen zeigen in ihrer Media überwiegend Muskelzellen. Durch die Kontraktion oder Relaxation dieser Muskelzellen kann der Durchmesser dieser Arterien und damit die Blutzufuhr zu dem versorgten Organ verändert werden. Einfluss auf die Tätigkeit der glatten Muskelzellen üben das vegetative Nervensystem, chemi-

sche und physikalische Reize (Druck), die durch gefäßeigene Rezeptoren gemessen werden, sowie Hormone und hormonähnliche Stoffe aus.

Je weiter sich die Arterien verzweigen, desto schmaler werden die Wandschichten; Arteriolen weisen keine Adventitia mehr auf, sondern nur noch ein Endothel und wenige umgebende Muskelzellen. Die Arterienwand wird über Diffusion aus dem in der Arteriole strömenden Blut ernährt. Die Haargefäße, an denen der Stoffaustausch im Gewebe stattfindet, werden nur noch aus einem Endothelrohr gebildet.

Die Wandschichtung in den Venen und Venolen ist der für Arterien und Arteriolen beschriebenen ähnlich, jedoch lassen sich die Schichten untereinander schlechter abgrenzen. Die Media enthält eine geringere Anzahl glatter Muskelzellen, die weniger deutlich zirkulär angeordnet sind, und als Besonderheit bildet die Intima größerer Venen sogenannte Venenklappen. Über das Aussehen und die Funktion der Venenklappen gibt Abbildung 9 (siehe Seite 40) Auskunft.

Um physiologische Verhältnisse für den Blutstrom zu gewährleisten, sind die Unversehrtheit des Endothels, die Strömungsgeschwindigkeit und Zusammensetzung des Blutes von Bedeutung. Auf eine Schädigung

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

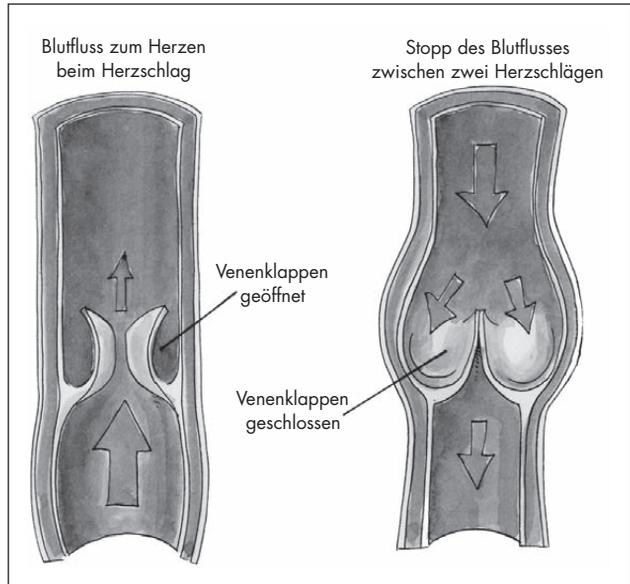


Abbildung 9:
Aussehen und Funktion
der Venenklappen

des Endothels reagiert der Körper mit der Anlagerung von Blutplättchen, die im Gefäß die Blutgerinnung auslösen und damit einen Gefäßverschluss verursachen können. Bei Zunahme oder Veränderung der festen Bestandteile des Blutes sowie bei Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit, die für verschiedene Gefäßabschnitte unterschiedliche Grenzwerte aufweist, kann es ebenfalls zur Ausfällung von Blutplättchen kommen. Die Strömungsgeschwindigkeit ist vom Druckgefälle und Widerstand abhängig. Der Druck, der durch die Pumpwirkung des Herzens erzeugt wird, nimmt bis zu den

Kapillaren von im Mittel 100 mm Hg auf im Mittel 25 mm Hg ab. Innerhalb des Kapillarbettes ist das Druckgefälle nur noch sehr gering, das Blut fließt in den einzelnen Gefäßen langsam, sodass die Bedingungen für den Stoffaustausch über die Diffusion gegeben sind. Allerdings führt der geringe Blutdruck in den Kapillargefäßen auch dazu, dass bereits kleine Druckerhöhungen im Gewebe den Austausch behindern bzw. unmöglich machen können; im Extremfall wird der äußere Druck auf die dünne Gefäßwand so groß, dass es zum Verschluss der lichten Weite der Kapillare, zu einem Aufstau

des Blutes, zur Unterversorgung und in letzter Konsequenz zum Untergang des Gewebes kommt. Außerdem kann äußerer Druck zum Stopp des Rückflusses in den Venen führen, wodurch es zu einem Rückstau des Blutes und Flüssigkeitsansammlung im Gewebe mit den genannten negativen Effekten kommen kann.

2.4 Epidemiologie

„Keine Art der Bewegungsausübung ist so gesund oder harmlos, dass sie nicht ernste Beschwerden auslösen kann, nämlich dann, wenn sie übertrieben wird.“ Diese Feststellung stammt von *Bernadino Ramazzini*, der bereits um 1700 in seinem Buch „*De Morbis Artificum*“ spezifische Erkrankungen des Schulter-Arm-Nacken-Bereichs bei Schreibern und Kontoristen beschrieben hat [15]. Schon damals wurde vermutet, dass wiederholter Gebrauch der Hand, aufgezwungene Sitzhaltung und mentale Belastungen ursächlich für diese Beschwerden sind.

In den letzten Jahren wurde in einigen Staaten ein immenser Anstieg der Häufigkeit von AMSE-OE verzeichnet. So beschreibt *Ferguson* anhand der Workers' Compensation Commission-Statistik für den Zeitraum von 1978 bis 1982 im Bereich New South Wales/Australien nahezu eine Verdreifachung der Zahl erfolgreich durchgesetzter Entschädigungsforderungen auf-

grund beruflich bedingter Synovitis, Bursitis und Tenosynovitis. Darüber hinaus vermutet er eine viel höhere Inzidenz, die durch diese Statistik nicht erfasst werden kann. In Kanada verdoppelte sich zwischen 1986 und 1991 beinahe die Zahl der zugelassenen Kompensationsforderungen an die Unfallversicherungsanstalten aufgrund arbeitsbedingter Erkrankungen des Bewegungsapparates. In den USA wurde eine Verdreifachung der Berichte über Erkrankungen der oberen Extremitäten in einem um zwei Jahre längeren Intervall durch das Bureau of Labour Statistics ermittelt [7]. Hingegen ist in Deutschland laut *Kössler und Heuchert* die Zahl der Erkrankungen der Sehnenscheiden, des Sehnengleitgewebes sowie der Sehnen- oder Muskelansätze (seit 1952 in die Berufskrankheiten-Liste aufgenommen – heute Nr. 2101, siehe unten), die den Berufsgenossenschaften in den Jahren zwischen 1969 und 1990 jährlich gemeldet wurden, etwa gleich groß geblieben [16]. Vergleicht man aber die Ausbreitung in verschiedenen Staaten anhand der Zahlen von Kompensationsforderungen und/oder -leistungen, müssen die unterschiedlichen Systeme, nach denen Meldung und Anerkennung der Berufskrankheiten erfolgen, in Rechnung gestellt werden. In Deutschland kommt bei der Anerkennung von Leistungsansprüchen aus der gesetzlichen Unfallversicherung ein „gemischtes System“ aus Berufskrankheiten-Liste und einer unter bestimmten Bedingungen geltenden Erweite-

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

rungsklausel zur Anwendung. Im Einzelfall soll ein fundierter Ursachen-Wirkungs-Zusammenhang zwischen der ausgeübten Tätigkeit und den beklagten Beschwerden herstellbar sein. In Schweden hingegen werden nach einer „Generalklausel“ Erkrankungen entschädigt, die durch Unfälle, Infektionen oder andere Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz verursacht werden. Eine mögliche Erklärung für die großen Diskrepanzen der Erkrankungszahlen an AMSE-OE in verschiedenen Staaten könnte also dadurch bedingt sein, dass die kausale Beziehung zwischen Arbeitsfaktoren und Erkrankung unterschiedlich beurteilt wird [17]. Nach Einschätzung von *Vogt* erklärt sich die immense Meldezunahme in Australien gerade dadurch, dass das dortige Versicherungssystem 1980 die unter dem Begriff „RSI“ (siehe Abschnitt 2.1, Seite 13) zusammengefassten Krankheitsbilder als berufsbedingt anerkannte. Nach einem abschlägigen Urteil gegenüber einem Betroffenen, der den ihn beschäftigenden Betrieb verklagt hatte, sei diese „Epidemie“ wieder abgeflaut [18].

Welche Bedeutung darüber hinaus Muskel-Skelett-Erkrankungen in volkswirtschaftlicher Hinsicht haben, belegt ein Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) [19]. Zur Einschätzung der volkswirtschaftlichen Dimensionen dieser Erkrankungen in Deutschland werden Statistiken der Betriebskrankenkassen und

des Verbandes Deutscher Rentenversicherungsträger herangezogen. Diese Daten, die dem Bericht zum Stand der Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit aus dem Jahre 2003 zugrunde liegen, belegen, dass 116,5 Mio. Arbeitsunfähigkeitstage, Produktionsausfallkosten von 10,6 Mrd. € bzw. Bruttowertschöpfungsausfälle von 16,53 Mrd. € auf die Diagnosegruppe der Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes zurückzuführen sind. Diese Erkrankungen führen seit Jahren die Krankheitsartenliste mit einem zwischen 25 und 30 % leicht schwankenden Anteil der betrieblichen Ausfallzeiten an. Ebenso waren diese Erkrankungen die häufigste Ursache für Frühberentungen im Jahre 1996, gefolgt von psychischen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Bei *Kössler* findet sich eine Aufstellung literaturbelegter Schätzungen volkswirtschaftlicher Schäden durch Beschwerden der Bewegungsorgane in verschiedenen Staaten Europas, in Australien, Kanada und den USA, die das Ausmaß der Problematik und ihre weltweite Ausdehnung verdeutlichen [20].

Damit ergab sich die Dringlichkeit, die kausale Beziehung dieser Erkrankungen zur Arbeit zu erforschen und daraus ggf. Erkenntnisse für die Prävention oder über Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu gewinnen. Zunächst wurden bestimmte Berufe als mit erhöhtem relativem Risiko für AMSE-OE

behaftet identifiziert. Hierzu zählten Lochkartenstanzer, Sekretärinnen, Telefonisten sowie Beschäftigte in der Datenverarbeitung, an Registrierkassen, Packungsmaschinen oder Fließbändern [16]. In einer Literatur-

übersicht zur Epidemiologie listen *Grieco et al.* Studien auf (Tabellen 1 bis 3), die statistische Korrelationen zwischen beruflichen Tätigkeiten und einzelnen Krankheitsbildern aufzeigen [6].

Tabelle 1:

Darstellung des statistischen Zusammenhangs zwischen Karpaltunnelsyndrom und beruflicher Tätigkeit anhand ausgewählter Studien (modifiziert nach [6])

Studiendesign	RR, OR oder PRR	Autoren
Kohorte		
<input type="checkbox"/> Austern- und Krabbenverpackung	14,8*	<i>Franklin et al.</i> (1991)
<input type="checkbox"/> Fleisch- und Geflügelverarbeitung	13,8*	<i>Franklin et al.</i> (1991)
Querschnitt		
<input type="checkbox"/> Skiherstellung	4,0*	<i>Barnhart et al.</i> (1991)
<input type="checkbox"/> Herstellung gefrorener Lebensmittel	9,4*	<i>Chiang et al.</i> (1990)

* $p < 0,05$; RR: Relatives Risiko; OR: Odds Ratio; PRR: Prevalence Rate Ratio

Tabelle 2:

Darstellung des statistischen Zusammenhangs zwischen Tendinitiden der Hand/des Handgelenks und beruflicher Tätigkeit anhand ausgewählter Studien (modifiziert nach [6])

Studiendesign	RR, OR oder PRR	Autoren
Kohorte		
<input type="checkbox"/> Wurstmacher	24*	<i>Kurppa et al.</i> (1991)
<input type="checkbox"/> Fleischschneider	14*	<i>Kurppa et al.</i> (1991)
<input type="checkbox"/> Fleischverpacker	38*	<i>Kurppa et al.</i> (1991)
Querschnitt		
<input type="checkbox"/> Fließbandpacker	7,1*	<i>Luopajarvi et al.</i> (1979)
<input type="checkbox"/> Fließbandpacker	3,9*	<i>McCormack et al.</i> (1990)
<input type="checkbox"/> Arbeiter in der Herstellung	5,4*	<i>McCormack et al.</i> (1990)
<input type="checkbox"/> Scherenmacher	1,4	<i>Kuorinka und Koskinen</i> (1979)
<input type="checkbox"/> Automobilindustrie-Arbeiter	2,5*	<i>Bystrom et al.</i> (1995)

* $p < 0,05$; RR: Relatives Risiko; OR: Odds Ratio; PRR: Prevalence Rate Ratio

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Tabelle 3:

Darstellung des statistischen Zusammenhangs zwischen *Epikondylitis lateralis* und beruflicher Tätigkeit anhand ausgewählter Studien (modifiziert nach [6])

Studiendesign	RR, OR oder PRR	Autoren
Kohorte		
<input type="checkbox"/> Wurstmacher	5,7 n.s.	<i>Kurppa et al.</i> (1991)
<input type="checkbox"/> Fleischschneider	8,1 n.s.	<i>Kurppa et al.</i> (1991)
<input type="checkbox"/> Verpacker	6,7*	<i>Kurppa et al.</i> (1991)
Querschnitt		
<input type="checkbox"/> Fleischschneider	6,4	<i>Roto und Kivi</i> (1984)
<input type="checkbox"/> Fließbandpacker	1,1	<i>McCormack et al.</i> (1990)
<input type="checkbox"/> Arbeiter in der Herstellung	1,1	<i>McCormack et al.</i> (1990)
<input type="checkbox"/> Fleischschneider	1,2 n.s.	<i>Viikari-Juntura et al.</i> (1991)
<input type="checkbox"/> Fließbandpacker	1,2	<i>Luopajarvi et al.</i> (1979)
<input type="checkbox"/> Automobilindustrie-Arbeiter	0,7	<i>Dimberg</i> (1987)
<input type="checkbox"/> Nähmaschinenarbeiter	1,7	<i>Anderson und Gaardboe</i> (1993)

n.s. = nicht signifikanzgeprüft

*p < 0,05; RR: Relatives Risiko; OR: Odds Ratio; PRR: Prevalence Rate Ratio

In Deutschland ermittelten *Michaelis et al.* im Rahmen einer Querschnittstudie durch Befragungen von Büroangestellten, dass die Punktprävalenz für das Schulter-Arm-Syndrom bei 20 % liegt [21]. Diese Berufe oder Tätigkeiten beinhalten überwiegend keine Arbeit, die allgemein als körperlich schwer einzustufen wäre. Durch welches Belastungsprofil lässt sich gerade bei diesen Berufen der Anstieg der AMSE-OE erklären?

Eine mögliche gemeinsame Ursache scheint in der Veränderung der Arbeitsbedingungen der modernen Arbeitswelt zu liegen [22].

Zwar haben neue Technologien durch Mechanisierung und Automation zur Verringerung schwerer körperlicher Arbeit geführt, aber im Gegenzug kommt es zur Aufteilung komplexer Arbeitsabläufe in kleinere Arbeitsschritte und folglich zu einer Spezialisierung der Arbeitnehmer. Diese führen dann die eigens trainierten, besonders die obere Extremität einsetzenden Tätigkeiten an örtlich umschriebenen Arbeitsplätzen – wie z.B. Schreibtischen, Werkbänken oder Fließbandpositionen – in gleichförmig sich wiederholender Weise aus. So wird der Bewegungsraum des Arbeitenden in zweierlei

Hinsicht – einmal durch die Tätigkeit selbst und zum Zweiten durch den Arbeitsplatz – eingeschränkt. Mit der scheinbaren Arbeitserleichterung werden aber auch Erwartungen an eine Erhöhung der Produktivität des Arbeitnehmers geknüpft, zumal der wirtschaftliche Druck durch Technologisierung und Globalisierung zunimmt [23; 24]. *Meyer und Turpin-Legendre* fügen diesen Beobachtungen noch weitere sozio-ökonomische Aspekte wie die Überalterung der werktätigen Bevölkerung, zunehmende Frauenarbeit, Einführung von Qualitätskontrollen und Wandel der klassischen Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft an, die möglicherweise die Entwicklung der AMSE-OE in Frankreich erklären [25]. In der Folge kommt es zu einer längeren Arbeitsdauer bei geringeren Ruhezeiten. Das Arbeitstempo wird fremdbestimmt, oft durch die Maschine vorgegeben, oder der Arbeiter wird durch die Lohnermittlung nach Akkord o.Ä. zu höheren Taktzahlen angespornt. Gleichzeitig werden hohe Anforderungen an die Konzentration gestellt, was die Psyche (stark) belastet [26; 27].

Aus diesen Betrachtungen leiten sich folgende vermuteten berufsbedingten Risikofaktoren für AMSE-OE her: Repetition, erforderliche Kraft, statische Haltung, ungünstige Haltung, Vibration, Hitze und Kälte sowie psychomentaler Stress, z.B. durch monotone Arbeit, Unzufriedenheit und geringe Selbstbestimmtheit bei der Arbeit

oder ein schlechtes Arbeitsklima. Unbestritten bleibt, dass für einzelne Krankheitsbilder der AMSE-OE auch individuelle Risikofaktoren bekannt sind oder angenommen werden wie Rauchen [28; 29], erhöhter Body-Mass-Index [30], Stoffwechselerkrankungen, Geschlecht [31], Hormoneinflüsse, gynäkologische Operationen (insbesondere Hysterektomie und Ovarektomie) [32], rheumatische Erkrankungen, vorausgegangene Verletzungen, bestimmte Hobbys wie Tennis, Golf [33] oder Garten- und/oder Hausarbeit sowie privat verursachter Stress, z.B. Doppelbelastung durch Beanspruchungen in Beruf und Familie. Dieser Zusammenhang führt unter anderem immer wieder zu der kontroversen Diskussion darüber, ob Beschwerden tatsächlich auf Arbeitskonditionen zurückzuführen sind [34]. Eine Evaluation der physikalischen arbeitsbedingten Risikofaktoren (Repetition, erforderliche Kraft, statische Haltung, ungünstige Haltung, Vibration und ihre Kombinationen) erfolgte in einer groß angelegten Literatur-Übersichtsstudie des National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1997 in Bezug auf die einzelnen Gelenkregionen und deren Krankheitsbilder (Tabelle 4, siehe Seite 46) [35].

Zu dieser Aufstellung sei ergänzend erwähnt, dass *Chiang et al.* z.B. eine Kombinationswirkung von Kälte und Repetition beobachteten, die zu mehr Fällen von Karpaltunnelsyndrom führte, verglichen mit einer Arbeiter-

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Tabelle 4:

Hinweise zur Kausalbeziehung zwischen arbeitsbedingten Risikofaktoren und Muskel-Skelett-Beschwerden in verschiedenen Körperregionen, abgewandelt nach Kössler [20]

Körperregion/ Risikofaktoren	Beweisqualität stark	Beweisqualität mäßig	Beweisqualität unzureichend	Beweisqualität kein Effekt
Nacken/Schulter <input type="checkbox"/> Repetition <input type="checkbox"/> Kraft <input type="checkbox"/> Haltung <input type="checkbox"/> Vibration	+++	++ ++	+	
Schulter <input type="checkbox"/> Repetition <input type="checkbox"/> Kraft <input type="checkbox"/> Haltung <input type="checkbox"/> Vibration		++ ++	+ +	
Ellenbogen <input type="checkbox"/> Repetition <input type="checkbox"/> Kraft <input type="checkbox"/> Haltung <input type="checkbox"/> Kombination	+++	++	+ +	
Hand/Handgelenk <i>Karpaltunnelsyndrom</i> <input type="checkbox"/> Repetition <input type="checkbox"/> Kraft <input type="checkbox"/> Haltung <input type="checkbox"/> Vibration <input type="checkbox"/> Kombination <i>Tendinitis</i> <input type="checkbox"/> Repetition <input type="checkbox"/> Kraft <input type="checkbox"/> Haltung <input type="checkbox"/> Kombination	+++ +++	++ ++ ++ ++ ++ ++	+	

gruppe, die hoch repetitiven Tätigkeiten allein ausgesetzt war [36]. Auch die in dieser Literaturübersicht noch nicht berücksichtigten Veröffentlichungen liefern bestätigende Hinweise für die obigen Verursachungshypothesen.

1997 führten *Punnett und Bergqvist* in Dänemark eine Literaturstudie der englischen und schwedischen Literatur zum Thema „Computerarbeitsplätze“ durch. Sie nahmen für diese Art von Arbeitsplätzen ein typisches Muster von physikalischen Einwirkungen und organisatorischen Auswirkungen an, sodass alleine die Beschreibung „Computerarbeitsplatz“ in einigen Studien als ausreichende Beschreibung der Belastung angesehen wird. Speziell für auf die Hand und das Handgelenk bezogene Beschwerden scheint die Arbeit mit dem Computer und der Tastatur, vermittelt über die repetitiven Fingerbewegungen und die Haltearbeit der Muskeln im Handgelenk und des Unterarms, als verursachendes Agens identifiziert zu sein. Starke Hinweise finden sich für eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen intensiver Tastaturnutzung: Vier Stunden pro Tag verdoppeln das Auftreten von AMSE-OE, deren Risiko auch durch hohe Arbeitsanforderungen und ungünstige Haltungen erhöht wird. AMSE-OE tritt häufiger bei Frauen an VDU (Visual Display Unit)-Arbeitsplätzen auf, allerdings deuten einige wenige direkte Vergleiche von Männern und Frauen an ähnlichen Arbeits-

plätzen durch gleiche Raten an AMSE-OE darauf hin, dass dieser Unterschied vor allem durch die geschlechtsspezifische Besetzung von bestimmten Arbeitsplätzen bedingt sein könnte [37]. Eine im Jahre 2000 von *McDiarmid et al.* veröffentlichte Studie über die unterschiedliche Auftretensrate eines Karpaltunnelsyndroms in Abhängigkeit vom Geschlecht ergab, dass die Kategorisierung nach Berufsgruppen, die mit hohem Risiko für das Karpaltunnelsyndrom belastet sind, nicht ausreicht [38]. Innerhalb von fünf der sechs betrachteten Berufsgruppen führten nämlich Männer und Frauen unterschiedliche Arbeitsaufgaben aus. In diesen Berufsgruppen (z.B. Fließbandarbeiter/-innen, Arbeiter/-innen an Verpackungs- und Abfüllmaschinen, Raumpfleger/-innen) fand sich dann für Frauen eine etwa zwei- bis dreifach höhere Auftretensrate. Die Analyse der Arbeitsaufgaben von Dateneingabe/-innen zeigte nur in dieser Berufsgruppe ein vergleichbares Profil der arbeitsbedingten Belastungsfaktoren bei beiden Geschlechtern. In diesem Fall traten etwa gleich viele Fälle von Karpaltunnelsyndrom bei Männern und Frauen auf. Unter diesem Aspekt der Ergebnisverzerrung sollte auch die Studie von *Häkkänen et al.* kritisch bewertet werden, der ebenfalls über eine höhere Rate von Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität bei Fließbandarbeiter/-innen in der Herstellung von Wohnwagen berichtet. Besondere Beachtung erfuhr jedoch in dieser Studie der Einfluss der

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Erfahrung in dem ausgeübten Beruf auf die Entwicklung von AMSE-OE. Über zwei Jahre hinweg wurden Arbeiter/-innen, die eine körperlich beanspruchende Aufgabe neu übernommen hatten, beobachtet. Als Maß für die Gesundheit galten die Fehlzeiten, die durch Nacken- und Schulter-Beschwerden verursacht und mittels der Arztberichte erfasst wurden. Aus den Ergebnissen schließen die Untersucher, dass „neue“ Arbeiter/-innen noch nicht an die spezielle Aufgabe gewöhnt sind und daher ein höheres Risiko tragen, an Muskel-Skelett-Erkrankungen zu leiden [39].

Eine von *Jensen* (2003) veröffentlichte Longitudinalstudie an Computernutzern untersucht die Wirkung der Gesamtdauer der Computernutzung während der Arbeitszeit und empfiehlt, diese auf weniger als drei Viertel der Arbeitszeit zu begrenzen [40]. Die Ergebnisse liefern auch Hinweise darauf, dass ein Wechsel zwischen der Benutzung einer Maus und anderer Eingabehilfen sinnvoll ist. Des Weiteren dient nach den Ergebnissen dieser Studie der Parameter „geringerer Einfluss bei der Arbeit“ als Vorhersagewert für Nacken- und Hand/Handgelenk-Symptome.

Eine Untersuchung von *Punnett* in der Automobilindustrie erhärtet die Vermutungen über die Expositions-Wirkungs-Beziehung [41]. In der Querschnittsstudie wurden über Frage-

bögen und Beobachtungen einerseits Daten zur Belastung und andererseits Krankheitsdaten über Fragebögen und körperliche Untersuchungen erhoben. Die durch die Fragebögen festgestellten Symptome wurden zu 80 % durch die körperliche Untersuchung bestätigt. Mit steigender Exposition gegenüber kombinierten Belastungsfaktoren – wie Lastgewichte und deren Handhabung, ungünstige Haltungen und Frequenz der Tätigkeiten, die zunächst einzeln gewichtet, bepunktet und durch nachfolgende Summation einer Gesamtbewertung zugänglich gemacht wurden – wuchs auch das Krankheitsaufkommen. Daher betont *Punnett* insbesondere die Notwendigkeit, alle Dimensionen der ergonomischen Belastung zu bewerten, da diese häufig in Kombination auftreten und wirken.

Zusätzlich zu der oben beschriebenen Kombination physikalischer Risikofaktoren bringen *Haahr und Andersen* anhand einer Fall-Kontroll-Studie die Erfahrung geringer Unterstützung bei der Arbeit mit der Entwicklung einer lateralen Epikondylitis bei Frauen in Verbindung [42]. *Huang et al.* beobachten erhöhte Odds Ratios für LWS-Beschwerden (LWS, Lendenwirbelsäule) und AMSE-OE bei Belastung durch bestimmte arbeitsorganisatorische Faktoren. Beschrieben wird ein erhöhtes Risiko für AMSE-OE durch Zeitdruck. Für das gleichzeitige Auftreten von LWS-Beschwerden und AMSE-OE ergaben sich

erhöhte Risiken durch hohe Anforderungen an die Kognition und an die Zusammenarbeit sowie geringe Partizipation am Aufgabenmanagement [43].

Im Rahmen einer populationsbezogenen Fall-Kontroll-Studie von *Giersiepen et al.* füllten 362 Männer und 411 Frauen Fragebögen mit 77 Fragen zu beruflichen und persönlichen Themen aus [44]. Als Fälle wurden Patienten, die wegen eines Karpaltunnelsyndroms in einer Bremer Klinik oder ambulant operiert worden waren, identifiziert. Aus den Patienten, die jünger als 65 Jahre waren, wurde eine Zufallsstichprobe gewonnen. Die Kontrollgruppe wurde nach dem Zufallsprinzip unter Matching-Verfahren für Alter und Geschlecht aus dem Einwohnermelderegister ermittelt. Eine statistische Korrektur erfolgte auch für den Faktor Übergewicht. Danach ergab sich ein erhöhtes Risiko für das Karpaltunnelsyndrom bei Männern und Frauen, die im Jahr zuvor Tätigkeiten mit repetitiven und kraftvollen Greifbewegungen bzw. Dreh-, Beuge- und/oder Streckbewegungen im Handgelenk ausgeübt hatten. Dieses geschätzte Risiko blieb auch für Frauen nach statistisch korrigierter Analyse bezüglich der Faktoren „> zwei Geburten“, „Zustand nach Gebärmutterentfernung“ und „Einnahme von Hormonpräparaten über zwölf Monate“ signifikant gesteigert. Für Männer nahm durch „Schlagen und Klopfen mit einem Werkzeug oder mit der Hand“ und durch

„Vibrationsbelastungen der Hand“ das Erkrankungsrisiko statistisch signifikant zu. Das Verdopplungsrisiko für das Karpaltunnelsyndrom wird je nach Art der manuellen Tätigkeit mit Ausübungsdauern zwischen 2,7 und 4,3 h bei Männern und 3,7 bis 4,7 h bei Frauen angegeben. Als besonders gefährdete Berufsgruppen nennt *Giersiepen* Akkordarbeiter, Schlachter, Arbeiter in der Fisch verarbeitenden Industrie, Küchenhilfen, Reinigungskräfte, Kassiererinnen, Arbeiter in Bauberufen und Kfz-Mechaniker.

Nachdem anhand epidemiologischer Studien Repetition, statische Haltung, ungünstige Haltung, Kraftaufwendung, Vibration, psychomentaler Stress und Arbeitsumgebungs-klima (Hitze, Kälte) als Belastungsfaktoren für AMSE-OE herausgestellt wurden, soll im Folgenden der Fokus auf diese äußeren mechanischen Belastungsfaktoren gerichtet werden. Vielfach und auch im europäischen Raum wird die Auffassung vertreten, dass die epidemiologische Evidenz der Arbeitsbedingtheit von AMSE-OE durch Studien belegt sei [45]. Um diese Argumentation weiterzuführen, folgt im nächsten Abschnitt die literaturbelegte Betrachtung der geäußerten Vorstellungen darüber, wie sich bewegungsabhängige Belastungen als Beanspruchung an den verschiedenen anatomischen Strukturen äußern können.

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

2.5 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

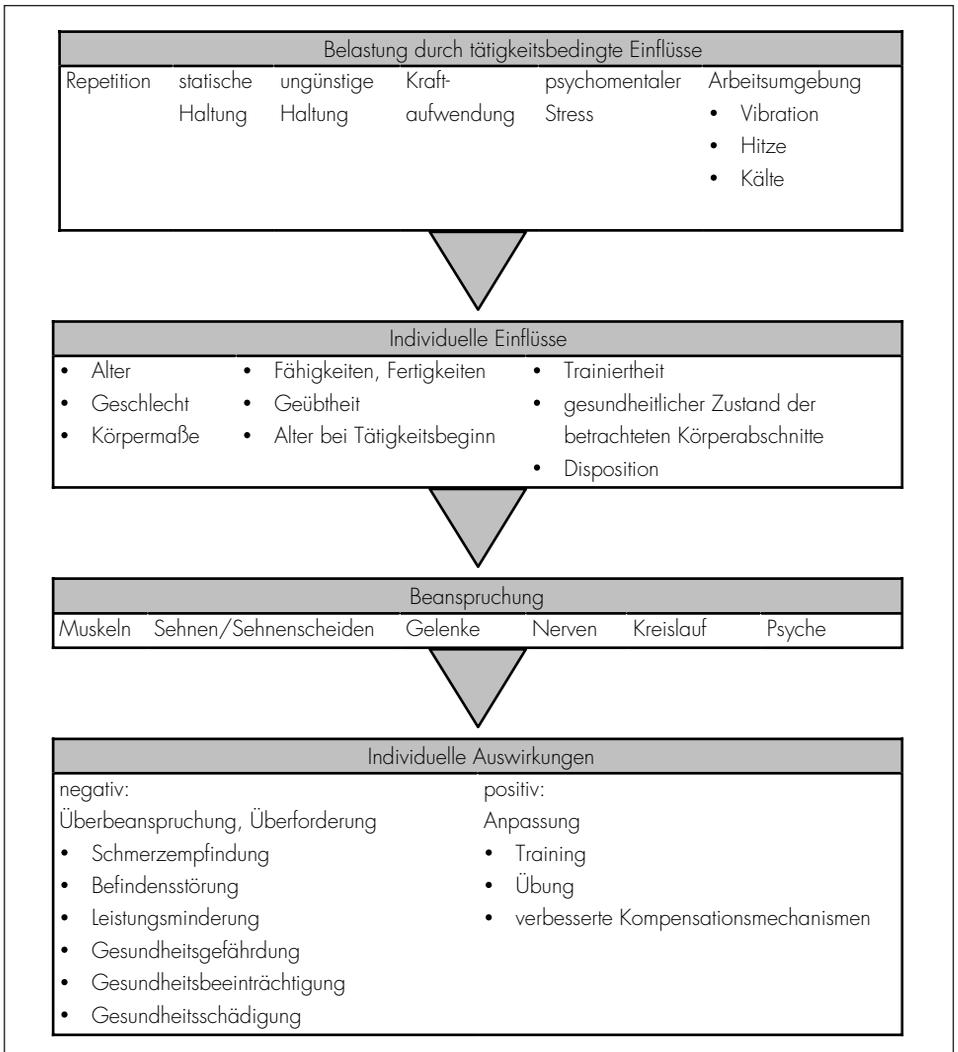
Es erscheint widersprüchlich, dass in einer Zeit, in der viele sogenannte Zivilisationskrankheiten des Menschen durch Bewegungsmangel mitverursacht werden, gerade Bewegungen im Verdacht stehen, Erkrankungen auslösen zu können. Die epidemiologisch als Risikofaktoren benannten Tätigkeitsbeschreibungen Repetition, statische Haltung, ungünstige Haltung und Kraftaufwendung scheinen bestimmte Formen der Bewegungsausübung als schädlich zu klassifizieren. In diesem Falle müssten sich entsprechend dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept krankhafte Befunde auf pathoanatomischer oder pathophysiologischer Ebene an den betroffenen Strukturen nachweisen lassen. Abbildung 10 gibt das von *Bongwald et al.* für das Heben und Tragen von Lasten erstellte Belastungs-Beanspruchungs-Modell wieder, das für manuelle Tätigkeiten abgewandelt wurde [46].

Die Beanspruchung wird auch nach ihrer Dauerhaftigkeit differenziert. Demnach unterscheidet man kurzfristige Beanspruchungswirkungen und langfristige Beanspruchungsfolgen [47]. Hier sollen nun die Belastungswirkungen an den einzelnen anatomischen Strukturen dargestellt werden.

Muskulatur

Für die Muskulatur wird als zuerst eintretender Effekt ihrer Betätigung die Ermüdung angeführt. Sie äußert sich in einer geringeren Kontraktionsantwort auf Reize nach schon vorangegangenen Kontraktionen. Erste Hypothesen nahmen einen Verbrauch der Energie liefernden Phosphate (ATP, siehe Abschnitt 2.3.3, siehe Seite 21) an. Gegen diesen Erklärungsversuch sprachen allerdings Untersuchungen, in denen ein ermüdeter Muskel durch Zugabe von Coffein bei der Kontraktion wieder die anfängliche Kontraktionsantwort bot [48]. Also müssen die kontraktile Elemente des Muskels noch funktionsfähig sein und dies setzt das Vorhandensein von ATP voraus. Die Wirkung von Coffein beruht auf einer direkten Freisetzung von Calcium in der Muskelfaser, das die Kontraktion durch Aktivierung der Myosinköpfchen an den Aktinfilamenten in Gang setzt [10], ohne dass zuvor an der Muskelfasermembran ein Aktionspotenzial ausgelöst wurde. Neuere Erkenntnisse wurden durch elektromyografische Studien gewonnen, die Frequenzverschiebungen zu niedrigeren Frequenzbändern als Parameter für die Muskelermüdung geeignet erscheinen lassen. Die favorisierte Theorie, wie es zu dieser Frequenzverschiebung kommt, argumentiert mit einer Abnahme der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Aktionspotenziale an der Muskelfasermembran.

Abbildung 10:
Belastungs-Bbeanspruchungs-Modell für manuelle Tätigkeiten (modifiziert nach Bongwald et al. [46])



2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Diese Ergebnisse verstärken gemeinsam die Hinweise auf die bedeutende Rolle, die das Kaliumion für die Muskelermüdung und ihre Folgen in der Muskelfunktion spielt, zumal sich die verringerte Leitungsgeschwindigkeit experimentell durch erhöhte Kaliumkonzentrationen in den Badlösungen der Muskelfasern nachweisen lässt. Kalium strömt im Rahmen eines Aktionspotenzials aus der Zelle heraus und wird danach durch ATP verbrauchenden aktiven Transport wieder in die Zelle hineingepumpt. Bei ermüdenden Tätigkeiten kommt es zu einer Überlastung dieses Pumpmechanismus und Kalium reichert sich außerhalb der Muskelfaser an. Dieser Effekt wird durch eine verminderte Blutzirkulation unter Umständen verstärkt, nämlich dann, wenn eine anhaltende statische Kontraktion zur Druckerhöhung in der Muskulatur führt und den Blutfluss in den Kapillaren verringert [49]. Eine komplexe Darstellung der weiteren Wirkungen von erhöhten Kaliumkonzentrationen außerhalb der Zellen liefern *Sjøgaard und McComas* [50]. Danach reizt die erhöhte Kaliumkonzentration sensorische Nervenendigungen, was zu einer Abnahme der Impulsrate durch die Motoneurone führt und einer weiteren Überanstrengung der Muskulatur entgegenwirkt. Darüber hinaus kommt es zu einer Erweiterung der Muskelfäße über eine direkte relaxierende Wirkung von Kalium auf die glatten Muskelzellen der Gefäße und zu einer Steigerung der Herzschlagfrequenz sowie des Blutdrucks.

Auf diese Art und Weise kann das angereicherte Kalium durch eine verbesserte Durchblutung schneller eliminiert und das Fortschreiten der Ermüdung verhindert bzw. die Erholung beschleunigt werden. Allerdings kommt es nur zur Durchblutungszunahme der Muskulatur, wenn nicht – wie oben beschrieben – die Kontraktion den Druck der Muskulatur auf die Gefäße erhöht [51]. Im Gegensatz zu diesen durch Kalium ausgelösten Schutzmechanismen vor Muskelüberanstrengung postulieren *Johansson und Sojka*, dass der Anfall von Metaboliten aus dem Muskelstoffwechsel, u.a. auch Kalium, über sensorische Afferenzen die γ -Motoneurone erregt [52]. Diese erhöhen durch Innervation die Dehnungsempfindlichkeit der Muskelspindeln, was wiederum zu einer Aktivierung und Kontraktion der Muskelfasern über die Motoneurone führt, die den weiteren Anstieg der Metaboliten verursacht. So installiert sich ein „Teufelskreis“, in dem die Reizung der sensorischen Nervenendigungen schließlich auch als Schmerz empfunden wird und die perpetuierte Muskelkontraktion als Verspannung tastbar wird. Unterstützt wird dieses Modell durch die elektromyografischen Befunde von *Veiersted*, der erhöhte Aktivitätslevel in Arbeitspausen bei Arbeiterinnen in der Verpackung, die während des ersten Tätigkeitsjahres Muskelschmerzen im Kapuzenmuskel entwickelten, beobachtete [53]. Vergleichbare Befunde beschreiben *Sutarno und McGill*, die bei

Patienten mit Rückenschmerzen höhere Aktivitätslevel und veränderte asymmetrische Aktivitätsmuster zeigten [54]. Die asymmetrischen Aktivitätsmuster und die nachgewiesene Abnahme der Kontraktionskraft legen die Vermutung nahe, dass es durch die Muskelermüdung zu einem Ungleichgewicht der Muskelkräfte, die auf ein Gelenk einwirken, und zu einer unnormalen Druck-/Spannungsverteilung auf die Strukturen des Bewegungsapparates kommt. Darin sieht *Kurma* die theoretische Erklärung für die Ursache von Verletzungen des Muskel-Skelett-Systems durch Ermüdung [55]. Für das Kaliumion selbst kann keine direkte verletzende Wirkung auf das Gewebe angenommen werden. Allerdings mag Kalium dazu führen, dass Calciumionen vermehrt in die Zelle einströmen. Dieser Effekt addiert sich zu einer intrazellulären Calciumanreicherung, die durch Überbeanspruchung der ATP-abhängigen Membranpumpe ebenso plausibel wie für das Kalium erklärt werden kann. Die Wirkung von Calcium auf die Zellmembran und die Mitochondrien, die ATP liefernden „Kraftwerke“ der Zelle, induziert degenerative Schädigungen, die mit dem Funktionsverlust dieser zellulären Strukturen und folglich der Muskelzelle einhergehen [56]. Die induzierte Zellmembranzerstörung ist gleichbedeutend mit dem Wegfall einer Diffusionsschranke und hat zur Folge, dass Calcium ungehindert in die Zelle einströmen kann, sodass auch dieser Prozess selbstverstärkend ist.

Für kraftvolle exzentrische Bewegungen sind darüber hinaus allein durch die mechanische Einwirkung verursachte subzelluläre Verletzungen an den Myofibrillen beobachtet worden [57]. Verletzungen – seien sie auch nur als Mikrotrauma oder Mikroruptur zu bezeichnen – können Entzündungsprozesse im Muskel auslösen.

Sehnen und Sehnenscheiden

An Sehnen entstehen Überlastungen, wenn die viszeroelastischen Eigenschaften des Gewebes von durch Muskeln vermittelten Zugkräften überschritten werden und es zur Deformierung der Sehne kommt. Die erhöhte Spannung im Gewebe führt über eine Minderdurchblutung und Minderernährung zu degenerativen Veränderungen in der Sehne. Untergegangene Zellen stellen „Trümmer“ dar, in denen sich Kalk ablagern kann, und Mikrorupturen treten auf [58]. Solche Veränderungen konnten in den Sehnen der sogenannten Rotatorenmanschette der Schulter bevorzugt in den Sehnenregionen ohne Gefäße beobachtet werden; d.h. in den Gebieten, die besonders anfällig für eine Minderdurchblutung sind [59; 60]. Die Sehnendurchblutung ist auch abhängig von der Muskelspannung; sie verhält sich umgekehrt proportional zur Spannung, sinkt also mit zunehmender Spannung [3]. Die Durchblutung und Ernährung können auch und

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

zusätzlich durch mechanischen Druck von außen oder innen in Form von Scherkräften herabgesetzt werden. Scherkräfte entstehen durch die Überwindung des Widerstands, der durch die Reibung am umliegenden Gewebe auftritt. Besonders groß werden die Scherkräfte überall dort, wo gespannte Sehnen über ein Gelenk ziehen, dass in seiner Stellung von der Neutral-Null-Stellung abweicht; z.B. bei der Fingerbeugung mit gleichzeitig nach dorsal gestrecktem Handgelenk. Als Veränderung durch Scherkräfte in der Sehne selbst konnte *Vogel* das reversible Entstehen von Faserknorpel feststellen [61]. An solchen Stellen, an denen die Sehne ihre Richtung im Verhältnis zum verbundenen Muskel ändert, finden sich ebenfalls häufig Sehnenscheiden. Sie stellen durch Ausstattung mit immunkompetenten Zellen ein sehr reagibles Gewebe dar [62]. Bei Überlastung werden sie in die entzündlichen Prozesse einbezogen und bei chronischem Verlauf kommt es schließlich zur Zunahme der fibrösen Faserschicht, vornehmlich im Bereich der Ringbänder, wie bei der Tenosynovitis de Quervain [63]. Für Erkrankungen, die mehr im Bereich der Sehneninsertion am Knochen, z.B. der „Tennisellenbogen“, lokalisiert sind, werden bisher kleine Einrisse der kollagenen Fasern an diesem Übergang nur postuliert. Laut *Nirschl* deckten allerdings die operativen Behandlungen von medialer oder lateraler Epikondylitis im Bereich der Sehne grüliches, ödematös bröckelig verändertes

Gewebe auf [64]. Mikroverzerrungen lösen also vermutlich wieder entzündliche Prozesse aus. Dass Knochenvorsprünge, an denen auf relativ kleiner Fläche und mit Richtungswechsel viele Muskeln ansetzen, Orte herabgesetzten Widerstandes darstellen, erscheint plausibel, zumal in diesen Bereichen auch Faserknorpelbildungen in menschlichen Sehnen nachgewiesen worden sind [61]. Zudem finden sich bei Patienten mit lateraler Epikondylitis in 20 % der Fälle knöcherne Auswüchse im Bereich des Sehnenansatzes als Reaktion auf unphysiologische Kraftübertragung [64].

Ähnlich ambivalent wie die Rolle des Kaliums in der Pathophysiologie des Muskels, das einerseits Schutzmechanismen auslöst, aber auch weitere schädigende Muskelreaktionen unterhält, sind entzündliche Prozesse zunächst als sinnvolle Reaktionen des Körpers auf schädigende Einflüsse anzusehen. Ob sie zur Reparation führen oder chronifizieren, hängt von der Beseitigung bzw. Persistenz des schädigenden Einflusses ab.

Gelenke

Die heute als allgemeine Lehrmeinung akzeptierten Vorstellungen zur Arthroseentstehung gehen von einer Schädigung des Gelenkknorpels und/oder einer Irritation der Synovia aus, die eine weitere Reaktions-

kaskade auslöst. In letzter Konsequenz nimmt der Gelenkknorpel an Schichtdicke ab bzw. verschwindet gar vollkommen. Da in diesem Fall die Druck verteilende Wirkung des Knorpels vermindert oder aufgehoben ist, kommt es zu unphysiologischen Belastungen des Knochens. Dieser reagiert mit Umbauvorgängen, die der Abstützung dienen und zuletzt zu einer Einsteifung des Gelenks führen. Als eine Ursache für die Knorpelschädigung gilt eine zu hohe Druckbelastung aller Gelenkareale wie z.B. durch Übergewicht. Eine mangelnde Belastung mit wechselnden Drucken, z.B. im Rahmen einer längeren Ruhigstellung, wirkt allerdings ebenfalls nachteilig auf die Knorpelernährung. Schließlich können auch nur einzelne Arealen der Gelenkfläche, z.B. durch Fehlstellungen der Gelenke (X-Beine), überlastet werden. Solche Bedingungen können unter Umständen ebenso durch schweres Heben, statische und ungünstige Körperhaltung in der Bewegung hergestellt werden. Der gemeinsame Wirkungsmechanismus dieser Ursachen ist der mangelnde Wachstumsanreiz bzw. die mangelnde Versorgung durch die Synovialflüssigkeit. Wird die Synovia gereizt, verändert sich auch ihr Produkt, die Synovialflüssigkeit, und dadurch kann die Ernährung des Knorpels ebenfalls beeinträchtigt werden. Dass Bewegung Einfluss auf die Zusammensetzung und Sekretion der Synovialflüssigkeit hat, zeigt der Bericht von *Schumacher*, der die bisherigen Erkennt-

nisse über diese Zusammenhänge darlegt [62].

Nerven

Nervenläsionen entstehen in erster Linie durch Druck. Der Druck wirkt blockierend auf die axonalen Flussmechanismen, wie sie oben beschrieben wurden, und folglich wird die Stoffwechselleistung beeinträchtigt. Diese Stoffwechselblockade ist schnell reversibel, wenn der Druck nur kurze Zeit auf den Nerv einwirkt. Jeder kennt diesen Vorgang als „eingeschlafenen Fuß“, wenn man längere Zeit ein Bein über das andere geschlagen hält. Ändert man die Sitzhaltung und gibt dadurch den eingeklemmten *N. peroneus* frei, normalisiert sich nach einer kurzen Zeit von Missempfindungen (Kribbeln, Ameisenlaufen) das Gefühl im Fuß wieder. Durch größeren länger anhaltenden Druck, der über Gewebswasseransammlungen und Erhöhung des Flüssigkeitsdrucks im Nerv dessen Kapillaren komprimiert, entstehen funktionelle Nervenschäden, die als Neurapraxia bezeichnet werden. Die Symptome ähneln der kurzzeitigen Stoffwechselblockade, bestehen aber über einen längeren Zeitraum. Sie beruhen auf einer lokalen Verletzung der Markscheide um ein intaktes Neuron. Ein starker Zug oder ein massiver Druck vermögen ernstere Verletzungen des Nervenstrangs auszulösen, die von einer Axonotmesis (Zerreißen der

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Nervenfasern bei intakter Neuralscheide) bis zu einem kompletten Kontinuitätsverlust eines Nervenstrangs reichen. Eine ausführliche Klassifizierung dieser Nervenschädigungen findet sich bei *Sunderland* [65]. Um die Bedeutung von Bewegung für die Druckerhöhung auf den Nerv zu erklären, sind die beiden erstgenannten Nervenläsionen, die durch geringeren Druck entstehen, wichtig. *Lundborg und Dahlin* geben einen Überblick über Untersuchungen, die sich mit der Wirkung von Nervenkompression beschäftigen. So finden sich Hinweise für bereits reduzierten Blutfluss in den kleinen Venen um die Nerven durch Kompressionsdrucke von 20 bis 30 mm Hg. Ein Rückstau mag zu einer Unterversorgung mit Sauerstoff führen und so den Funktionsausfall von Nervenfasern erklären. Auch Kapillarzellen können von dem Sauerstoffmangel betroffen werden und lassen die Gefäße durchlässig werden. Das entstehende Ödem in der Nervenfasern erhöht den Druck noch weiter. In Abhängigkeit vom Blutdruck kommt es bei einem Druck zwischen 60 und 80 mm Hg zum kompletten Stillstand des Blutflusses. Ein Druck um 50 mm Hg führt direkt zu einer erhöhten Durchlässigkeit der Gefäße mit Ödembildung. Der axonale Transport wird sowohl durch Deformierung der Fasern als auch durch die verminderte Blutversorgung behindert – und dies bereits ebenfalls ab Druckwerten von 30 mm Hg. Verstärkt werden diese Effekte, wenn ein Nervenstrang an

zwei anatomischen Engstellen eingeklemmt wird. Dieses Phänomen bezeichnet man als *double crush* [66]. Studien von *Gelbermann* belegen, dass Druckwerte in der beschriebenen notwendigen Höhe durchaus bei Patienten mit Karpaltunnelsyndrom vorliegen. Der Karpaltunnel stellt eine anatomische Engstelle dar, an welcher der Nerv dem Druck nicht ausweichen kann, sondern gegen eine harte Unterlage, nämlich die Handwurzelknochen, gepresst wird. Handgelenksbeugungen und -streckungen erhöhen den Druck im Karpaltunnel und geben Hinweise auf bewegungsbedingte Druckerhöhungen [67]. Oft nachvollziehbar wird diese Druckerhöhung bei der Prüfung des „Phalen-Zeichens“ bei Patienten mit Karpaltunnelsyndrom. Bei Handgelenksbeugung werden Schmerzen bzw. Taubheitsgefühle provoziert oder verstärkt [68]. Eine mögliche Erklärung für den halbtagsbedingten Druckanstieg geben *Keir und Bach* in ihrer Arbeit an Leichenhänden, durch die sie das Hineinziehen des oberflächlichen Fingerbeugemuskels in den Karpaltunnel bei Streckung des Handgelenks nachzuweisen versuchten [69]. Allgemein gilt, dass an der jeweiligen anatomischen Engstelle, an der ein Nerv eingeklemmt werden kann, die umgebenden Weichteile und ihre bewegungsabhängigen Belastungsfaktoren mit in Betracht gezogen werden müssen, da ihre Volumenänderung durch Kontraktion, Spannung, Schwellung oder entzündliche Prozesse den Druck auf den Nerven erhöhen

können. Hierzu liefern die Arbeiten von *Rempel et al.* und *Keir et al.* wichtige Hinweise. In der erstgenannten Studie wurden die Karpaltunneldrucke bei verschiedenen Druckkräften (0, 6, 9 und 12 N), die durch den Zeigefinger ausgelöst wurden, gemessen. Diese zeigten einen signifikanten, zu den Druckkräften korrelierenden Anstieg [70]. In der zweiten Studie wurde der Nachweis erbracht, dass der Karpaltunneldruck durch die Anwendung eines Pinzettengriffs (Beugung und Druck zweier Finger gegeneinander) gegenüber einem einfachen Druck mit dem Zeigefinger bei gleichem Kraftaufwand beinahe um das Zweifache zunimmt [71].

Gefäße

Die Effekte auf das Gefäßsystem sind als Mitreaktionen schon erwähnt und die zentrale Rolle der Gefäß- und Kreislauffunktion für die Veränderungen an den einzelnen anatomischen Strukturen hervorgehoben worden. Auch wenn im Weiteren die bewegungsabhängigen Risikofaktoren im Mittelpunkt des Interesses stehen, soll auch erwähnt werden, dass Umgebungsbedingungen wie Vibration, Hitze, Kälte und äußerer Druck ebenfalls durch Veränderungen der Blutversorgung schädliche Wirkungen entfalten [72; 73]. Bei Vibrationen kommt es neben der direkten mechanischen Schädigung der Gefäße und Nerven auch zu Gefäßspasmen, die durch

die Irritation sympathischer Nervenfasern verursacht werden [74 bis 77]. Äußerer Druck wird vor allem durch nach ergonomischen Prinzipien unzureichend gestaltete Werkzeuge [78], die Benutzung der Hand selbst als Werkzeug oder durch Lastgewichtsdruck bei ungünstiger Lastenhandhabung hervorgerufen.

2.6 Risikofaktoren

2.6.1 Repetition

Der Begriff Repetition in Bezug auf eine Arbeitsaufgabe bezeichnet die wiederholte Durchführung ähnlicher Arbeitsabläufe, die durch die Abfolge mechanischer (technischer) Aktionen charakterisiert werden können. Im Zusammenhang mit AMSE-OE bezieht sich die Ausführung der mechanischen (technischen) Aktionen auf die Muskelkontraktion und die Bewegungen der Schulter, des Armes, der Hand und/oder der Finger, teilweise auch des Kopfes sowie der Hals- und Brustwirbelsäule. Dass Repetitivität als besonders bedeutungsvoller Risikofaktor gilt, wird durch die häufig verwendete Sammelbezeichnung RSI für die zu betrachtenden Syndrome deutlich [79].

Bei Einigkeit über die notwendige Betrachtung und Beurteilung der Repetitivität einer Arbeit bleibt jedoch die Schwierigkeit, die

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

einzelnen Arbeiten anhand der offen gehaltenen Definition der Repetition als repetitiv einzuordnen, zu quantifizieren und eine Risikoabschätzung vorzunehmen. Um die wiederholte Ausführung über einen Zeitraum der o.g. Beschreibung von Repetition zu erfüllen, fordert das mit den muskuloskelettalen Erkrankungen befasste Komitee der International Ergonomics Association (IEA) eine 60 Minuten andauernde Tätigkeit. Laut *Kilbom* besteht allerdings kein Konsens darüber, wann Arbeitsabläufe als ähnlich einzustufen sind [80]. In dieser Literaturstelle finden sich mehrere Kriterienvorschläge zur Charakterisierung „ähnlicher“ Arbeitsabläufe wie z.B. vergleichbare Arbeitsergebnisse, gleicher Zeitbedarf, geringe Unterschiede der auf-

gewandten Kraft und/oder des benutzten Bewegungsraumes. In der Literaturübersicht, die argumentative Grundlagen zum Teil I der Arbeit von *Kilbom* liefert, verweist sie auf mannigfaltige Angaben zur Dauer von Arbeitsabläufen, die eine Arbeit als repetitiv erkennen lassen [81] (siehe Tabelle 5).

Eine häufig angewandte Abgrenzung hoch repetitiver Arbeit gegenüber gering repetitiver geht auf *Silverstein et al.* zurück [82]. Danach liegt Repetition als Risikofaktor bei Zyklusdauern von < 30 s oder bei Arbeitszyklen beliebiger Dauer, in denen jedoch 50 % der Zeit durch einen sogenannten fundamentalen Arbeitszyklus ausgefüllt sind, vor. Für eine allgemeine, die obere Extremität

Tabelle 5:
Definition repetitiver Arbeit in der Literatur (modifiziert nach *Kilbom*) [81]

Autor	Zyklusdauer	Bemerkungen
<i>Huppel</i> , 1992	< 30 s	sehr kurzzyklisch
<i>Konz</i> , 1990	< 30 s	fundamentaler Arbeitszyklus
<i>Kuorinka und Koskinen</i> , 1979	2 bis 9 s 7 bis 26 s	kurzzyklisch langzyklisch
<i>Laurig</i> , in <i>Luczak</i> , 1983	< 4 s	einseitig dynamische Muskelarbeit
<i>Rodgers</i> , 1986	< 30 s < 2 min	hoch repetitiv repetitiv

einbeziehende Tätigkeit scheint diese Dichotomisierung der Repetition brauchbar.

Andere Arbeiten präferieren jedoch die Angabe der in einer Gelenkregion durchgeführten Bewegungen/Zeit (Frequenz), die über direkte und/oder Videobeobachtungen gezählt werden, gegenüber der Arbeitszyklusdauer als Maß für die Repetition [83]. Auch hier findet man bei *Kilbom* eine Zusammenstellung von Daten aus der Literatur (Tabelle 6). Die für eine Gelenkregion angegebenen Häufigkeiten von Bewegungen bzw. Kontraktionen pro Minute dienen der Einschätzung darüber, ob die repetitive Arbeit mit einem hohen Risiko verbunden ist.

Als ein schnell erfassbares und exaktes Maß gibt eine schwedische Arbeitsgruppe die mean power frequency (MPF) an, die durch

kontinuierliche Handgelenkwinkel-Aufzeichnung mittels Elektrogoniometer und deren computerunterstützte Spektralanalyse gewonnen wird [84].

Die Arbeit von *Moore und Garg* zur Bildung des sogenannten Strain Index, der zur Analyse einer Tätigkeit auf Risikofaktoren für Muskel-Skelett-Erkrankungen der distalen oberen Extremität entwickelt wurde, legt mehr Gewicht auf die Intensität des Kraftaufwandes. Sie gründen diese Vorgehensweise auf biomechanische Betrachtungen und Erklärungen von Pathomechanismen, die zu verschiedenen Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems der distalen oberen Extremität führen. Die Repetition wird hier als Anstrengungen pro Minute gemessen. Auf diese Art sind im Strain Index die Faktoren Kraftaufwand und Repetition implizit miteinander verbunden [85].

Tabelle 6:
Empfehlungen zur Einschätzung „hohes Risiko“ bei repetitiver Arbeit (modifiziert nach *Kilbom* [80; 81])

Körperregion	Frequenz der Bewegungen/Kontraktionen
Schulter	> 2,5/min
Oberarm/Ellenbogen	> 10/min
Unterarm/Handgelenk	> 10/min
Finger	> 200/min

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

In der Frage, wie Repetition als Risikofaktor für AMSE-OE quantifiziert und eingeschätzt werden sollte, muss also die Betrachtung des vermuteten Pathomechanismus eingeschlossen werden.

Der Faktor der repetitiven Belastungen wurde u.a. von der Arbeitsgruppe um *Strasser* mithilfe elektromyografischer Messmethoden untersucht. In Laborversuchen konnten *Müller und Strasser* bei simultanen Messungen von elektrischen Muskelaktivitäten und Bewegungsaufzeichnungen mit Ultraschalltopometern eine positive Korrelation zwischen der Tätigkeitsfrequenz und dem Ausmaß der statischen Muskelaktivität im Bereich der an der Bewegung beteiligten Muskeln messen. Bei zunehmender Zahl der Bewegungen/Minute ließ sich bei der Elektromyografie (EMG) eine zunehmende statische Komponente der elektrischen Aktivität nachweisen [86]. Auch die *Arbeit von Søgaard* zeigt anhand von elektromyografischen Untersuchungen, dass bei einer Bewegung sowohl bei der konzentrischen als auch bei der exzentrischen Kontraktion gleiche motorische Einheiten aktiviert sind; d.h., der Wechsel zwischen den Kontraktionsformen ist nicht gleichbedeutend mit einer Ruhephase für einen Muskel. Durch die stereotypen Rekrutierungsmuster kommt es sogar wie bei der statischen Muskelarbeit entsprechend der „Cinderella-Hypothese“ zu einer Überlastung einiger weniger Muskelfasern [87]. Dass der oben beschriebene

neurophysiologische Mechanismus, durch den bei lokaler Muskelermüdung weitere Kontraktionen im Muskel ausgelöst werden (siehe Seite 52 [52]), auch für repetitive Tätigkeiten angenommen werden kann, legen die empirischen Studien von *Elerit* nahe [88]. Diese zeigen eine partielle Unfähigkeit zur Entspannung in den Entspannungsphasen wiederholter Armelevationen bei Patienten mit Myalgien in der Schulterregion. Als weiterer Beleg für diese Thesen gelten Ergebnisse einer Muskelbiopsiestudie [89]. Untersucht wurde in einer Fall-Kontroll-Studie der *M. interosseus dorsalis I* der Hand. Bei den Patienten, bei denen ein schmerzhaftes chronisches Überanstrengungssyndrom diagnostiziert worden war, fanden sich im Gegensatz zu den Kontrollpersonen z.B. mit dem Schweregrad der Symptomatik ansteigende Anteile von Muskelfasern vom Typ I, während sich der Anteil an Muskelfasern vom Typ II reduzierte. Diese Beobachtungen zeigen, wie wichtig es ist, die Bewegungsrate für einzelne Abschnitte genauer zu erfassen.

Dass sich wiederholende Bewegungen in ihrer Wirkung auf die Sehnen addieren können, wird aus der Überlegung klar, dass die Sehnendurchblutung von der Muskelspannung abhängig ist. Wie schon beschrieben, nimmt die elektrische Aktivität durch wiederholte Bewegungen auch dauerhaft zu, führt zur anhaltenden Muskelanspannung und kann folglich die Durchblutung der

Sehnen vermindern. Mit anhaltender Spannung der Muskulatur ist auch die Sehne ständig einem Zug ausgesetzt, der deren viskoelastischen Eigenschaften überbeanspruchen kann. *Goldstein et al.* kamen bereits durch ihre Studien an Fingerbeugersehnen von Leichenhänden zu dem Schluss, dass Sehnen durch wiederholte Bewegungen einer sich akkumulierenden Zugbelastung ausgesetzt sind, wodurch die Kapazität der elastischen und viskosen Bauelemente der Sehne überschritten wird [90]. Der Erhalt dieser Eigenschaften ist jedoch wichtig für die reguläre Kraftübertragung vom Muskel auf den Knochen. Die Zahl der Bewegungen gibt an, wie oft die Sehnen der Friktion ausgesetzt sind.

Die Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung einer Bewegung zu erfassen, um ihr Risikopotenzial abzuschätzen, erscheint sinnvoll, denn je schneller eine Bewegung ausgeführt wird, um so eher wird die Reaktionsfähigkeit des neuromuskulären Regelkreises an ihre Grenzen geführt und geringfügige Störeinflüsse können dann die physiologische Steuerung einer Bewegung außer Kraft setzen. Dadurch ist die Überlastung der passiven Strukturen des Bewegungsapparates möglich. Epidemiologische Hinweise für die Risikoerhöhung durch die Geschwindigkeit/Beschleunigung ergeben sich aus einer Fall-Kontroll-Studie von *Marras und Schoenmarklin* bzw. *Arvidsen et al.* [91; 92].

Marras und Schoenmarklin konnten erst durch die Bestimmung der Geschwindigkeit und Beschleunigung der Bewegungen Probandengruppen mit niedrigem und hohem Risiko unterscheiden. Im Muskel selbst wurden in Tierexperimenten histologische Veränderungen der Muskelfaserstrukturen gefunden, die nach 30 Minuten langer, rascher, exzentrischer, repetitiver Bewegung auftraten [93].

Wie die Darstellungen bis hierher zeigen, führt repetitive Bewegung nicht nur zu einer stetigen Belastung von Muskeln und Sehnen. Vielmehr kann auch durch diese Gewebe relativ gleichmäßig ein erhöhter Druck auf das umliegende Gewebe respektive die Nerven ausgeübt werden.

Um die Repetition als zeitliche Dimension einer Bewegung möglichst exakt beschreiben zu können, sollten die Zahl der Aktionen, vorrangig gesondert für die einzelnen Gelenkregionen, und die Geschwindigkeit/Beschleunigung der einzelnen Aktionen quantifiziert werden können. Darüber hinaus sollte die Gesamtdauer der repetitiven Tätigkeit in Bezug auf einen Arbeitstag oder eine Arbeitsschicht dokumentiert werden. In diese Beurteilung fließt auch die Arbeitsorganisation hinsichtlich Pausenzeiten ein. Die Empfehlung von *Occhipinti und Colombini*, nach einer Stunde repetitiver Tätigkeit ca. fünf bis zehn Minuten Pause einzuräumen, fußt mehr

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

auf Annahmen als auf arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen [94]. Hagberg konnte jedoch bereits nach einer Stunde wiederholter Armhebung mit einer Frequenz von 15/min Symptome und Zeichen einer Sehnenentzündung im *M. biceps* provozieren [95]. Kürzlich veröffentlichten Gorelick, Brown und Groeller eine Studie über Effekte kurzzeitiger Ermüdung der Rückenmuskulatur, die durch zwei verschiedene Übungsprotokolle hervorgerufen wurde. Das eine erzeugte durch Vorbeugen und Aufrichten des Oberkörpers eine spezifische Ermüdung der Rückenmuskulatur, während das andere eine allgemeine Ermüdung der Rücken- und Extremitätenmuskulatur durch Rudern hervorrief. Durch elektromyografische Technik erhobene Befunde vor und nach der ermüdenden Tätigkeit stellten sich signifikante Unterschiede in der Muskelaktivierung heraus. Nach Meinung der Autoren führt die spezifische Ermüdung der Rückenmuskulatur zu einer Veränderung der neuromuskulären Koordination durch veränderte Aktivierungsmuster. Sie schlussfolgern, dass dadurch die Wirbelsäule verletzungsanfälliger wird (vergleiche Kurma [55]), besonders auch durch die geringe Wahrnehmung einer allgemeinen Müdigkeit durch die Probanden, welche sie die Bewegungen fortführen lässt. Daher betonen die Autoren die dringende Notwendigkeit, die Dauer einer repetitiven Tätigkeit bis zu einer Pause für einzelne Muskel-

gruppen bei der Risikoeinschätzung mitzuerfassen [96].

2.6.2 Statische Belastung

Im Gegensatz zur Repetition, die mit mehr oder weniger deutlich sichtbarer Bewegung einhergeht, bezeichnet die statische Belastung ein Verharren in einer Position bei gleich bleibendem oder gering veränderlichem Kraftniveau. Ab welcher Dauer des Verharrens in einer Position von einer statischen Belastung zu sprechen ist, variiert in der Literatur von > 4 s über > 20 s bis zu 1 min bzw. als prozentualer Zeitanteil am Arbeitszyklus [97 bis 99].

Diese unterschiedlichen Angaben lassen sich wiederum nur daraus erklären, dass die sich aus der statischen Belastung ergebenden Beanspruchungen im Bezug zur beurteilten anatomischen Struktur und Gelenkregion gesehen werden müssen. So ist das Auftreten einer Muskelermüdung durch statische Belastung z.B. abhängig von der Gelenkstellung und der aufgewendeten Kraft [100; 101]. Auf Nerven kann durch die anhaltende Muskelkontraktion Druck ausgeübt werden. Für den Gelenkknorpel bedeutet das Verharren in einer Position eine Minderversorgung aufgrund der mangelnden Durchwalkung der Gelenkschmiere an entsprechenden Stellen (siehe

Abschnitt 2.3.3, Seite 21). Für die Annahme des kürzesten Zeitintervalls bei der Einschätzung als statische Belastung sprechen verschiedene Hypothesen zur Risikoerhöhung, wie die von Hägg propagierte „Cinderella-Hypothese“: Danach werden bei statischen Haltungen, die insgesamt eine geringe Belastung darstellen, immer wieder die gleichen motorischen Einheiten mit der niedrigsten Reizschwelle aktiviert und dadurch ermüdet [100]. Byström *et al.* untersuchten verschiedene Übungsprotokolle isometrischer Handgriffübungen mit gleich geschätztem Kraftaufwand von 25 % der maximalen willentlichen Kontraktion in Bezug auf verschiedene Parameter (Herzschlagrate, Blutdruck, Blutflussmessung, Konzentrationen von Kalium und Lactat im Venenblut und elektrophysiologische Untersuchungen) der Erholung. Dabei ergab sich für die intermittierende Kontraktion mit 10 s Pause alle drei Minuten gegenüber einer anhaltenden Kontraktion ohne Pause zwar eine längere Ausdauerzeit, aber die gemessenen Parameter ließen auch auf eine deutlich längere Erholungszeit schließen. Auf der Grundlage dieser Beobachtungen formulierten die Autoren den Verdacht, dass verhältnismäßig kurze Pausen (zehn Sekunden) in einem langzyklischen Vorgang (drei Minuten) nur die Schwelle des Ermüdungsempfindens verändern und daher das Risiko von Muskel-Skelett-Erkrankungen erhöhen [102].

2.6.3 Ungünstige Haltungen und Bewegungen

Wie bereits in Abschnitt 2.3 beschrieben bedeuten Abweichungen der Gelenkstellung von der Neutral-Null-Position hin zu den maximalen Winkelgraden Belastungen für die passiven Strukturen der Gelenke (Bänder, Gelenkkapsel) sowie die ihrer Umgebung. Exemplarisch sei hier nochmals die Druckerhöhung im Karpaltunnel durch Extension bzw. Flexion im Handgelenk erwähnt, die zu einer Belastung des *N. medianus* führt. Solch ein Beispiel rechtfertigt die Beurteilung der Stellung eines isolierten Gelenks. Drury schlägt in seinem Beitrag zur biomechanischen Evaluation des Verletzungsrisikos durch repetitive Bewegungen in industriellen Tätigkeiten eine Einstufung der Gelenkstellungen nach der auf das Bewegungsausmaß bezogenen prozentualen Abweichung von der Neutral-Null-Stellung vor [103]. Allerdings bleibt die Dichotomisierung der Gelenkwinkel als ergonomisch günstig oder ungünstig allein auf der Basis der anatomisch-physiologisch vorbestimmten Möglichkeiten des Gelenks problematisch, betrachtet man Bewegungen. Im Rahmen von Bewegungen verändern sich auch die Gelenkwinkel in benachbarten Gelenken, die bei der Bestimmung der Bewegungsmöglichkeiten durch die Neutral-Null-Methode definitionsgemäß nicht berücksichtigt werden. Die Gelenkstellungen benachbarter Gelenke beeinflussen

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

sich durch Muskeln, die über beide Gelenke hinweg ziehen und Funktionen haben. Dieser Zusammenhang wird ersichtlich durch die von jedermann nachvollziehbare Erfahrung, dass die Beugung im Hüftgelenk durch gleichzeitige Beugung im Kniegelenk erleichtert werden kann. Um diesen Sachverhalt bei der Bestimmung sogenannter „Komfortwinkel“ zu berücksichtigen, führten *Babirac et al.* Bewegungs- bzw. Haltungsanalysen für verschiedene Arbeitsplatzgruppen durch [104]. Ausgehend von einem Leitwinkel innerhalb einer Haltung oder Bewegung, der nach der Definition der Untersucher den größten Einfluss auf den betrachteten Vorgang hat, wurden die als biomechanisch korrekt erachteten Gelenkwinkel in den abhängigen beteiligten Gelenken dreidimensional als „Komfortwinkel“ bestimmt. Andere Untersucherguppen validierten Bewegungsabläufe unter der Hypothese, dass ungünstige Haltungen bzw. Bewegungen mit höherer muskulärer Belastung einhergehen. Die auftretende Belastung wurde je nach arbeitswissenschaftlichem Ansatz durch den Sauerstoffverbrauch, die Pulsfrequenz, die selbst eingeschätzte Ermüdung oder durch EMG-Untersuchungen gemessen und danach wurden die durchgeführten Bewegungen bewertet. So analysierten *Strasser et al.* mittels elektromyografischer Untersuchungen horizontale Umsetzbewegungen des Hand-Arm-Systems, um günstige Bewegungen für die ergonomische Arbeitsgestaltung zu ermitteln [105].

Aus Bewegungsrichtungen, die nach diesen Befunden als günstig eingestuft werden konnten, sollte auf günstige Gelenkwinkel geschlossen werden können.

Die von *McAtamney und Corlett* entwickelte Beobachtungsmethode „RULA“ für die ergonomische Untersuchung von Arbeitsplätzen, an denen AMSE-OE berichtet wurden, beruht in erster Hinsicht auf der Beschreibung der Arbeitshaltung [99]. Basierend auf der Auswertung verschiedener Literaturangaben zur Bewertung von Gelenkstellungen werden Winkelwerten für einzelne Bewegungen in einem Gelenk Punktwerte zugeordnet. Jeweils getrennt für die Körperabschnitte „Arme und Handgelenk“ sowie „Nacken, Rumpf und Beine“ werden über verknüpfende Punktetabellen Haltungsbewertungen ermittelt. Dadurch wird mittelbar der gegenseitigen Beeinflussung der Gelenkstellung benachbarter Gelenke Rechnung getragen. Diese Haltungsbewertungen werden anschließend getrennt für die genannten Körperabschnitte durch Punkte für Muskeleinsatz und Kraftaufwand/Belastungsgewicht ergänzt, bevor sie zu einer Gesamt-Belastungsbewertung zusammengeführt werden.

Unberücksichtigt bleiben bei der Methode jedoch die Stellungen/Bewegungen der Finger als benachbarte Gelenke zum Handgelenk. Im OCRA-Index finden diese Berücksichtigung durch die Beurteilung nach der

Griff bzw. Bewegungsart [106]. Verschiedene Studien von *Keir et al.* unterstützen diese Beurteilung [71; 107 bis 109].

2.6.4 Kraftaufwendungen

Die aufgewendete Kraft beeinflusst ebenfalls die tatsächliche Belastung durch eine Bewegung oder Haltung. Ein erhöhter Kraftaufwand verändert die Auslösung von Ermüdung in der Muskulatur. Je mehr Kraft für eine Bewegung benötigt wird, desto weniger kann diese durch die Muskelführung kontrolliert ausgeführt werden. Dieser Umstand erhöht das Verletzungsrisiko. Allerdings kann aus Gründen der Muskelphysiologie bzw. Mechanik eine Kraft erfordernde Aufgabe nicht so schnell ausgeführt werden wie eine ohne Krafteinsatz, sodass aufgrund der Bewegungsgeschwindigkeit das Risiko gemindert wird.

Zur Messung der Kraft werden Dynamometer verwendet, die jedoch nicht bei allen Arbeitsaufgaben einsetzbar sind. Besonders geeignet sind sie, wenn bei der Aufgabe Hebel, Maschinenkomponenten oder Objekte benutzt werden. In der Literatur werden daher zur Abschätzung des Kraftaufwandes auch folgende Möglichkeiten angegeben: Bei *Silverstein et al.* und *Kilbom* findet sich die Empfehlung zur Dichotomisierung nach geschätzten Belastungen [80 bis 82; 110;

111]. Als Schätzmaß wird die Belastung durch das Gewicht einer manuell zu handhabenden Last angegeben; dabei bedeutet < 1 kg Lastgewicht einen geringen und > 4 kg einen hohen Kraftaufwand. Diese Einteilung diente bei *Silverstein* speziell zur Expositionserfassung in Studien (siehe oben) zum Karpaltunnelsyndrom und demnach bei dynamischen Bewegungen der Hand.

Bei Bewegungen der oberen Extremität treten jedoch auch statische bzw. intermittierend statische Belastungen auf, die zu einer Muskelermüdung führen können, für die eine Abschätzung und Bewertung des Kraftaufwandes erfolgen sollte. Zu diesem Zweck wird die EMG-Aktivität, die als prozentualer Wert einer Aktivität bei maximaler willentlicher Kontraktion angegeben wird (% MVC¹⁾), durch Oberflächenelektroden über ausgesuchten Muskeln gemessen. *Rohmert* hat in seinen Arbeiten als Dauerleistungsgrenzwert eines Muskels während einer anhaltenden statischen Kontraktion 15 % MVC ermittelt, wobei der Dauerleistungsgrenzwert als die größtmögliche Kraft, die ohne Kraftminderung für eine „unbegrenzte“ Zeit aufrecht erhalten werden kann, definiert ist [112 bis 114]. Zwar konnte der von *Rohmert* beschriebene exponentielle Zusammenhang zwischen der maxi-

¹⁾ MVC = maximal voluntary contraction

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

malen Haltezeit und der Kontraktionskraft während einer statischen Kontraktion unter anderem durch Arbeiten von *Björkstén und Jonsson* bestätigt werden, jedoch zeigten sie auch, dass bei einstündiger statischer Kontraktion die Dauerleistungsgrenze auf 8 % MVC herabgesetzt ist. Für intermittierende statische Kontraktionen, die auch bei repetitiven Tätigkeiten vorkommen, ermittelten dieselben Autoren die Dauerleistungsgrenze mit 14 % MVC [115]. *Jonsson* rät zur Einhaltung von 5 % MVC für die statische Muskelbelastung durch Arbeitsaufgaben von langer Dauer [116]. *Sjøgaard et al.* zeigten, dass Muskelermüdung bereits nach einstündiger statischer Belastung mit 5 % MVC auftritt [117]. Eine Studie von *Aarås* rät sogar, die statische Belastung des *M. trapezius* bei längeren Arbeitsabschnitten durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen auf unter 1 % MVC zu senken, um die Inzidenz von Muskel-Skelett-Erkrankungen zu verringern [118].

Als weitere Möglichkeit, den Kraftaufwand während einer Tätigkeit zu beurteilen, wird eine psychophysikalische Methode benutzt [107]. Hierbei wird der empfundene Kraft Einsatz (RPE 0 = rating of perceived exertion) durch den Probanden selbst oder durch einen erfahrenen Untersucher auf einer Skala (z.B. *Borgs* CR-10-Skala [119]) eingestuft.

Grant et al. veröffentlichten 1994 eine Studie, die Methoden zur Bewertung des

Kraftaufwandes im Vergleich abwägt. Dabei korrelierten die EMG-Messungen und die Einstufungen des empfundenen Kraftaufwandes (RPE mittels *Borgs* CR-10-Skala) gleich gut mit der gemessenen Griffkraft [120]. RPE schien eine bessere Beurteilung der Kraft in komplexen Arbeitsaufgaben zu erlauben. Aus den Ergebnissen schlussfolgern *Grant et al.*, dass diese Methode durch die leichte Anwendbarkeit des RPE eine breitere Anwendung in ergonomischen Studien finden wird.

2.6.5 Zusätzliche Risikofaktoren

Als weitere Risikofaktoren, die auf das Bewegungsverhalten oder direkt auf das Muskel-Skelett-System einwirken, werden Arbeitsbedingungen bzw. Umgebungsfaktoren, z.B. Hitze, Kälte, das Tragen von Handschuhen sowie die Handhabung von vibrierenden Arbeitsgeräten, Werkzeugen und/oder Werkstücken oder Ausrüstungen, die Hautkompression verursachen, genannt (vgl. Abschnitt 2.4, Seite 41). *Colombini et al.* beziehen solche Faktoren in die Gesamtbewertung des Risikos, an AMSE-OE zu erkranken, in semiquantitativer Form mit ein, da quantifizierte Angaben zu diesen Faktoren in der Literatur fehlen [121]. Die Berücksichtigung des Risikofaktors Vibration in Bezug auf das Hand-Arm-Vibrations-Syndrom sprengt allerdings den Rahmen dieses Reports, da es als eigenständiges Krankheits-

bild einen großen Raum in der arbeitswissenschaftlichen und arbeitsmedizinischen Literatur einnimmt und in eigenen Richtlinien und Normen behandelt wird [122 bis 130].

2.6.6 Kombinationswirkungen und Ansätze der Beurteilung

Die ausführliche Darstellung der epidemiologisch vermuteten Risikofaktoren und ihrer biomechanisch-pathogenetischen Relevanz für die Entstehung von AMSE-OE im Einzelnen hat bereits Hinweise darauf geliefert, dass sich die Risikofaktoren in ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen. Beispielsweise wird die Ausführungsfrequenz einer Bewegung in hohem Maße von der erforderlichen Kraft mitbestimmt, sodass die gleiche Bewegung bei größerem Kraftaufwand bis zu einer auftretenden Ermüdung nur seltener ausgeführt werden kann. Werden Bewegungen bzw. Kraftaufwendungen in Gelenkstellungen deutlich jenseits der Neutralstellung erforderlich, steigen die Belastungen sowohl für die aktiven als auch für die passiven Strukturen des Bewegungsapparates. Ähnlich dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept für das Heben und Tragen von Lasten nach *Bongwald et al.* formulieren *Armstrong et al.* diesen Zusammenhang für AMSE-OE [46; 58]. Das Modell in Abbildung 10 wird dabei um die Rückwirkung einer Dosisantwort (individuelle Auswirkung) verstärkender oder ver-

mindernder Art auf die Beanspruchung durch nachfolgende Expositionen bzw. die Kapazität des Organismus, auf diese zu reagieren, erweitert. Um diese allgemeine Aussage zu veranschaulichen, soll hier ein konkretes Beispiel gegeben werden. *Keir et al.* untersuchten die Druckerhöhung im Karpaltunnel, die als der pathogenetisch wichtige Faktor des Karpaltunnelsyndroms (Beanspruchung des *N. medianus*) angesehen wird, in Abhängigkeit von der Gelenkstellung und der Muskelbelastung. Im Rahmen der alleinigen Belastung durch die Handgelenksstellung ergab sich der höchste gemessene Druck in der Streckung handrückenwärts. Muskelanspannungen des *M. palmaris longus* verstärkten die Druckbelastung auf den *N. medianus* in dieser Stellung, während die Kontraktion der Fingerbeuger bei gleichzeitiger Beugung des Handgelenks handflächenwärts zu Erhöhungen des Karpaltunneldrucks führte [131].

Um also eine verknüpfende Gefährdungsbeurteilung zu erzielen, ist ein Bewertungskonzept, das die Wechselbeziehungen zwischen den Risikofaktoren einbezieht, erforderlich. So entwickelten *Moore und Garg* den „Strain Index“ zur Evaluierung von Tätigkeiten im Hinblick auf die Gefährdung der distalen oberen Extremität [85]. Die Parameter Intensität des Kraftaufwandes (leicht bis beinahe maximal), Dauer des Kraftaufwandes (% der Zyklusdauer), Anstren-

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

gungen/Minute (Frequenz als Maß der Repetitivität), Hand/Handgelenk-Position (sehr gut bis sehr schlecht), Arbeitsgeschwindigkeit (sehr langsam bis sehr schnell) und Dauer der Tätigkeit/Tag (Stunden) werden nach ihren durch Beobachtung ermittelten Werten auf einer Skala von 1 bis 5 eingestuft. Entsprechend dieser Einstufung erhalten die einzelnen Parameter Multiplikatoren, die schließlich in die Gleichung zur Berechnung des „Strain Index (SI) Score“ eingesetzt werden. Dieser berechnet sich aus dem Produkt der sechs Multiplikatoren. Ein SI-Score < 5 konnte in ersten Anwendungstests als Grenzwert zwischen sicheren und gefährdenden Tätigkeiten für ein Auftreten von AMSE der distalen oberen Extremität nachgewiesen werden.

Die von der American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) erarbeiteten Hand Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLVs) beziehen sich ebenfalls auf diese Körperregion [132]. Die Grenzwerte lassen sich aus einem Diagramm ablesen, in dem die normalisierten Spitzenwerte der durch die Hand erbrachten Kraft gegen die Handaktivität aufgetragen sind. Die Repetition wird durch die Einstufung auf der Hand-Activity-Level-Skala von 0 bis 10 charakterisiert. Zur Bestimmung der normalisierten Spitzenkraft der Hand werden verschiedene Methoden eingesetzt: Einstufung durch Arbeiter, Einstufung durch Beobachter,

biomechanische Analyse, Kraftmesser oder Elektromyografie. Liegen weitere arbeitsbezogene Faktoren wie anhaltende nicht-neutrale Gelenkpositionen (Flexion/Extension und/oder Radial-/Ulnardeviation im Handgelenk, Pronation/Supination), Zug oder Druck von außen, niedrige Temperaturen und Vibration vor, fordern die Verfasser der HAL TLVs ein professionelles Urteil bei der Herabsetzung der Exposition unter die empfohlenen Grenzwerte.

Tanaka und McGohtlin entwickelten ein konzeptionelles quantitatives Modell speziell für das Karpaltunnelsyndrom [133]. Da dieses Modell auf der Annahme basiert, dass dem Karpaltunnelsyndrom eine lokale Sehenscheidenentzündung vorhergeht, schließt es dieses Krankheitsbild mit ein. Nach diesem Modell ergibt sich das Expositionslimit für manuelle Aufgaben aus dem Produkt einer Konstanten, der internen muskuloskelettalen Kraft, die im Bereich der Finger, der Hand, des Handgelenks und des Unterarms während eines typischen Arbeitszyklus aufgewendet wird, der Anzahl von Wiederholungen eines Arbeitszyklus pro Zeiteinheit und der Basis des natürlichen Logarithmus potenziert mit einem Wert für die Handgelenkwinkel. Dabei ist jeder Faktor mit einem Koeffizienten versehen. Um endgültig zu definieren, welche Messwerte für die einzelnen Faktoren eingesetzt werden und wie die Koeffizienten anzusetzen sind, fordern die Autoren weitere

Forschungen und Sammlungen von Daten, um aus den Ergebnissen Grenzwerte zu bestimmen.

Quantifizierte Angaben macht das Risiko-beurteilungsmodell für die Entwicklung von AMSE-OE von *Seth et al.* [134]. Sie erfassen die Bewegungsfrequenz der Hand und den Kraftaufwand in einem wertenden Frequenzfaktor sowie grob erfasste Haltungen der oberen Extremität und bilden einen wertenden Haltungsfaktor, aus dem sie dann eine Gesamtbewertung ableiten. Gezählt werden die verschiedenen Greifaktionen eines Zyklus. Der Zyklus ist als die Zeit, die ein Arbeiter zur Herstellung einer Produktionseinheit in seiner spezifischen Aufgabe benötigt, definiert. Für die einzelnen Greifarten in Verbindung mit unterschiedlichen Handgelenks- und Unterarmpositionen werden Gleichungen zur Ermittlung des % MVC aufgestellt. Schließlich wird die gemessene und angepasste % MVC zu der erlaubten % MVC ins Verhältnis gesetzt. Die innerhalb eines Zyklus so ermittelten Werte für die verschiedenen Greifarten und Haltungen werden addiert, mit der Zahl der Zyklen multipliziert und schließlich durch 10 000 (Zahl der maximal erlaubten schädigenden Handbewegungen/Tag) dividiert. Für die grob erfassten Körperhaltungen – Rumpfneigung, Kopfneigung, Schulter-Flexion/Extension und Schulter-Adduktion/Abduktion sowie Ellenbogen-Flexion/Extension – wer-

den, bezogen auf die einzelnen Gelenkregionen, je nach Grad der Abweichung von der Neutralstellung, Punktwerte gesetzt. Diese Werte werden mit der zuvor aus Haltezeit, Ruhephase und Arbeitszeit pro Tag errechneten Ausdauerkapazität multipliziert und durch 50 geteilt. Der höchste so ermittelte Wert wird als wertender Haltungsfaktor zur Ermittlung des Gesamtwertes bei der Risikobewertung einer Arbeitsaufgabe benutzt. Dieser Wert ist nach den Untersuchungen von *Seth et al.* ein guter Vorhersagewert für die Inzidenzrate von AMSE-OE. Die Autoren schränken jedoch die Aussagefähigkeit auf Arbeiten mit Zyklusdauern von > 4 s ein, da sonst die Auszählung der beobachteten Handbewegungen zu schwierig und die Berechnung ungenau wird.

Die Arbeitsgruppe um *Occhipinti* entwickelte den OCRA-Index zur Bewertung des Risikopotenzials repetitiver Arbeiten für die gesamte obere Extremität [106]. Diese Methode basiert ebenfalls auf Beobachtung. Der OCRA-Index berechnet sich aus dem Verhältnis der tatsächlich während einer Arbeitsschicht ausgeführten technischen Aktionen zur Anzahl der empfohlenen technischen Aktionen während dieses Zeitraums. Erstere gewinnt man durch Auszählen im Rahmen direkter Beobachtung oder Videoauswertung. Um Letztere zu ermitteln, wird ein Referenzwert von 30 Aktionen/Minute mit ermittelten Faktoren für Kraft, Haltung und

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

zusätzlichen Risikofaktoren multipliziert. Zur zeitlichen Gewichtung erfolgt dann die Multiplikation mit der Dauer einer repetitiven Aufgabe in Minuten. Die Zahl der empfohlenen technischen Aktionen wird so für jede repetitive Aufgabe während einer Arbeitsschicht errechnet, sie werden summiert und mit dem Reduktionsfaktor für „mangelnde Erholungszeiten“ multipliziert. Zur Dokumentation der Bewegungs- und Aufgabenbeschreibungen liegen entsprechende Erfassungsbögen vor (siehe Abschnitt 2.7.7, Seite 87).

Auch hat die gleiche Arbeitsgruppe eine entsprechende Checkliste zur Risikobewertung repetitiver Bewegungen der oberen Extremität entwickelt (siehe Abschnitt 2.7.7).

2.7 Bewertungsverfahren

In diesem Abschnitt werden die Verfahren zur Beurteilung der Belastung durch repetitive Tätigkeiten, die in der weiteren Arbeit angewendet wurden, beschrieben. Zum einen handelt es sich um Beurteilungen der Einzelfaktoren Repetition, statische Belastung, ungünstige Haltungen und Bewegungen sowie Kraft, teilweise unter Berücksichtigung zusätzlicher Umgebungsfaktoren, und zum anderen um die integrierten Bewertungsverfahren RULA,

HAL TLVs und OCRA [80 bis 82; 97; 99; 103; 119; 121; 132; 135 bis 138].

2.7.1 Risikobewertung repetitiver Tätigkeiten nach *Kilbom*

Kilbom hat in einem zweiteiligen Artikel zur repetitiven Arbeit der oberen Extremität einen Leitfaden für Praktiker entworfen, der auf dem Review wissenschaftlicher Literatur aus den Gebieten der Biomechanik, Ergonomie, Arbeitsmedizin, Orthopädie, Rheumatologie und der Physiologie beruht [80; 81]. Hier finden sich aus der Literatur Richtwerte für die Anzahl von Bewegungen oder Kontraktionen in der Minute, aufgeschlüsselt nach Gelenkregionen, die eine hoch repetitive Tätigkeit und damit auch ein hohes Risiko kennzeichnen. Außerdem werden weitere Einflussfaktoren genannt, die durch ihr Vorhandensein ein hohes Risiko zu einem sehr hohen modifizieren. Tabelle 7 stellt diese Empfehlungen im Zusammenhang dar.

Um die Bewegungen oder Kontraktionen auszählen zu können, muss zunächst die Arbeit als repetitive Tätigkeit anhand der o.g. Kriterien nach *Silverstein* (siehe Abschnitt 2.6.1, Seite 57) identifiziert sein und sollte über eine Stunde pro Tag andauern. Nach Auszählen der Bewegungen oder Kontraktionen erfolgt die Risikozuordnung nach Tabelle 7. Abge-

Tabelle 7:
Empfehlungen zur Risikobewertung repetitiver Arbeit

Körperregion	Richtwerte für hohe Repetitivität (hohes Risiko); Frequenz der Bewegung oder der Kontraktion	Risikoerhöhung durch <i>einen</i> der folgenden Faktoren
Schulter	> 2,5/min	<input type="checkbox"/> hohe Kraftanforderung <input type="checkbox"/> hohe Geschwindigkeit <input type="checkbox"/> hohe Belastung durch statische Haltungen <input type="checkbox"/> extreme Haltungen <input type="checkbox"/> mangelndes Training <input type="checkbox"/> Monotonie <input type="checkbox"/> hohe Anforderung an Produktivität <input type="checkbox"/> mangelnde Arbeitskontrolle <input type="checkbox"/> lange Dauer der repetitiven Tätigkeit
Oberarm, Ellenbogen	> 10/min	
Unterarm, Handgelenk	> 10/min	
Finger	> 200/min	

stuft nach der Risikohöhe und der Art der zusätzlichen Belastungsfaktoren werden Ratschläge zur ergonomischen Intervention und Prävention gegeben.

Das Verfahren nach diesem Leitfaden scheint wenig Einarbeitungszeit zu verlangen. Die Repetitivität wird durch Auszählen der Bewegungen oder Kontraktionen für die verschiedenen Gelenkregionen gegenüber der Einteilung nach *Silverstein* präzisiert. Um diese Auszählung jedoch ohne apparativen Aufwand in reproduzierbarer Form zu gewährleisten, bedarf es sicherlich einiger Erfahrung

und Übung. Auch die einfache dichotome Einteilung der zusätzlichen Risikofaktoren, z.B. ob eine hohe Kraftanforderung vorhanden ist oder nicht, erfordert Erfahrungswissen des Praktikers, sodass letztlich ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersucher erschwert ist. So erhält man mit dieser Bewertungsmethode eine qualitative subjektive Abschätzung des Risikos einzelner Arbeitsabläufe. Eine Aussage über die Interaktion verschiedener repetitiver Tätigkeiten während einer Arbeitsschicht oder der verschiedenen Risikofaktoren untereinander wird nicht getroffen.

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

2.7.2 Bewertung des Risikofaktors „Statische Belastungen“

Zur Beurteilung der statischen Belastungen wird hier die Definition statischer Haltungen nach DIN EN 1005-1 herangezogen [97]: *„Statische Körperhaltung ist eine Körperhaltung, die länger als vier Sekunden eingehalten wird. Dies gilt für ein gleich bleibendes oder gering veränderliches Kraftniveau, das von den Muskeln oder anderen Körperstrukturen ausgeübt wird.“* Angewendet wird diese Definition auf Körperhaltungen, die außerhalb eines als neutral oder günstig anzusehenden Bewegungsbereichs liegen (siehe Abschnitt 2.7.3). In die Bewertung statischer Haltungen gehen darüber hinaus deren Dauer und Häufigkeit ein.

2.7.3 Bewertung des Risikofaktors „Ungünstige Haltungen und Bewegungen“

In der Literatur findet sich eine Reihe von Vorschlägen dafür, wie der physiologische Bewegungsraum eines Gelenkes oder einer Körperregion in Risikobereiche eingeteilt werden kann [103; 135; 136]. Die angegebenen Winkelwerte leiten sich von der Neutral-Null-Methode ab, bei der alle Gelenkbewegungen von einer einheitlich definierten Null-Stellung aus gemessen werden. Diese Neutral-Null-Stellung entspricht der Gelenkstellung, die ein gesunder Mensch im aufrechten Stand mit hängenden Armen,

nach vorn gehaltenen Daumen und parallel ausgerichteten Füßen sowie gerade nach vorne gerichtetem Blick einnehmen kann. 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 dem Bewegungsausmaß der jeweiligen Gelenke und der Referenzen wird der mögliche 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.

Eine Abweichung von dieser Einteilung ergibt sich für die Beugung und Streckung im Ellenbogengelenk, da die Unterarme bei manuellen Tätigkeiten logischerweise nicht herabhängen können, wie es die Neutral-Null-Stellung vorgibt. Hier gilt ein Bewegungsraum im mittleren Beugungsbereich als akzeptable Arbeitshaltung.

Tabelle 8 gibt einen Überblick über gemessene Gelenk- bzw. Körperwinkel, die Einteilung in die benannten Bereiche und die herangezogenen Literaturstellen. Wie bei den statischen Haltungen geht hier ebenfalls die zeitliche Komponente (kumulative Gesamtdauer, Häufigkeit) in die Risikobewertung ein.

Tabelle 8:
Zusammenfassende Darstellung der bewerteten Winkelbereiche

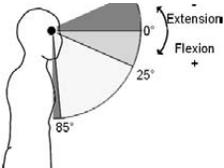
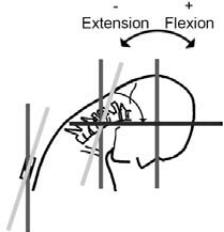
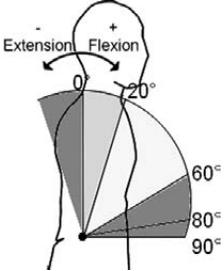
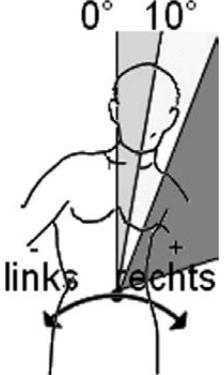
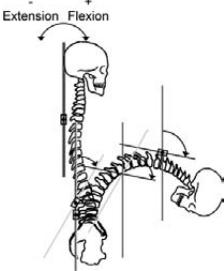
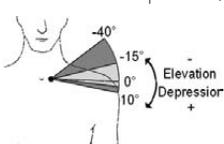
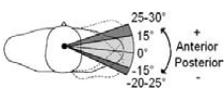
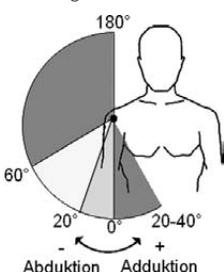
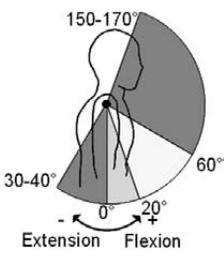
Bezeichnung des Sensors	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung
<p>Kopfneigung nach vorne</p> 	<p>+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)</p>	<p>neutral: 0° bis 25° mittelgradig: 25° bis 85° endgradig: > 85° oder < 0°</p> <p>ISO 11226, DIN EN 1005-4 [135; 136]</p>
<p>Halskrümmung nach vorne</p> 	<p>+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)</p>	<p>neutral endgradig: 0° bis 25° > 25° oder < 0°</p> <p>ISO 11226, DIN EN 1005-4 [135; 136]</p>
<p>Rumpfneigung nach vorne</p> 	<p>+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)</p>	<p>neutral: 0° bis 20° mittelgradig: 20° bis 60° oder < 0° endgradig: > 60°</p> <p>ISO 11226, DIN EN 1005-4 [135; 136]</p>
<p>Rumpfseitneigung nach rechts</p> 	<p>+: nach rechts -: nach links</p>	<p>neutral: -10° bis 10° mittelgradig: -10° bis -20° oder 10° bis 20° endgradig: < -20° oder > 20°</p> <p>ISO 11226, DIN EN 1005-4 [135; 136]</p>

Tabelle 8:
(Fortsetzung)

Bezeichnung des Sensors	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung
<p>Rückenkrümmung nach vorne</p> 	<p>+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)</p>	<p>neutral: 0° bis 20° mittelgradig: 20° bis 40° endgradig: > 40° oder < 0°</p> <p>(eigene Beurteilung)</p>
<p>Schlüsselbein Depression/Elevation</p> 	<p>+: nach unten (Depression) -: nach oben (Elevation)</p>	<p>neutral: -15° bis 5° endgradig: < -15° oder > 5°</p> <p>(eigene Beurteilung)</p>
<p>Schlüsselbein Anterior/Posterior</p> 	<p>+: nach vorne (Anterior) -: nach hinten (Posterior)</p>	<p>neutral: -15 bis 15° endgradig: < -15° oder > 15°</p> <p>(eigene Beurteilung)</p>
<p>Schultergelenk Adduktion/Abduktion</p> 	<p>+: zum Körper hin (Adduktion) -: vom Körper weg (Abduktion)</p>	<p>neutral: 0° bis -20° mittelgradig: -20° bis -60° endgradig: < -60° oder > 0°</p> <p>DIN EN 1005-4 [136]</p>
<p>Schultergelenk Flexion/Extension</p> 	<p>+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)</p>	<p>neutral: 0° bis 20° mittelgradig: 20° bis 60° endgradig: < 0° oder > 60°</p> <p>DIN EN 1005-4 [136]</p>

Bezeichnung des Sensors	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung
Schultergelenk Rotation + Innenrotation - Außenrotation 	+: nach innen (Innenrotation) nach außen (Außenrotation) -:	neutral: -15° bis 30° mittelgradig: -15° bis -30° oder 30° bis 60° endgradig: $< -30^\circ$ oder $> 60^\circ$ (eigene Beurteilung)
Ellenbogengelenk Flexion/Extension 	+: Beugung des Unterarms (Flexion) -: Streckung des Unterarms (Extension)	neutral: 60° bis 100° endgradig: $< 60^\circ$ oder $> 100^\circ$ siehe <i>McAtamney und Corlett</i> [99]
Unterarm Pronation/Supination 	+: Handfläche nach unten (Pronation) -: Handfläche nach oben (Supination)	neutral: -30° bis 20° mittelgradig: -30° bis -55° oder 20 bis 40° endgradig: $< -55^\circ$ oder $> 40^\circ$ siehe <i>Drury</i> [103]
Handgelenk Flexion/Extension 	+: zur Handfläche hin (Flexion) -: zum Handrücken hin (Extension)	neutral: -25° bis 20° mittelgradig: -25° bis -50° oder 20° bis 45° endgradig: $< -50^\circ$ oder $> 45^\circ$ siehe <i>Drury</i> [103]
Handgelenk Radialduktion/Ulnarduktion 	+: zum Daumen hin (Radialduktion) -: zum Kleinfinger hin (Ulnarduktion)	neutral: -10° bis 10° mittelgradig: -10° bis -25° oder 10° bis 15° endgradig: $< -25^\circ$ oder $> 15^\circ$ siehe <i>Drury</i> [103]

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

2.7.4 Bewertung des Risikofaktors „Kraft“

Die Einschätzung des erforderlichen Kraftaufwandes im Rahmen der untersuchten Tätigkeiten erfolgt anhand der Skala nach Borg für empfundenen Kraftaufwand [119], die in Tabelle 9 wiedergegeben wird.

In den integrierten Bewertungsverfahren wird dann der so geschätzte Kraftaufwand in

Relation zur Repetition zeitgewichtet. Im Rahmen enger gefasster Fragestellungen im Hinblick auf die Überlastung einer bestimmten Struktur, z.B. der Sehnenansätze im Bereich des Ellenbogens oder der Schultermuskulatur, wurde ergänzend die EMG-Messung zur Beurteilung des Kraftaufwandes bzw. der muskulären Beanspruchung eingesetzt. Eine Bewertung erfolgt dann anhand des Vergleichs der ermittelten Werte für

Tabelle 9:
Skala nach Borg für empfundenen Kraftaufwand

Punktwert	Beschreibung
0	gar kein Kraftaufwand
0,5	sehr, sehr geringer Kraftaufwand (gerade feststellbar)
1	geringer Kraftaufwand
2	geringer Kraftaufwand (leicht)
3	mäßiger Kraftaufwand
4	
5	großer Kraftaufwand
6	
7	sehr großer Kraftaufwand
8	
9	
10	sehr, sehr großer Kraftaufwand (beinahe maximal)

% MVC mit in der Literatur für bestimmte Tätigkeiten empfohlenen Werten (siehe Abschnitt 2.6.4 auf Seite 65).

2.7.5 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

RULA wurde von *McAtamney und Corlett* zur ergonomischen Begutachtung von Arbeitsplätzen entwickelt, die in Verbindung mit VRULD (work-related upper limb disorders) gebracht werden [99]. Das RULA-Verfahren dient in erster Linie der Abschätzung darüber, wie notwendig weitere Untersuchungen und ergonomische Veränderungen am Arbeitsplatz sind; die Gesamtpunktzahl bestimmt das abgeleitete Vorgehen nach Tabelle 10.

Der Name deutet bereits an, dass dieses Verfahren zu einem schnellen Ergebnis führen soll. Dazu wird ein Arbeitsbogen eingesetzt,

der direkt am zu beurteilenden Arbeitsplatz ausgefüllt wird. Hier liegen nach Übersetzung aus dem Englischen drei Arbeitsbögen vor, für deren Bearbeitung das schrittweise Vorgehen im Weiteren erläutert wird. Die Arbeitsbögen müssen jeweils für den rechten und linken Arm getrennt ausgefüllt werden. Zunächst beobachtet man mehrere Arbeitszyklen, um dann eine Vorauswahl der Tätigkeit bzw. Körperhaltung, die bewertet werden soll, zu treffen.

Beschreibung zur Vorgehensweise RULA Teil 1 (Arbeitsbogen auf Seite 80)

Mit dem ersten Arbeitsbogen (siehe Seite 80) werden die Belastungen durch die Bewegungen und Haltungen der oberen Extremität anhand von Piktogrammen erfasst und bewertet. Im ersten Schritt wird für die Oberarmhaltung die Flexion nach vorne bzw. die

Tabelle 10:
Ergebnisse durch RULA; Gesamtpunktwerte und abgeleitetes Vorgehen

Gesamtpunktwert	abgeleitetes Vorgehen
1 bis 2	akzeptable Verhältnisse, keine Notwendigkeit weiterer Maßnahmen
3 bis 4	in naher Zukunft weitere Maßnahmen einleiten
5 bis 6	in Kürze weitere Maßnahmen einleiten
7	sofort weitere Maßnahmen einleiten

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Extension nach hinten eingeschätzt und der Punktwert aus dem Piktogramm abgelesen. Ist der Arm z.B. im Schultergelenk im Winkelbereich um + 60° nach vorne angehoben, beträgt der Punktwert für diese Haltung + 3. Zusätzlich betrachtet man im Unterpunkt 1 a), ob die Schulter angehoben oder der Arm seitlich abgespreizt (abduziert) ist. Für jede dieser Haltungen wird ein Punkt zu dem unter 1. ermittelten Punktwert addiert. Sind die Arme jedoch unterstützt oder sollte die Person sich anlehnen, wird ein Punkt subtrahiert. Der Endbetrag des Punktwerts wird in das weiter rechts stehende Kästchen als „Oberarmwert“ eingetragen.

Ebenso wird unter 2. für die Haltung des Unterarms die Beugung im Ellenbogengelenk bewertet. Tritt außerdem eine Einwärtsdrehung (Unterarm arbeitet über die Mitte des Körpers hinaus) bzw. Auswärtsdrehung (Unterarm ist zur Seite des Körpers gedreht) des Arms entsprechend der Abbildung zu 2. a) auf, erhält man durch Addition den „Unterarmwert“; dieser wird in das rechts stehende Kästchen eingetragen.

Im dritten Schritt wird zur Haltungswertung des Handgelenks im Hinblick auf die Streckung handrückenwärts (Darstellung mit negativen Gradzahlen) bzw. Beugung handflächenwärts (Darstellung mit positiven Gradzahlen) ähnlich verfahren. Bis zu einer Streckung oder Beugung um 15° wird die Haltung mit + 2 Punkten bewertet, darüber

hinaus mit + 3 Punkten. Sollte gleichzeitig eine seitliche Krümmung im Handgelenk vorliegen, wie in Abbildung zu 3. a) gezeigt wird, wird ein Punkt hinzu gerechnet. Die Summe der Punkte ergibt dann den „Handgelenkswert“, der in das nebenstehende Kästchen eingetragen wird.

Zuletzt wird auf diesem Arbeitsbogen die Umwendung des Unterarms entsprechend den Piktogrammen unter 4. bepunktet und das Resultat in das Kästchen für den „Umwendungswert“ eingesetzt. Schließlich kann mithilfe dieser vier Haltungswerte, den Pfeilen folgend, der „Haltungswert für Arm und Handgelenk“ aus Tabelle A abgelesen und in das darunter stehende Kästchen eingetragen werden.

Beschreibung zur Vorgehensweise RULA Teil 2 (Arbeitsbogen auf Seite 81)

Der zweite Arbeitsbogen (siehe Seite 81) dient zur Untersuchung der Haltungen des Halses/Kopfes, des Oberkörpers und der Beine. Zunächst werden die Haltungen des Halses anhand der Piktogramme bewertet; dabei erhält eine Extension (Neigung des Kopfes nach hinten) den höchsten Punktwert von + 4, während die Flexion – nach Gradzahlen gestaffelt – mit Punkten von + 1 bis + 3 belegt ist. Diesem Wert wird bei Halsdrehung oder Seitneigung jeweils ein Punkt hinzugezählt, um den „Halswert“ zu erhalten.

Dieser Wert wird in das entsprechende Kästchen übertragen.

Unter Punkt 7. helfen die Abbildungen, die Neigung des Oberkörpers zu bestimmen und mit den angegebenen Punkten zu versehen. Als Besonderheit wird hier die Rumpfneigung nach hinten im Sitzen mit einem Punkt, wenn der Oberkörper unterstützt ist, und mit zwei Punkten, wenn der Oberkörper nicht unterstützt ist, bewertet. Auch hier führen gleichzeitige Drehung oder Seitneigung des Oberkörpers zu einer Punktaddition. Die Punkte aus Schritt 7. und 7. a) werden zum „Oberkörperwert“ zusammengefasst und im vorgesehenen Kästchen notiert. Zuletzt wird die Beinhaltung entsprechend der Legende unter den Abbildungen zu 8. eingeschätzt und als „Beinwert“ eingetragen.

Wie in Teil 1 werden nun die Haltungswerte „Halswert“, „Oberkörperwert“ und „Beinwert“ benutzt, um aus Tabelle B den gemeinsamen „Haltungswert für Hals, Oberkörper und Beine“ abzulesen.

Beschreibung zur Vorgehensweise RULA Teil 3 (Arbeitsbogen auf Seite 82)

Auf dem dritten Arbeitsbogen (siehe Seite 82) werden dem hierher übertragenen „Haltungswert für Arm und Handgelenk“ und „Haltungswert für Hals, Oberkörper und Beine“ Punkte für „Muskelarbeit“ und „Kraft/Last“ hinzugefügt. Unter 10. bzw. 11. sind die

Bedingungen, die zur Punktevergabe für „Muskelarbeit“ bzw. „Kraft/Last“ führen, formuliert. Dabei ist zu beachten, dass diese Punkte für Arm und Handgelenk sowie für Hals, Oberkörper und Beine getrennt ermittelt werden müssen; schließlich kann die Arbeit der Arme und Hände z.B. hoch repetitiv sein, ohne dass der Oberkörper dabei durch statische Haltungen belastet ist. Letztlich ergeben sich nach Addition zwei Gesamtwerte (A) und (B), die zum Auffinden der Gesamtpunktzahl in Tabelle C verwendet werden. Die zur Gesamtpunktzahl korrespondierende Bewertung kann der unten stehenden Tabelle auf Arbeitsbogen 3 entnommen werden.

2.7.6 Hand Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLVs)

Die Hand Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLVs) wurden von der American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) auf der Basis epidemiologischer, psychophysikalischer und biomechanischer Studien erarbeitet [132]. Diese Methode zielt auf Berufe, die durch die Durchführung einer einzigen Aufgabe für mindestens vier Stunden pro Tag gekennzeichnet sind. Diese eine Arbeitsaufgabe beinhaltet ähnliche Bewegungsabläufe und wiederholte Kraftanwendungen im Sinne repetitiver Arbeit. In den HAL TLVs gehen die durchschnittliche Aktivität der Hand (Abszisse des Diagramms

Arbeitsbogen zur Bewertung von Belastungen der oberen Gliedmaßen RULA (Rapid Upper Limb Assessment) Teil 1

Tabelle A:
Wert der
Arm- und Handgelenkshaltung

Füllen Sie den Arbeitsbogen nach dem u.a. Schema für den rechten und linken Arm getrennt aus!

A. Analyse der Arm- und Handgelenkshaltung

1. Bestimmen Sie die Haltung des Oberarms

-20° bis +20° +20° bis +45° +45° bis +90° > +90°

1.a) Addieren Sie
wenn die Schulter angehoben ist _____ +1
wenn der Oberarm abduziert ist _____ +1
wenn der Arm unterstützt oder die Person angelehnt ist _____ -1
2. Bestimmen Sie die Haltung des Unterarms

+1 +2
0° bis +60° > +100°

zu 2. a) +1 +1
links/rechts

2.a) Addieren Sie
wenn der Unterarm über die Mitte des Körpers hinaus arbeitet _____ +1
wenn der Unterarm zur Seite des Körpers gedreht ist _____ +1

> +15° +3 +1 +2
zu 3.a)

3.a) Addieren Sie
wenn das Handgelenk seitlich gekrümmt gehalten wird _____ +1
4. Bestimmen Sie die Umwendung des Unterarms bzw. der Hand

Umwendungen im Neutralbereich = 1
Umwendung im endgradigen Bewegungsbereich = 2

5. Lesen Sie den Wert für Arm und Handgelenkshaltung unter Verwendung der oben ermittelten Werten aus der Tabelle ab!

Oberarm	Handgelenk			
	1	2	3	4
Unterarm	Unterarmumwendung			
	1	2	1	2
	1	2	2	3
	2	2	2	3
3	2	3	3	
4	2	3	3	4
1	2	3	3	4
2	2	3	3	4
3	3	4	4	5
1	3	4	4	5
2	3	4	4	5
3	4	4	4	5
1	4	4	4	5
2	4	4	4	5
3	4	4	4	5
1	5	5	5	6
2	5	6	6	7
3	6	6	7	7
1	7	7	7	8
2	8	8	8	9
3	9	9	9	9

Σ

Oberarmwert

Σ

Unterarmwert

Σ

Handgelenkswert

Σ

Umwendungswert

Σ

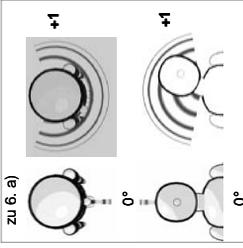
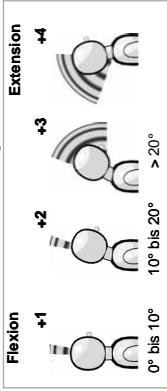
Haltungswert für Arm und Handgelenk

Arbeitsbogen zur Bewertung von Belastungen der oberen Gliedmaßen RULA (Rapid Upper Limb Assessment) Teil 2

Füllen Sie den Arbeitsbogen nach dem u. a. Schema aus!

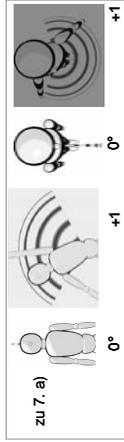
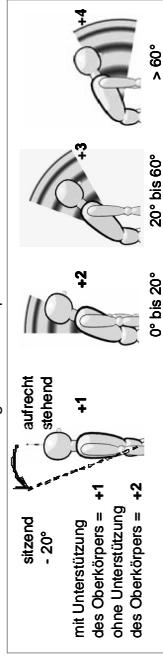
B. Analyse der Hals-, Oberkörper- und Beinhaltung

6. Bestimmen Sie die Haltung des Halses



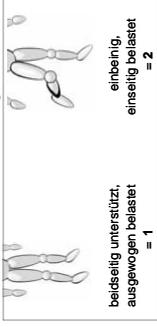
6. a) Addieren Sie, wenn der Hals gedreht ist _____ +1
wenn der Hals seitlich geneigt ist _____ +1

7. Bestimmen Sie die Haltung des Oberkörpers



7. a) Addieren Sie, wenn der Oberkörper gedreht ist _____ +1
wenn der Oberkörper seitlich geneigt ist _____ +1

8. Bestimmen Sie die Haltung der Beine



9. Lesen Sie den Haltungswert für Hals-, Oberkörper und Beine unter Verwendung der oben ermittelten Werte aus der Tabelle ab!

Σ

Halswert

Tabelle B:

Wert der Oberkörper- und Beinhaltung

		Oberkörper					
		1	2	3	4	5	6
Beine		1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	4	5	6
2	2	3	2	3	4	5	6
3	3	3	3	4	5	6	7
4	5	5	6	6	7	7	8
5	7	7	7	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	9	9

Σ

Oberkörperwert

Σ

Haltungswert für Hals-, Oberkörper und Beine

Arbeitsbogen zur Bewertung von Belastungen der oberen Gliedmaßen RULA (Rapid Upper Limb Assessment) Teil 3

Füllen Sie den Arbeitsbogen nach dem u. a. Schema aus.

?

Haltungswert für Arm und Handgelenk

+

Wert für Muskelarbeit

10. Addieren Sie für die Muskelarbeit bei statischer Körperhaltung (länger als eine Minute) oder bei Repetition (4 x oder mehr/Minute) +1

+

Wert für Muskelarbeit

11. Addieren Sie für Kraft/Last Last < 2 kg (zeitweilig) +0
 Last 2 kg – 10 kg (zeitweilig) +1
 Last 2 kg – 10 kg (statisch o. wiederholt) +2
 > 10 kg o. wiedergeworfen o. plötzlich +3

=

?

Gesamtwert (A) für Arm und Handgelenk

?

Haltungswert für Hals, Oberkörper und Beine

+

Wert für Muskelarbeit

+

Wert für Kraft/Last

=

?

Gesamtwert (B) für Hals, Oberkörper und Beine

Tabelle C: Gesamtpunktzahl

B	1	2	3	4	5	6	7+
A							
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

Gesamtpunktzahl	Bewertung
1 bis 2	akzeptabel
3 bis 4	in naher Zukunft weitere Maßnahmen einleiten
5 bis 6	in Kürze weitere Maßnahmen einleiten
7	sofort weitere Maßnahmen einleiten

siehe Seite 86) und die von der Hand auf gebrachte Spitzenkraft (Ordinate des Diagramms) als entscheidende Größen der Arbeitsbedingungen ein. Die Werte unterhalb des Aktionslimits (dünne Linie mit Punkten) sollen die Kombinationen dieser beiden Arbeitsbedingungen beschreiben, denen nahezu alle Arbeitnehmer wiederholt ausgesetzt sein können, ohne gesundheitlichen Schaden davonzutragen. Eine zweite Grenzwertgerade, das Schwellenlimit (dicke Linie), kennzeichnet die oberhalb liegenden Koordinaten für Kombinationen von Kraft und Handaktivität, die mit einer signifikant erhöhten Prävalenz von MSD einhergehen. Die Grenzwerte beziehen sich allerdings einschränkend auf die distale obere Extremität, also den Ellenbogen, Unterarm, Hand und Finger mit den entsprechenden muskuloskelettalen Strukturen und Krankheitsbildern. Zwischen den beiden Grenzlinien wird ein Bereich eingeschlossen, der Arbeitsbedingungen beschreibt, die in regelmäßigen Abständen kontrolliert und überwacht werden sollten. Einem Ampelschema entsprechend könnten die Arbeitsbedingungen mit Werten unterhalb des Aktionslimits als akzeptabel (grün), zwischen den beiden Grenzlinien als kontrollbedürftig (gelb) und oberhalb des Schwellenlimits als veränderungsbedürftig (rot) eingestuft werden.

Um für eine Aufgabe den Wert zu ermitteln und mit den Grenzwerten zu vergleichen,

müssen die beiden Parameter „Handaktivität“ und die „durch die Hand aufgebrachte Spitzenkraft“ bestimmt werden. Dazu soll die Arbeit zunächst für eine Dauer, die mehrere Arbeitszyklen umfasst, beobachtet werden. Dieser Zeitabschnitt soll für die durchschnittliche Aktivität repräsentativ sein. Zu Zwecken der Dokumentation und/oder zur vergleichenden Beurteilung durch weitere Untersucher werden Videoaufnahmen empfohlen.

Zur Schätzung der durchschnittlichen Aktivität der Hand wird dem Untersucher eine Zahlenskala ähnlich der Skala nach *Borg* an die Hand gegeben (siehe Seite 84 oben). Eine zweite Möglichkeit, die Handaktivität richtig einzuordnen, besteht in der Bestimmung des „duty cycle“ (prozentualer Zeitanteil eines Arbeitszyklus, in dem die Kraft größer ist als 5 % der Maximalkraft) und der Frequenz, mit der die Spitzenkraft aufgewendet wird. Aus einer Tabelle kann daraus der korrespondierende Handaktivitätsgrad abgelesen werden (siehe Seite 84 unten).

Die im Arbeitszyklus mit der Hand aufgewendete Spitzenkraft wird ebenfalls auf eine Skala von 0 bis 10 normiert, was einer Skala von 0 bis 100 % der Kraft einer Referenzpopulation entspricht. Zum einen kann die Spitzenkraft durch einen geübten Beobachter oder durch den bzw. die Arbeitnehmer selbst mit der Skala nach *Borg* taxiert werden (siehe Seite 85). Zum

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

anderen können Messinstrumentarien oder in Einzelfällen biomechanische Berechnungen zur Bestimmung der genormten Spitzenkraft dienen. Schließlich definieren die ermittelten Werte in dem Koordinatensystem eines Diagramms einen Punkt (siehe Seite 86).

Seine Lage zu den Grenzwertlinien stellt den Vergleich zu den Grenzwerten her und führt zur Veranlassung weiterer Untersuchungen und Kontrollen, Arbeitsplatzumgestaltungen oder anderen Maßnahmen.

Richtlinien zur Einschätzung des HAL (Hand activity level – Handaktivitätsgrad)

HAL	Beschreibung
0	Hand meist untätig, keine regelmäßigen Kraftaufwendungen
2	gleich bleibende, auffallende, lange Pause oder sehr langsame Bewegungen
4	langsame, regelmäßige Bewegungen/Kraftaufwendungen, häufig kurze Pausen
6	regelmäßige Bewegungen/Kraftaufwendungen, seltene Pausen
8	schnelle, regelmäßige Bewegungen/Kraftaufwendungen, keine regelmäßigen Pausen
10	schnelle, regelmäßige Bewegungen mit der Schwierigkeit, den Takt zu halten oder andauernde Kraftaufwendung

Tabelle zur Bestimmung des HAL (Hand activity level – Handaktivitätsgrad)

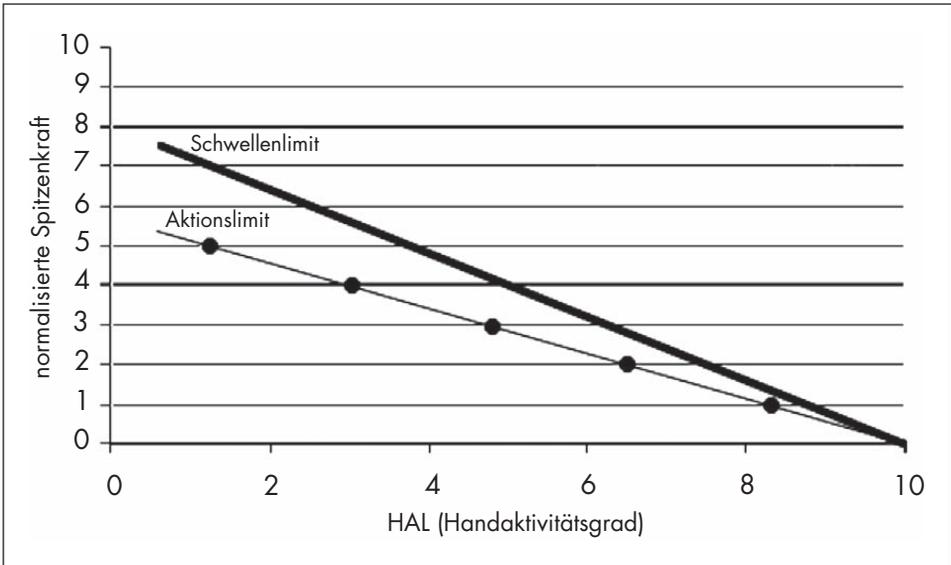
Frequenz der Kraftaufwendungen in s^{-1}	Dauer der Kraftaufwendungen in s	Zeitanteil des Arbeitszyklus, in dem die Kraft 5 % der maximalen Kraft überschreitet			
		0 bis 20 %	20 bis 40 %	40 bis 60 %	60 bis 80 %
0,125	8,0	1	1	–	–
0,25	4,0	2	2	3	–
0,5	2,0	3	4	5	5
1,0	1,0	4	5	5	6
2,0	0,5	–	5	6	7

HAL (1 bis 10) steht in Beziehung zu der Frequenz, mit der Kraft aufgewendet wird, und dem Zeitanteil des Arbeitszyklus, in dem die Kraft 5 % der maximalen Kraft überschreitet.

Tabelle zur Abschätzung des normalisierten Spitzenwertes für den empfundenen Kraftaufwand

Skala des empfundenen Kraftaufwandes nach <i>Borg</i>	
Punktwert	Beschreibung
0	gar kein Kraftaufwand
0,5	sehr, sehr geringer Kraftaufwand (gerade feststellbar)
1	geringer Kraftaufwand
2	geringer Kraftaufwand (leicht)
3	mäßiger Kraftaufwand
4	
5	großer Kraftaufwand
6	
7	sehr großer Kraftaufwand
8	
9	
10	sehr, sehr großer Kraftaufwand (beinahe maximal)

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)



Aktionslimit

Diese Linie markiert die Kombination von Werten für Kraft und Handaktivität, ab deren Erreichen oder Überschreiten Kontrollen und Überwachungen empfohlen werden.

Schwellenlimit

Diese Linie markiert die Kombination von Werten für die Kraft und die Handaktivität, deren Erreichen oder Überschreiten mit einer signifikant erhöhten Prävalenz von Muskel-Skelett-Erkrankungen einhergehen.

2.7.7 Occupational Risk Assessment of Repetitive Movements and Exertions of the Upper Limb (OCRA-Index und OCRA-Checkliste)

Die italienische Arbeitsgruppe um *Colombini, Occhipinti und Grieco* entwickelte das Verfahren des Occupational Risk Assessment (OCRA) [138]. Es beschreibt und bewertet sowohl die einzelnen Risikofaktoren Repetition, Kraftaufwand, Körper- und Gelenk-

bewegungen sowie -haltungen in ungünstigen Winkelbereichen als auch zusätzliche Faktoren wie Vibration, lokaler Druck, Kälte, Hitze, durch die berufliche Exposition charakterisiert ist, und führt sie im sogenannten OCRA-Index zu einer integrierten Bewertung zusammen. Der OCRA-Index berechnet sich aus dem Verhältnis der tatsächlich ausgeführten „technischen Aktionen“ zu der Zahl der empfohlenen „technischen Aktionen“ entsprechend der Formel:

$$\text{OCRA-Index} = \frac{\text{Zahl der tatsächlich ausgeführten technischen Aktionen}}{\text{Zahl der empfohlenen technischen Aktionen}}$$

Der Nenner des Quotienten ergibt sich aus einer gesetzten Aktionsfrequenzkonstante von 30/min und Reduktionsfaktoren. Die tatsächlich ausgeführten technischen Aktionen können durch Auszählen in mehreren Zyklen und entsprechenden Hochrechnungen festgestellt werden. Die Reduktionsfaktoren ergeben sich aus der Bewertung der verschiedenen Risikofaktoren am untersuchten Arbeitsplatz. Dazu werden die Risikofaktoren direkt am Arbeitsplatz bzw. durch Auswertung von Videoaufnahmen für einzelne repetitive Arbeitsaufgaben und für den rechten und linken Arm getrennt erfasst. Die Bewertung erfolgt zunächst durch eine Punktevergabe, die eine

Übersetzung in Reduktionsfaktoren ermöglicht. Für diese Vorgehensweise stehen neun Arbeitsbögen zur Verfügung, deren Bearbeitung im Folgenden erklärt wird.

Durch die Multiplikation der Aktionsfrequenzkonstante mit den Reduktionsfaktoren und der Aufgabendauer in Minuten erhält man die Zahl der empfohlenen technischen Aktionen für die untersuchte repetitive Aufgabe. Falls mehrere repetitive Aufgaben während einer Arbeitsschicht von einer Person durchgeführt werden, summiert man die Zahlen der empfohlenen technischen Aktionen auf und multipliziert sie mit dem Reduktionsfaktor für

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

mangelnde Erholung, bevor der OCRA-Index nach der o.g. Formel berechnet wird. So erhält man auch eine Aussage über die Beanspruchung während einer gesamten Arbeitsschicht und das Risiko, an WRULD zu erkranken.

Im Nachgang zur Entwicklung des OCRA-Verfahrens wurde von derselben Arbeitsgruppe eine Checkliste erarbeitet, die entsprechend dem OCRA-Verfahren eine verkürzte Prozedur der Risikobewertung erlaubt. Auch hierzu stehen Vordrucke, die Schritt für Schritt zu bearbeiten sind, zur Verfügung.

Tabelle 11 gibt einen Überblick über die korrespondierenden Indizes beider Methoden und die Höhe des zugeordneten Risikos. Erwähnt sei auch, dass die Norm prEN 1005-5, die sich an Konstruk-

teure von Maschinen und Maschinenteilen richtet, im Wesentlichen auf der Methodik des OCRA-Verfahrens beruht [137].

Zunächst wird die ausführliche Methode zur Ermittlung des OCRA-Index beschrieben. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, nicht nur verschiedene Risikofaktoren, sondern auch unterschiedliche repetitive Aufgaben innerhalb einer Schicht zusammenfassend zu beurteilen. Dementsprechend beginnt die Dokumentation mit allgemeinen Angaben zum untersuchten Arbeitsplatz. Dazu dient der Arbeitsbogen 1 „Informationen über die Arbeitsorganisation“ (siehe Seite 97). Die Art der Schichtorganisation wird eingetragen mit den Anfangs- und Schlusszeiten der einzelnen Schichten. Als Arbeitsunterbrechungen, die oft nicht in die Arbeitszeit fallen, sei beispielhaft die Mittagspause erwähnt. Andere Pausen und Ruhezeiten, die ent-

Tabelle 11:
Checklistenwert, OCRA-Index und deren Bewertung

Checklistenwert	OCRA-Index	Bewertung
$\leq 6,0$	$\leq 2,0$	kein Risiko
6,1 bis 11,9	2,1 bis 3,9	niedriges Risiko
12,0 bis 18,9	4,0 bis 7,9	vorhandenes Risiko
≥ 19	$\geq 8,0$	hohes Risiko

weder organisiert sind oder während der Arbeit für mindestens fünf aufeinanderfolgende Minuten auftreten, werden addiert und sowohl in Minuten als auch in Prozent der Schichtdauer eingetragen. Außerdem muss die Verteilung der Pausen über die Arbeitszeit festgehalten werden. Bei festgelegten Pausen werden dazu deren Zeiten und Dauer in der Tabelle unten auf dem Arbeitsbogen 1 eingetragen. Werden die Pausenzeiten frei gewählt, muss der Beobachter einschätzen, wann und wie oft Pausen genommen werden.

Mit dem Arbeitsbogen 2 „Liste der ausgeführten Tätigkeiten während der Schicht“ (siehe Seite 98) werden die in Zyklen verrichteten repetitiven, die nicht repetitiven Tätigkeiten und die Arbeiten, die als Erholung betrachtet werden können, aufgelistet und ihre jeweilige Dauer in Minuten eingetragen. Arbeiten, die als Erholung betrachtet werden können, sind solche, in denen die zuvor gebrauchten Muskeln in Ruhe sind. Beispiele sind: visuelle Kontrolle, alternierende Ausübung einer Aufgabe mit rechtem und linkem Arm, maschinenbedingte Wartezeiten innerhalb eines Zyklus von mindestens zehn Sekunden Dauer alle paar Minuten. Gemeinsam mit den zuvor ermittelten Zeiten für die Pausen und Ruhezeiten müssen die Minuten für die verschiedenen Tätigkeiten wieder die gesamte Schichtdauer in Minuten ergeben. Links unten auf dem Arbeitsbogen 2

soll für jede Schicht ein Plan über die Verteilung der Arbeitsunterbrechungen, Pausen und Ruhezeiten erstellt werden. Hier sei ein Beispiel für das Aufstellen eines solchen Plans gegeben. Untersucht wird eine Arbeit, die täglich in der Zeit von 8:00 bis 16:30 verrichtet wird. Sie beinhaltet zwei unterschiedliche repetitive Aufgaben, eine von 220 Minuten, die andere von 100 Minuten Dauer; nicht repetitive Nebenarbeiten (Materialbeschaffung, Vorbereitung und Reinigen des Arbeitsplatzes) benötigen ca. 120 Minuten am Tag. Eine Mittagspause von 30 Minuten fällt nicht in die Arbeitszeit, aber morgens und nachmittags werden zwei jeweils 20-minütige Pausen abgehalten. Arbeiten, die als Erholungszeiten angesehen werden können, treten nicht auf. Der Stundenplan sieht dann wie in Abbildung 11 (siehe Seite 90) wiedergegeben aus.

Mithilfe dieser Zeiteinteilung kann später die jeweilige Gesamtdauer für die verschiedenen Tätigkeiten berechnet werden und der Arbeitsstundenanteil, in dem ohne ausreichende Erholung gearbeitet wurde, lässt sich ablesen.

Auf dem dritten Arbeitsbogen „Beschreibung der Produktion und der Netto-Zykluszeiten“ (siehe Seite 99) werden die Informationen, die zur Berechnung der Zykluszeiten benötigt werden, festgehalten. Für die vorher auf-

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Abbildung 11:
Beispiel für die Eintragung der Stundenaufteilung

08:00		9:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		15:00		16:00	
VB	rA1	P	rA1					MP	R	MB	rA2	P	rA2	R			
1. Std.	2. Std.	3. Std.	4. Std.	5. Std.	6. Std.	7. Std.	8. Std.	9. Std.									

VB = Vorbereitung; rA1 = repetitive Aufgabe von 220 Minuten; rA2 = repetitive Aufgabe von 100 Minuten; MB = Materialbeschaffung; R = Reinigen des Arbeitsplatzes; MP = Mittagspause; P = Pause

gestellten repetitiven Aufgaben wird die Dauer in Minuten durch die Anzahl der Zyklen pro Schicht geteilt, um die Netto-Zykluszeit zu erhalten. Oft ist die Anzahl der Zyklen mit der Stückzahl der bearbeiteten Produkte identisch. Diese Anzahl kann oft vom Produktionsleiter erfragt werden. Allerdings ist zu beachten, dass bei Erfüllung von Teilaufgaben die Ausbeute an gefertigten Produkten für den einzelnen Arbeitnehmer niedriger oder höher als für die gesamte Gruppe liegen kann. Besonders Akkordlohn führt häufig zu einer höheren Produktivität einzelner Arbeitnehmer. Die Zykluszeit kann auch bei der Beobachtung der Aufgabe oder aus der Videoaufnahme direkt gemessen werden.

Der Arbeitsbogen 4 „Auflistung technischer Aktionen innerhalb eines Zyklus“ (siehe Seite 100) bietet Platz, um die technischen

Aktionen für die einzelnen repetitiven Aufgaben während einer Schicht zu benennen und ihre Häufigkeit innerhalb eines Zyklus für die beiden Arme getrennt aufzuzeichnen. Aus diesen Angaben wird dann nach der im Arbeitsbogen 4 unten angegebenen Formel die Anzahl der technischen Aktionen pro Minute für den rechten und linken Arm berechnet. Die technischen Aktionen können in einer Videoaufzeichnung festgehalten und in der Nachbearbeitung identifiziert und gezählt werden. Technische Aktionen beschreiben Aktivitäten, die eine Betätigung der Gelenke, Muskeln und Sehnen der oberen Extremität verlangen. Damit sind weniger die Bewegungen einzelner Gelenke als vielmehr die Gesamtbewegungen gemeint, die das Erfüllen einer einfachen Arbeitsaufgabe ermöglichen. Dabei unterscheidet sich die Definition der technischen Aktion wesentlich

von MTM1-Elementen¹⁾ oder auch UAS-Elementen²⁾ [139]. Um die Unterschiede zu verdeutlichen, werden die Bewegungsbe-

schreibungen der gleichen Aufgabe mit MTM1-, UAS-Elementen und technischen Aktionen in Tabelle 12 gegenübergestellt.

Tabelle 12 :
Gegenüberstellung von MTM1-Elementen, UAS-Elemente und OCRA technische Aktionen

MTM1-Elemente	UAS-Elemente	OCRA, technische Aktionen (TA)	
		rechter Arm	linker Arm
mit linkem Arm zum Zylinder hinlangen	mit der linken Hand nehmen und weiterreichen		Zylinder nehmen
Zylinder ergreifen			
zur rechten Hand bewegen			
mit der rechten Hand hinlangen			
mit der rechten Hand ergreifen			
mit der linken Hand loslassen			
zu den Augen bewegen	visuelle Kontrolle		
visuelle Kontrolle ausführen			
Zylinder wenden	mit der rechten Hand positionieren	Zylinder drehen	
Zylinder zum Loch bewegen		Zylinder positionieren	
Zylinder positionieren			
Zylinder mit der rechten Hand loslassen			
12 MTM1-Elemente	3 UAS-Elemente	3 TA	1TA

¹⁾ MTM = Methods Time Measurement

²⁾ UAS = Universal Analysing System

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Folgende Tätigkeit wird in den verschiedenen Systemen dargestellt: Ein Zylinder wird aus einer Box (in Reichweite) mit der linken Hand ergriffen, in die rechte Hand übernommen, unter Drehen einer visuellen Kontrolle unterzogen und dann in ein Loch im Werkstück (in Reichweite) eingefügt. Für jede vorkommende repetitive Aufgabe in der Schicht muss ein Arbeitsbogen 4 ausgefüllt werden.

Im nächsten Schritt müssen zunächst die technischen Aktionen aus allen repetitiven Aufgaben in einer Schicht addiert werden (Ae). Hierzu leitet der Arbeitsbogen 5 „Berechnung des Ocra-Indexes“ (siehe Seite 101) an, und die benötigten Angaben finden sich auf den zuvor beschriebenen Arbeitsbögen.

Arbeitsbogen 6 „Subjektive Bewertung des empfundenen Kraftaufwandes mittels Borg-Skala“ (siehe Seite 102) wird wiederum für jede repetitive Tätigkeit während der Schicht ausgefüllt. Hier soll der zeitgewichtete Kraftaufwand für die verschiedenen technischen Aktionen festgehalten werden. Da der Kraftaufwand nicht immer durch gehandhabte Gewichte abgeschätzt werden kann und auch eine aufwendige Oberflächenelektromyografie mit Fehlern behaftet sein kann, empfehlen die Autoren der OCRA-Methode die Benutzung der Skala nach Borg für empfundenen Kraftaufwand [119]. Die Punktwerte und die korrespondierenden Beschrei-

bungen des Kraftaufwandes sind in der Tabelle auf dem Arbeitsbogen 6 aufgeführt. Wichtige Ratschläge zur Vorgehensweise bei der Beurteilung des Kraftaufwandes sind:

- Analyse des Kraftaufwandes in der Folge der technischen Aktionen eines Zyklus
- Identifizierung der kraftaufwendigen technischen Aktionen
- Befragung des Arbeitnehmers durch folgende Formulierung: „Gibt es bei Ihrer Tätigkeit technische Aktionen, die spürbare Muskelaktivität der oberen Extremität verlangen?“
- Befragung mehrerer Arbeitnehmer und ggf. geschlechtsspezifische Trennung
- Befragung der Arbeitnehmer, wodurch der Kraftaufwand entsteht
- Ermittlung der Dauer der kraftaufwendigen Tätigkeit innerhalb eines Zyklus

Diese Daten können in die Tabelle im Arbeitsbogen 6 unter Angabe des aktiven Arms vermerkt werden. Durch Multiplikation der Punktwerte für den Kraftaufwand mit der zugehörigen Dauer in Prozent der Zykluszeit erhält man den zeitgewichteten Kraftaufwand einer technischen Aktion. Diese Werte werden dann für einen Zyklus addiert und

liefern den Wert für die durchschnittliche zeitgewichtete Anstrengung.

Als nächster relevanter Risikofaktor werden die Bewegungen und Haltungen der einzelnen Gelenkregionen bei der Ausführung einer repetitiven Tätigkeit protokolliert und bepunktet. Um die Einschätzung der Haltungen und Bewegungen zu erleichtern, werden diese auf dem Arbeitsbogen 7 „Beurteilung der Haltungen und Bewegungen“ (siehe Seite 103) durch Piktogramme, in denen Risikobereiche markiert sind, veranschaulicht. Für die Analyse dieses Risikofaktors erachten die Autoren Videoaufnahmen, die in Zeitlupe betrachtet werden können, für unerlässlich. Neben dem Bewegungsausmaß soll auch die Dauer bzw. die Häufigkeit einer im Risikobereich eingenommenen Haltung als Bruchteil der Zykluszeit angegeben werden. Für eine statische Haltung kann die Dauer unter Umständen direkt gemessen und auf die Zykluszeit bezogen werden. Bei Bewegungen von kritischem Ausmaß kann über die Häufigkeit der technischen Aktion im Zyklus, in dem die betreffende Bewegung auftritt, der Anteil an der Zykluszeit abgeschätzt werden. Neben den Merkmalen finden sich Kästchen mit den zu vergebenden Punkten. Alle Punkte aus einer Tabellenzeile werden jeweils zu einem Punktwert für eine Gelenkregion addiert und in die rechte Spalte eingetragen. So wird für die Schulter-, Ellenbogen-, Handgelenk- und Handregion bzw. Finger ver-

fahren. In der letzten Tabellenzeile steht unter dem Punkt Haltungen und Bewegungen der Finger Platz zur Verfügung, um zusätzliche Griffarten zu ergänzen. Beinhaltet beispielsweise die Arbeit das Ergreifen einer Handvoll Schrauben, dann entspricht dieser Vorgang nicht vollständig einem festen Umfassungsgriff, ist mit diesem aber am ehesten vergleichbar. Also wird dieser Vorgang eingefügt und mit der vergleichbaren Punktzahl versehen. Die Eintragung, die in diesem Fall erfolgt, ist in Abbildung 12 grau hinterlegt (siehe Seite 94) wiedergegeben.

Alle bis hierher ermittelten Punktwerte können auch gemeinsam mit den Punkten für eventuell auftretende zusätzliche Faktoren auf dem Arbeitsbogen 8 „Übersichtstabelle“ (siehe Seite 104) zusammengetragen werden, um alle Risikopunkte innerhalb einer Arbeitsaufgabe im Überblick darzustellen.

Schließlich sollen noch eventuell vorhandene zusätzliche Risikofaktoren bewertet werden. Hierzu gibt es eine Vorschlagsliste von physikalischen Umgebungsfaktoren bei der Arbeit, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Auch organisatorische Faktoren können die Gesamtbelastung beeinflussen. Als Schätzmaß für die Bewertung zusätzlicher Faktoren gilt, dass optimale Arbeitsbedingungen durch ihr Fehlen oder sehr geringes Auftreten charakterisiert sind. Alle zusätzlichen

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Abbildung 12:
Auszug aus Arbeitsbogen 7, letzte Spalte

Bewegungen und Haltungen FINGER	[D1] Griffdauer und Fingerbewegungen				}	der Zyklusdauer
	[] Umfassunggriff (3-4 cm)	[1] 1/3,	[2] 2/3,	[3] 3/3		
	[] Umfassunggriff (1,5 cm)	[2] 1/3,	[4] 2/3,	[6] 3/3		
	[] Fingerzufassunggriff	[3] 1/3,	[6] 2/3,	[9] 3/3		
	[] Handzufassunggriff	[4] 1/3,	[8] 2/3,	[12] 3/3		
	[] Hakengriff	[4] 1/3,	[8] 2/3,	[12] 3/3		
	[] Fingerbewegungen	[4] 1/3,	[8] 2/3,	[12] 3/3		
	[] Handvoll Schrauben	[2] 1/3,	[] 2/3,	[] 3/3		
	[]	[] 1/3,	[] 2/3,	[] 3/3		
	Mangel an Variation:					
[D2]	ähnliche Arbeitsbewegungen, Einbeziehung des gleichen Fingers, mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]				
[D3]	Halten eines Objekts, mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]					FINGER

Faktoren, die mit dem Arbeitszyklus wiederkehren, werden je nach Dauer im Zyklus mit 4, 8 oder 12 Punkten bewertet. Für die weiteren Faktoren muss der erfahrene Untersucher einen Punktwert zwischen 1 und 3 einsetzen und dann wieder nach dem Zeitanteil in der Arbeitsaufgabe gewichten; vgl. hierzu vorletzte Spalte, vorletzte Zeile der Tabelle auf Arbeitsbogen 8. Auch hier werden wieder alle Punkte jeweils für einen Arm zu einem Gesamtwert summiert. In Abbildung 13 sind beispielhafte Eintragungen zur Bewertung der zusätzlichen Faktoren zu sehen: Ein Werkötiger bearbeitet für ein Drittel der Zykluszeit ein Werkstück mit einem vibrierenden Werkzeug, das er in der rechten Hand führt und dessen Handgriff lokale Kompression in der Handfläche – durch Hautrötung deutlich erkennbar – verursacht. Während-

dessen wird das Werkstück aus Metall mit der linken Hand gehalten und zur Bearbeitung häufiger gedreht. Auf die Belastung der rechten Hand wirken also die Faktoren Vibration und lokale Kompression, hingegen auf die linke Hand lediglich die Vibration.

Diese Vorgehensweise muss für jede während einer Schicht bzw. eines Arbeitstages ausgeführte repetitive Aufgabe eingehalten werden, um schließlich auf dem Arbeitsbogen 9 „Berechnung des Ocra-Indexes – Übersicht für 4 repetitive Aufgaben“ (siehe Seite 105) den OCRA-Index berechnen zu können. Hier werden alle zuvor ermittelten Punktwerte für Kraft, Haltung und Bewegung sowie zusätzliche Faktoren in Reduktionsfaktoren (FK, FH, FZ) überführt und mit der Aktionsfrequenzkonstanten multipliziert.

Abbildung 13:
Auszug aus Arbeitsbogen 8, Beurteilung
der zusätzlichen Faktoren

ZUSÄTZLICHE FAKTOREN					
PRÄZISION	VIBRATION	KOMPRESSION	STÖSSE	REIBENDE BEWEGUNG	
	X (R)	X (R)			
	X (L)				
Punkte/zusätzliche Faktoren					
für jeden zusätzlichen Faktor in einem Zyklus:					
[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3 Vibration					
[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3 Kompression					
für die anderen Faktoren kann der Punktwert von 1 bis 4 variieren					
[1] 1/3, [2] 2/3, [3] 3/3					
[2] 1/3, [4] 2/3, [6] 3/3					
[3] 1/3, [6] 2/3, [9] 3/3					
8 rechts			4 links		

Dieser Vorgang wird wiederum sowohl für die einzelnen repetitiven Aufgaben als auch für den rechten und linken Arm getrennt durchgeführt. Nach dieser Multiplikation

erhält man die empfohlenen technischen Aktionen für die einzelnen repetitiven Aufgaben, die mit α , β , γ , δ usw. bezeichnet werden. Diese werden für die Arme getrennt zur Gesamtzahl π summiert. Diese Zahl π muss mit dem Faktor für die Erholung (FR) und dem Faktor für die Gesamtdauer repetitiver Tätigkeiten (FD) während der Schicht multipliziert werden. Der Erholungsfaktor lässt sich aus dem Arbeits-/Pausen-Verteilungsplan von Arbeitsbogen 2 (siehe Seite 98) bestimmen. In die Beurteilung fließen die Erfahrungen der Australian Health and Safety Commission zur Prävention von sogenannten „Repetitive Strain Injuries“ ein. Danach kann repetitive Arbeit, die länger als 60 Minuten ohne Pause andauert, nicht als akzeptabel betrachtet werden, und es wird abgeleitet, dass ein Arbeits-/Pausen-Verhältnis von 5 : 1 eingehalten werden sollte. Aus dem Arbeits-/Pausen-Verteilungsplan kann nun abgelesen werden, wie viele Stunden demnach ohne eine solche Pause gearbeitet werden. Die Anzahl der Arbeitsstunden ohne adäquate Pause wird dann auf dem Arbeitsbogen 9 in einen Reduktionsfaktor übersetzt. Treten in den Arbeitszyklen regelmäßig Unterbrechungen der Arbeit > 10 s auf, die als Erholungszeit angesehen werden können (vgl. Arbeitsbogen 2), soll diese Zeit aufaddiert und zu den Pausenzeiten in einer repetitiven Aufgabe hinzugerechnet werden, bevor man das Verhältnis von Arbeitszeit zu Pausenzeit bestimmt.

2 Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität (AMSE-OE)

Der letzte Faktor FD wird durch die Nettodauer aller repetitiven Aufgaben während der Schicht in Minuten abgeleitet. Auch dieser Wert wurde schon auf Arbeitsbogen 2 dokumentiert.

Schließlich erhält man durch die Berechnung die Anzahl der empfohlenen technischen Aktionen (A_T), durch die die Anzahl der beobachteten technischen Aktionen dividiert wird, den OCRA-Index der Exposition (siehe Gleichung auf Arbeitsbogen 9 unten). Die Einschätzung des Risikos erfolgt anhand Tabelle 11.

Der OCRA-Checkliste (siehe Seite 106 ff.) liegen die gleichen Bewertungskriterien zugrunde, jedoch sind hier zu jedem Faktor bereits vorgegebene Konstellationen formu-

liert. Zutreffende Situationsbeschreibungen werden angekreuzt und mit den angegebenen Punkten versehen. Dabei ist zu beachten, dass häufig auch gemittelte Punktwerte vergeben werden können. Die Arbeitsanweisungen über den jeweiligen Fragekomplexen sind zu beachten. Die Checkliste ergibt wieder zunächst nur eine Gesamtpunktzahl für eine einzige repetitive Aufgabe, die durch Addition der Punktwerte für die verschiedenen Faktoren gewonnen wird, und muss für weitere repetitive Aufgaben wiederholt ausgefüllt werden. Um den zusammengefassten Index der Exposition zu berechnen, wird die Formel auf der letzten Seite der Checkliste benutzt. Dieser Index-Wert kann abschließend durch Vergleich mit den Werten in Tabelle 11 (siehe Seite 88) beurteilt werden.

INFORMATIONEN ÜBER DIE ARBEITSORGANISATION

Name

Zeitdauer Tätigkeit

- Zeitdauer der Schicht/en
 - 1. Schicht von bis Minuten
 - 2. Schicht von bis Minuten
 - 3. Schicht von bis Minuten
 - Einzelschicht von bis Minuten

- Arbeitsunterbrechung (z.B. Mittagspause), weitere Pausen und Ruhezeiten
 - Arbeitsunterbrechung% der Schichtdauer
 - Minuten (1. Schicht)
 - Minuten (2. Schicht)
 - Minuten (3. Schicht)
 - Minuten (Einzelschicht)
 - Pausen (einschließlich physiologischer Erholung \approx Ruhe \geq 5 min)% der Schichtdauer

- Werden die Pausen subjektiv verteilt? ja nein

Falls Pausen subjektiv genommen werden, notieren Sie ihre durchschnittliche Nutzung!

.....

Falls die o.g. Faktoren nach einem Plan verteilt sind, notieren Sie die Dauer der Pausen:

	Dauer	von - bis	Dauer	von - bis	Dauer	von - bis	Dauer	von - bis
Mittagspause
1. Pause
2. Pause
3. Pause
.....
.....
.....
	1. Schicht		2. Schicht		3. Schicht		Einzelschicht	

Arbeitsbogen 2

LISTE DER AUSGEFÜHRTEN TÄTIGKEITEN WÄHREND DER SCHICHT

Liste der ausgeführten Tätigkeiten während der Schicht 1. 2. 3. Einzelschicht

		Dauer (min)		
<input type="checkbox"/> in Zyklen	A .....	.....	_____ min	repetitive Arbeit
	B .....	.....		Netto-Zeit
	C .....	.....	
	D .....	.....	
<input type="checkbox"/> nicht in Zyklen	X Versorgung	.....	_____ min	nicht repetitive Arbeit
	Y Vorbereitung	.....		Netto-Zeit
	Z Reinigung	.....	
	W Transport	.....	
	J .....	.....	
	H .....	.....	
<input type="checkbox"/> als Erholung zu betrachtende Arbeit	- visuelle Kontrolle	.....	_____ min	Erholungszeit (ausgenommen passive Zeiten in der Pause)
	- Wartezeiten: passive Zeit mit Phasen der Inaktivität von mindestens 10 aufeinander folgenden Sekunden	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
gesamte passive Zeit pro Zyklus sec.				

Beschreiben Sie die Verteilung der verschiedenen repetitiven und nicht repetitiven Aufgaben, Pausen und/oder Unterbrechungen, Essenspausen!

<p>von bis</p> <p>1. Schicht</p> <p>1. Std.</p>	<p>_____ min</p> <p>Arbeitsunterbrechung, Pausen oder Ruhezeiten (Unterbrechung der Tätigkeit für mindestens 5 min)</p>
<p>von bis</p> <p>2. Schicht</p> <p>1. Std.</p>	
<p>von bis</p> <p>3. Schicht</p> <p>1. Std.</p>	<p>_____ min</p> <p>Schichtminuten (Summe der Minuten muss der Schichtdauer entsprechen)</p>
<p>von bis</p> <p>Einzelschicht</p> <p>1. Std.</p>	

Arbeitsbogen 3

BESCHREIBUNG DER PRODUKTION UND DER NETTO-ZYKLUSZEITEN (AUSGENOMMEN DER ZEITEN FÜR ARBEITSUNTERBRECHUNGEN, PAUSEN, RUHEZEITEN ODER NICHT REPETITIVE TÄTIGKEITEN)

Name Tätigkeit Zeitdauer

- repetitive Tätigkeiten (in Zyklen) in der Schicht 1. 2. 3. Einzelschicht

	Zeitdauer (Min.) (Z)	Anzahl der Zyklus-Einheiten pro Schicht (N)	Netto-Zyklusdauer (*) (**) (Z/N)
A
B
C
D

- (*) Netto-Zyklusdauer muss jede passive Zeit im Zyklus einer repetitiven Aufgabe enthalten
- (**) Z/N · 60 bei Zyklusdauer in Sekunden; Z/N bei Zyklusdauer in Minuten

- Leistungslohn

ja nein

falls ja, von 100 bis.....

- durchschnittliche Arbeitsleistung:

des einzelnen Arbeiters

der Gruppe

- Netto-Zyklusdauer unter Berücksichtigung des Leistungsniveaus:

des einzelnen Arbeiters

der Gruppe

	Dauer (Min.) (Z)	geschätzte Arbeitsleistung		Zu- oder Abnahme der Anzahl der Einheiten/Schicht		Zyklusdauer bei geschätzter Arbeitsleistung (Sekunden)	
		Einzelner	Gruppe	Einzelner	Gruppe	Einzelner	Gruppe
A
B
C
D

Datum und Unterschrift (bzw. Angaben zur Person des Ausfüllenden):

Arbeitsbogen 4

AUFLISTUNG TECHNISCHER AKTIONEN INNERHALB EINES ZYKLUS

Aufgabe:

Technische Aktion	rechter Arm	linker Arm
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
11.		
12.		
13.		
...
...
Gesamtzahl technischer Aktionen in einem Zyklus		

		Aufgabe ____
theoretische Zykluszeit in sec		
beobachtete Zykluszeit in sec		
Anzahl technischer Aktionen/Zyklus	rechter Arm	
	linker Arm	

Aufgabe ____ Aktionsfrequenz im Zyklus	
rechter Arm	Anzahl der Aktionen/min = $\frac{\text{Anzahl technischer Aktionen/Zyklus} \cdot 60}{\text{Zykluszeit}}$
Ergebnis	
linker Arm	Anzahl der Aktionen/min = $\frac{\text{Anzahl technischer Aktionen/Zyklus} \cdot 60}{\text{Zykluszeit}}$
Ergebnis	

BERECHNUNG DES OCRA-INDEXES

Abteilung oder Anlage: Schicht:
 Arbeitsplatz oder Aufgabe:

Charakterisierung der repetitiven Tätigkeiten in einer Schicht

- Dauer der Tätigkeit während der Schicht (min)
- Durchschnittliche Dauer des Arbeitszyklus (sec)
- Frequenz der Aktionen (Zahl der Aktionen/min)
- Gesamtzahl der Aktionen in der Aufgabe

- Gesamtzahl der Aktionen in der Schicht (Summe von A, B, C, D)

RECHTER ARM				LINKER ARM			
AUFGABE				AUFGABE			
A	B	C	D	A	B	C	D

	Ae (Summe Aktionen)		Ae (Summe Aktionen)
--	-------------------------------	--	-------------------------------

Charakterisierung der nicht repetitiven Aufgaben in einer Schicht

- Gesamtminuten, die während der Ausführung einer nicht repetitiven Aufgabe als Erholung angesehen werden können
- Gesamtminuten, die während der Ausführung einer nicht repetitiven Aufgabe nicht als Erholung angesehen werden können

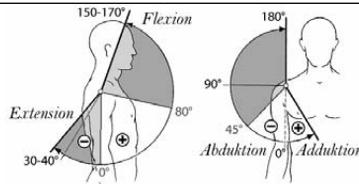
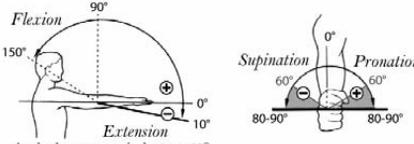
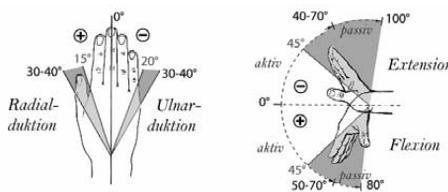
AUFGABE		
X	Y	Z

NOTIZEN:

Aufgabe:

rechter Arm linker Arm

RISIKO-
PUNKTE/
ZYKLUS

Bewegungen und Haltungen SCHULDER	 <p>[A1] BEWEGUNGEN IM RISIKOBEREICH [4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3 der Zyklusdauer</p> <p>[A2] MANGEL AN VARIATION (STEREOTYPIE) ähnliche Arbeitsbewegungen, Einbeziehung der Schulter, mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]</p> <p>[A3] ARME ANGEHOBEN (ohne Unterstützung) IM RISIKOBEREICH [4] 1/3, [8] 2/3 [12] 3/3 der Zyklusdauer</p> <p>[A4] ARME ANGEHOBEN (ohne Unterstützung) über 20° o. EXTENSION für mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]</p>	<p>... ..</p> <p>SCHULDER</p>																	
Bewegungen ELLENBOGEN	 <p>[B1] BEWEGUNGEN IM RISIKOBEREICH [4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3 Supination } der Zyklusdauer [2] 1/3, [4] 2/3, [6] 3/3 Pronation } [2] 1/3, [4] 2/3, [6] 3/3 Flexion }</p> <p>[B2] MANGEL AN VARIATION: ähnliche Arbeitsbewegungen, Einbeziehung des Ellenbogens, mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]</p>	<p>... ..</p> <p>ELLENBOGEN</p>																	
Bewegungen und Haltungen HANDGELENK	 <p>[C1] BEWEGUNG ODER HALTUNG IN RISIKOBEREICHEN [2] 1/3, [4] 2/3, [6] 3/3 Radial/Ulnar-Duktion } der Zyklusdauer [4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3 Extension } [3] 1/3, [6] 2/3, [9] 3/3 Flexion }</p> <p>[C2] MANGEL AN VARIATION ähnliche Arbeitsbewegungen, Einbeziehung des Handgelenks, mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]</p>	<p>... ..</p> <p>HANDGELENK</p>																	
Bewegungen und Haltungen FINGER	<p>[D1] Griffdauer und Fingerbewegungen</p> <table border="0"> <tr> <td>[] Umfassungsgriff (3-4 cm)</td> <td>[1] 1/3, [2] 2/3, [3] 3/3</td> <td rowspan="8">} der Zyklusdauer</td> </tr> <tr> <td>[] Umfassungsgriff (1,5 cm)</td> <td>[2] 1/3, [4] 2/3, [6] 3/3</td> </tr> <tr> <td>[] Fingerumfassungsgriff</td> <td>[3] 1/3, [6] 2/3, [9] 3/3</td> </tr> <tr> <td>[] Handumfassungsgriff</td> <td>[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3</td> </tr> <tr> <td>[] Hakengriff</td> <td>[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3</td> </tr> <tr> <td>[] Fingerbewegungen</td> <td>[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3</td> </tr> <tr> <td>[]</td> <td>[2] 1/3, [] 2/3, [] 3/3</td> </tr> <tr> <td>[]</td> <td>[] 1/3, [] 2/3, [] 3/3</td> </tr> </table> <p>Mangel an Variation:</p> <p>[D2] ähnliche Arbeitsbewegungen, Einbeziehung des gleichen Fingers, mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]</p> <p>[D3] Halten eines Objekts, mindestens 50 % der Zyklusdauer: [4]</p>	[] Umfassungsgriff (3-4 cm)	[1] 1/3, [2] 2/3, [3] 3/3	} der Zyklusdauer	[] Umfassungsgriff (1,5 cm)	[2] 1/3, [4] 2/3, [6] 3/3	[] Fingerumfassungsgriff	[3] 1/3, [6] 2/3, [9] 3/3	[] Handumfassungsgriff	[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3	[] Hakengriff	[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3	[] Fingerbewegungen	[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3	[]	[2] 1/3, [] 2/3, [] 3/3	[]	[] 1/3, [] 2/3, [] 3/3	<p>... ..</p> <p>FINGER</p>
[] Umfassungsgriff (3-4 cm)	[1] 1/3, [2] 2/3, [3] 3/3	} der Zyklusdauer																	
[] Umfassungsgriff (1,5 cm)	[2] 1/3, [4] 2/3, [6] 3/3																		
[] Fingerumfassungsgriff	[3] 1/3, [6] 2/3, [9] 3/3																		
[] Handumfassungsgriff	[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3																		
[] Hakengriff	[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3																		
[] Fingerbewegungen	[4] 1/3, [8] 2/3, [12] 3/3																		
[]	[2] 1/3, [] 2/3, [] 3/3																		
[]	[] 1/3, [] 2/3, [] 3/3																		

BERECHNUNG DES OCRA-INDEXES
ÜBERSICHT FÜR 4 REPETITIVE AUFGABEN

- Frequenzkonstante technischer Aktionen
(Zahl der technischen Aktionen/Minute)

rechter Arm				linker Arm				Aufgabe
A	B	C	D	A	B	C	D	
30	30	30	30	30	30	30	30	
X								

- Faktor: Kraft

BORGS WERT	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	A	B	C	D	A	B	C	D	Aufgabe
FAKTOR	1	0,85	0,75	0,65	0,55	0,45	0,35	0,2	0,1	0,01									FK
X																			

- Faktor: Haltung

PUNKTWERT	0-3	4-7	8-11	12-15	16	A	B	C	D	A	B	C	D	Aufgabe
FAKTOR	1	0,70	0,60	0,50	0,33									FH
X														

Schulter
Ellenbogen
Handgelenk
Hand
(*)) wähle den niedrigsten Faktor

- Faktor: Zusätzliche Einflüsse

PUNKTWERT	0	4	8	12		A	B	C	D	A	B	C	D	Aufgabe
FAKTOR	1	0,95	0,90	0,80										FZ
X														

- Dauer jeder repetitiven Aufgabe in Minuten

A	B	C	D	A	B	C	D	Aufgabe
								D
=								

- Zahl der empfohlenen Aktionen pro repetitiver Aufgabe und Gesamtzahl
(Teilergebnis ohne Faktor Erholung)

(rechts jeweils die Summe aus $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ für die beiden Arme eintragen)

α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	re. π $=\Sigma$	li. π $=\Sigma$

- Faktor für den Mangel an Erholung
(Zahl der Arbeitsstunden ohne adäquate Erholungszeit)

ZAHl STUNDEN	0	1	2	3	4	5	6	7	8
FAKTOR	1	0,90	0,80	0,70	0,60	0,45	0,25	0,10	0

- Faktor für die Gesamtdauer repetitiver Aufgaben

MINUTEN	< 120	120-239	240-480	> 480
FAKTOR	2	1,5	1	0,5

FR rechter Arm

$$\boxed{} \quad Ar = \pi \cdot FR \cdot FD$$

FD linker Arm

$$\boxed{} \quad Ar = \pi \cdot FR \cdot FD$$

		rechter Arm	linker Arm			rechter Arm	linker Arm
I.E	=	Gesamtzahl der beobachteten TA	= Ae				
	=	Zahl der empfohlenen TA	= Ar				
I.E	=	Gesamtzahl der beobachteten TA	= Ae				
	=	Zahl der empfohlenen TA	= Ar				

OCRA-Checkliste 1

Verkürzte Vorgehensweise zur Feststellung der Belastung im Bereich der oberen Extremität durch repetitive Tätigkeiten

ausgeführt von Datum _____

Name des Probanden und kurze Beschreibung des Arbeitsplatzes

.....

Nummer des Arbeitsplatzes []

- ART DER ARBEITSUNTERBRECHUNGEN (mit Pausen oder anderen, Pausen entsprechenden Arbeiten, z.B. visuelle Kontrollaufgaben) (maximale Punktzahl = 10).
 Wählen Sie eine Antwort. Es ist möglich, intermediäre Punktwerte zu wählen.

[0]-	Es gibt einmal stündlich eine Unterbrechung für wenigstens 5 Minuten (Mittagspause mitzählen)
[1]-	Es gibt 2 Unterbrechungen morgens und 2 nachmittags (neben der Mittagspause), in einer 7- bis 8- Stunden-Schicht für wenigstens 7 bis 10 Minuten, oder wenigstens 4 Unterbrechungen pro Schicht (neben der Mittagspause), oder wenigstens 4 Unterbrechungen in einer 6-Stunden-Schicht für 7 bis 10 Minuten
[3]-	Es gibt 2 Pausen in einer 6-Stunden-Schicht für jeweils mindestens 7 bis 10 Minuten (plus der Mittagspause), oder 3 Pausen (plus der Mittagspause) in einer 7- bis 8-Stunden-Schicht
[4]-	Es gibt 2 Pausen in einer 7- bis 8-Stunden-Schicht für jeweils mindestens 7 bis 10 Minuten (plus der Mittagspause oder 3 Pausen ohne Mittagspause), oder 1 Pause in einer 6-Stunden-Schicht für wenigstens 7 bis 10 Minuten
[6]-	Es gibt eine einzige Pause für wenigstens 10 Minuten in einer 7-Stunden-Schicht (ohne Mittagspause), oder es gibt nur eine Mittagspause in einer 8-Stunden-Schicht (Mittagspause wird nicht zu den Arbeitsstunden gezählt)
[10]-	Es gibt keine echten Pausen außer Unterbrechungen für einige Minuten (< 5 Minuten) in einer 7- bis 8-Stunden-Schicht

ERHOLUNG

NOTIZEN:

.....

BITTE BEACHTEN: Es ist nützlich, der Checkliste einen Lageplan der Abteilung anzuheften, in dem der untersuchte Arbeitsplatz eingezeichnet werden kann.

BESCHREIBUNG VON
 HALTUNG, KRAFT UND ZUSÄTZLICHEN RISIKOFAKTOREN
 FÜR JEDE REPETITIVE AUFGABE IN EINER SCHICHT

- ARMAKTIVITÄT UND AUSFÜHRUNGSFREQUENZ DER ARBEITSZYKLEN
 (maximale Punktzahl = 10). Wählen Sie eine Antwort. Es ist möglich,
 intermediäre Punktwerte zu wählen.
 Markieren Sie den aktiveren Arm: links rechts

[0]-	langsame Armbewegungen, kurze Unterbrechungen sind häufig möglich (20 Aktionen pro Minute)
[1]-	nicht zu schnelle, konstante und regelmäßige Armbewegungen, kurze Unterbrechungen sind möglich (30 Aktionen pro Minute)
[3]-	recht schnelle und regelmäßige Armbewegungen, kurze Unterbrechungen sind möglich (etwa 40 Aktionen pro Minute)
[4]-	recht schnelle und regelmäßige Armbewegungen, kurze Unterbrechungen sind nur gelegentlich und unregelmäßig möglich (etwa 40 Aktionen pro Minute)
[6]-	schnelle Armbewegungen, kurze Unterbrechungen sind nur gelegentlich und unregelmäßig möglich (etwa 50 Aktionen pro Minute)
[8]-	schnelle Armbewegungen, mangelnde Unterbrechungen erschweren es, das Arbeitstempo zu halten (etwa 60 Aktionen pro Minute)
[10]-	sehr schnelle Armbewegungen mit hohen Frequenzen, absolut keine Unterbrechungen sind möglich (≥ 70 Aktionen pro Minute)

FREQUENZ

OCRA-Checkliste 3

- VORHANDENSEIN VON TÄTIGKEITEN, DIE WIEDERHOLT DEN KRAFTVOLLEN EINSATZ DER HÄNDE/ARME ERFORDERN (MIN. EINMAL ALLE PAAR ZYKLEN WÄHREND DER UNTERSUCHTEN TÄTIGKEIT) JA NEIN

Mehr als eine Antwort kann angekreuzt werden. Es ist möglich, intermediäre Punktwerte zu wählen.
 Addieren Sie die erhaltenen Punkte der Einzelwertungen.
 Markieren Sie den aktiveren Arm: links rechts

FALLS JA:

	Diese Arbeit beinhaltet:	
<input type="checkbox"/>	Die Handhabung von Objekten mit mehr als 3 kg Gewicht	[1] – einmal alle paar Zyklen
<input type="checkbox"/>	Greifen zwischen Zeigefinger und Daumen und Anheben von Objekten, die mehr als 1 kg wiegen (Pinzettengriff)	[2] – einmal in jedem Zyklus
<input type="checkbox"/>	Nutzung des Körpergewichts, um die notwendige Kraft aufzubringen	[4] – etwa die Hälfte des Zyklus
<input type="checkbox"/>	Einsatz der Hände als klopfende oder hämmende Werkzeuge	[8] – über die Hälfte des Zyklus

	Diese Arbeit verlangt hohen Kraftaufwand für:	
<input type="checkbox"/>	Ziehen oder Schieben von Hebeln	[4] – 1/3 der Zeit
<input type="checkbox"/>	Drücken von Schaltern	[6] – etwa die Hälfte der Zeit
<input type="checkbox"/>	Schließen oder Öffnen	[8] – über die Hälfte der Zeit(*)
<input type="checkbox"/>	Drücken oder manuelles Bearbeiten von einzelnen Komponenten	[16] – beinahe die ganze Zeit(*)
<input type="checkbox"/>	Nutzung von Werkzeugen, Instrumenten	
<input type="checkbox"/>	

	Diese Arbeit verlangt mäßigen Kraftaufwand für:	
<input type="checkbox"/>	Ziehen oder Schieben von Hebeln	[2] – 1/3 der Zeit
<input type="checkbox"/>	Drücken von Schaltern	[4] – etwa die Hälfte der Zeit
<input type="checkbox"/>	Schließen oder Öffnen	[6] – über die Hälfte der Zeit (*)
<input type="checkbox"/>	Drücken oder manuelles Bearbeiten von einzelnen Komponenten	[8] – beinahe die ganze Zeit (*)
<input type="checkbox"/>	Nutzung von Werkzeugen, Instrumenten	
<input type="checkbox"/>	

(*) BITTE BEACHTEN : Diese markierten Tätigkeitsbedingungen sind nicht akzeptabel!

KRAFT

OCRA-Checkliste 4

- VORHANDENSEIN VON UNGÜNSTIGEN HALTUNGEN DER ARME WÄHREND DER REPETITIVEN AUFGABE
(maximale Punktzahl = 11)
Markieren Sie den aktiveren Arm: links rechts beide

[1]	- der Arm liegt nicht auf der Arbeitsfläche auf, sondern ist leicht angehoben für über die Hälfte der Zeit	[] A
[2]	- der Arm wird ohne Unterstützung etwa auf Schulterhöhe gehalten für etwa 1/3 der Zeit	
[4]	- der Arm wird ohne Unterstützung etwa auf Schulterhöhe gehalten für über die Hälfte der Zeit	
[8]	- der Arm wird ohne Unterstützung etwa auf Schulterhöhe gehalten für beinahe die ganze Zeit	

[2]	- das Handgelenk muss extreme Bewegungen ausführen oder ungünstige Haltungen einnehmen für etwa 1/3 der Zeit (weit ausladende Flexion/Extension oder Seitführung)	[] B
[4]	- das Handgelenk muss extreme Bewegungen ausführen oder ungünstige Haltungen einnehmen für über die Hälfte der Zeit	
[8]	- das Handgelenk muss extreme Bewegungen ausführen für beinahe die ganze Zeit	

[2]	- der Ellenbogen führt plötzliche Bewegungen aus für etwa 1/3 der Zeit	[] C
[4]	- der Ellenbogen führt plötzliche Bewegungen aus für über die Hälfte der Zeit	
[8]	- der Ellenbogen führt plötzliche Bewegungen aus für beinahe die ganze Zeit	

GREIFEN VON GEGENSTÄNDEN, TEILEN ODER WERKZEUGEN MIT DEN FINGERSPITZEN			
<input type="checkbox"/>	- mit zusammengeführten Fingerspitzen (Pinzettengriff)	[2] für etwa 1/3 der Zeit	[] D
<input type="checkbox"/>	- mit beinahe geöffnete Hand (palmarer Griff)	[4] für über die Hälfte der Zeit	
<input type="checkbox"/>	- hakenförmig gehaltenen Fingern	[8] die ganze Zeit	

[3]	- Vorhandensein von wiederkehrenden, identischen Bewegungen der Schulter und/oder des Ellenbogens und/oder der Hand und/oder des Handgelenks für mindestens 2/3 der Zeit (Wählen Sie auf jeden Fall 3 Punkte, wenn die Zyklusdauer < 15 s beträgt!)	[] E
-----	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------

BITTE BEACHTEN: Suchen Sie den höchsten Punktwert unter den ersten 4 Angaben (A, B, C, D) aus und – falls vorhanden – addieren Sie diesen zu dem Punktwert unter E.

HALTUNG

OCRA-Checkliste 5

- **VORHANDENSEIN ZUSÄTZLICHER RISIKOFAKTOREN**
Wählen Sie eine Antwort pro Fragengruppe und addieren Sie die Punktwerte.

[2]	- Der Aufgabe unangemessene Handschuhe werden für über die Hälfte der Zeit getragen (unbequem, zu dick, zu groß, etc.)
[2]	- vibrierende Werkzeuge werden für über die Hälfte der Zeit benutzt
[2]	- benutzte Werkzeuge führen zur Kompression der Haut (Rötung, Verdickung, Blasen- oder Pustelbildung etc.)
[2]	- Präzision erfordernde Aufgaben werden für über die Hälfte der Zeit ausgeführt (Aufgaben mit einer räumlichen Genauigkeit von < 2 oder 3 mm)
[2]	- mehr als ein zusätzlicher Risikofaktor ist gleichzeitig für über die Hälfte der Zeit vorhanden (d.h.,)
[3]	- mehr als ein zusätzlicher Risikofaktor ist gleichzeitig für über die ganze Zeit vorhanden (d.h.,)
[1]	- Arbeitstempo wird von der Maschine vorgegeben, aber es gibt Atempausen“, in denen das Tempo verlangsamt oder beschleunigt werden kann
[2]	- Arbeitstempo wird vollständig von der Maschine bestimmt

ZUSÄTZLICHE
FAKTOREN

- **VORHANDENSEIN VON ARBEITSTÄTIGKEITEN
MIT IN ZYKLEN ORGANISIERTEN AUFGABEN
(ZYKLUS = ABFOLGE VON TÄTIGKEITEN, DIE IN GLEICHBLEIBENDER WEISE
ALLE PAAR SEKUNDEN ODER MINUTEN WIEDERHOLT WERDEN)**
Mehr als eine Antwort kann angekreuzt werden.

- für wenigstens 2 bis 3 Stunden in der Schicht
- für wenigstens 4 bis 5 Stunden in der Schicht
- für 6 bis 8 Stunden in der Schicht
- Akkord, Entlohnung auf Prämienbasis
- gewohnheitsmäßige Überstunden

OCRA-Checkliste 6

BERECHNUNG DES EXPOSITIONSINDEXES FÜR REPETITIVE AUFGABEN

Um den Index der einzelnen untersuchten Tätigkeiten zu berechnen, addieren Sie die Punktwerte der 5 Kästchen „Erholung + Frequenz + Kraft + Haltung + zusätzliche Faktoren“. Falls mehrere repetitive Aufgaben während einer Schicht ausgeführt wurden, benutzen Sie die folgende Gleichung, um die Gesamtbewertung der repetitiven Arbeit während der Schicht zu erhalten (% P X = prozentualer Zeitanteil der Aufgabe X während der Schicht).

$$(\text{Punktwert A} \cdot \% \text{ PA}) + (\text{Punktwert B} \cdot \% \text{ PB}) + \text{etc.}$$

AUSGEFÜHRTE AUFGABE UND/ODER BEZEICHNUNG DES ARBEITSPLATZES: → % P X

ARBEITSPLATZ/TÄTIGKEIT	DAUER (MINUTEN)	VORKOMMEN/SCHICHT (P)
A(PA)
B(PB)
C(PC)
D(PD)
⋮	⋮	⋮
X(PX)

[] EXPOSITIONSINDEX

- BITTE BEACHTEN:
- Bei Teilzeitbeschäftigungen, die lediglich 2 Stunden repetitive Aufgaben in einer Schicht umfassen, muss der Checklisten-Wert noch mit 0,5 multipliziert werden.
 - Bei Teilzeitbeschäftigungen, die 3 bis 5 Stunden repetitive Aufgaben in einer Schicht umfassen, muss der Checklisten-Wert noch mit 0,75 multipliziert werden.

Korrespondierende Punktwerte zwischen OCRA und Checkliste

CHECKLISTE	OCRA	
bis 6	2	GRÜN, GRÜN/GELB = KEIN RISIKO
6,1 bis 11,9	2,1 bis 3,9	GELB/ROT = NIEDRIGES RISIKO
12 bis 18,9	4 bis 7,9	MITTLERER BEREICH = MITTLERES RISIKO
≥ 19	≥ 8	OBERER BEREICH = HOHES RISIKO

3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität

Aus den bisherigen Darstellungen wird ersichtlich, wie schwierig es ist, alleine die Belastungsfaktoren, die physische Belastungen während repetitiver Arbeit kennzeichnen und im Zusammenhang mit AMSE-OE gesehen werden, möglichst objektiv zu ermitteln, zumal eine Momentaufnahme dieser Faktoren in vielen Fällen nicht ausreicht. Um eine kontinuierliche Erfassung solcher Risikofaktoren für AMSE-OE direkt am Arbeitsplatz und deren Analyse zu ermöglichen, wurde das im BGIA entwickelte und seit nunmehr fast zehn Jahren im Einsatz befindliche CUELA-System (Computerunterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) erweitert [1; 139 bis 141]. Sowohl bei der ursprünglichen Entwicklung als auch der Weiterentwicklung wurden folgende Anforderungen an das Messsystem gestellt:

- ortsungebundene Langzeiterfassung von Belastungsfaktoren (Körperbewegungen, -haltungen und -kräfte) unter realen Arbeitsbedingungen mit hoher Auflösung
- Einsatz von robuster und langzeitstabiler Sensorik
- komfortable und möglichst rückwirkungsfreie Anbringung der Sensorik mit individuellen Einstellmöglichkeiten

- effiziente Analysemöglichkeiten der Messdaten mit einer zugehörigen Software

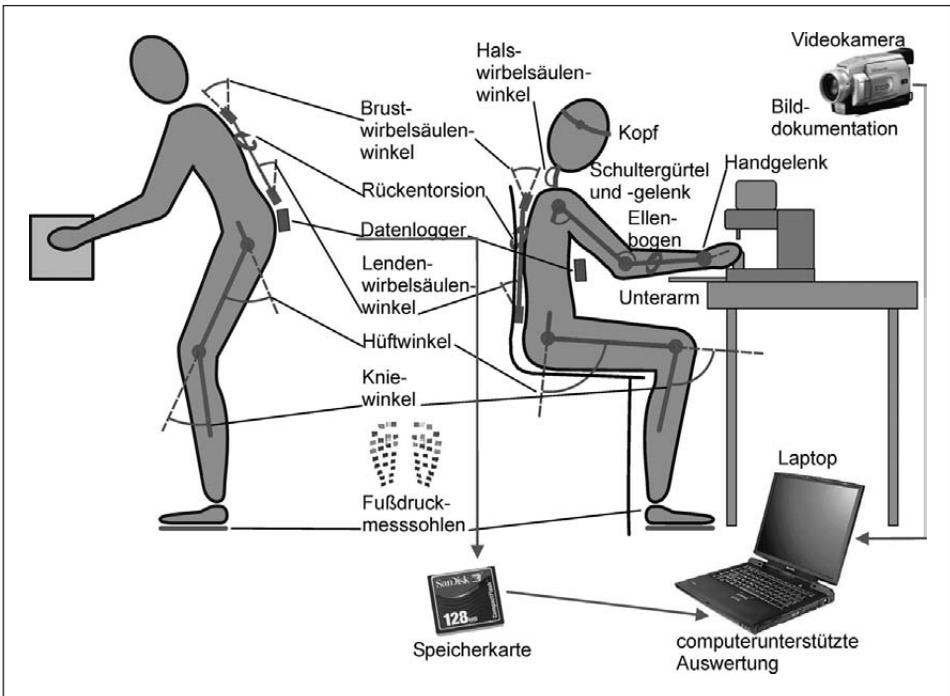
3.1 Messtechnik

Der prinzipielle Aufbau der Basisversion des mechanisch/elektronischen CUELA-Systems ist in Abbildung 14 (siehe Seite 114) dargestellt. Mithilfe mechanischer Bauteile (rucksackähnliches Gestell, Hüftgurt, Kunststoffschalen und Beingurte) werden verschiedenartige Sensoren am Menschen über seiner Arbeitskleidung befestigt. Durch Verstellen der Gurte und der anderen mechanischen Bauteile ist eine komfortable Anbringung für einen großen Personenkreis (Körpergröße von 1,60 m bis 2,05 m) möglich. In Abbildung 15 a und b (siehe Seite 115 f.) sieht man Probanden mit der Basisversion bzw. mit der erweiterten Version des CUELA-Systems. Die Anbringung und die Funktionskontrolle des Systems vor Beginn der Messung dauern je nach System und nötiger Anpassung etwa 20 bis 40 Minuten. Die gesamte Masse des erweiterten Systems in Abbildung 15 beträgt ungefähr 3 kg.

Die Bewegungen der unteren Extremität und des Rückens sowie die Bodenreaktionskräfte werden mit folgenden Komponenten erfasst:

3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität

Abbildung 14 :
Schematische Darstellung des CUELA-Basissystems (links) und des erweiterten Systems (rechts)



□ BWS-Sensorbox

Im Bereich der Brustwirbelsäule (BWS) wird eine Sensorbox zur Ermittlung von BWS-Flexion/Extension und BWS-Lateralflexion angebracht. Die Kombination der Daten von Inklinometern und Gyroskopen erlaubt eine präzise Erfassung von Winkeländerungen bis

zu 300°/s und gewährleistet zugleich eine hinreichende Langzeitgenauigkeit über mehrere Stunden.

□ LWS-Sensorbox

Im Bereich der Lendenwirbelsäule (LWS) befindet sich eine entsprechende Sensorbox zur Bestimmung



Abbildung 15 a:
CUELA-System am Proband
bei der Arbeit – Basisversion

von LWS-Flexion/Extension und LWS-Lateralflexion. BWS- und LWS-Sensorbox sind zusätzlich mit einer biegsamen und in Längsrichtung beweglich geführten Welle verbunden. Über

einen kontaktlos arbeitenden Winkelsensor an der BWS-Sensorbox wird die Verdrehung der Welle und damit die Torsion der Wirbelsäule bestimmt.

3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität

Abbildung 15 b:
CUELA-System am Proband bei der Arbeit – erweiterte Version



□ Winkelsensoren für Hüfte und Knie

Mithilfe von Potentiometern, die direkt neben den Gelenken in Verlängerung der Drehachsen angebracht werden, werden Hüft- und Knieflexionen in der Sagittalebene erfasst.

□ Fußdruckmesssohlen

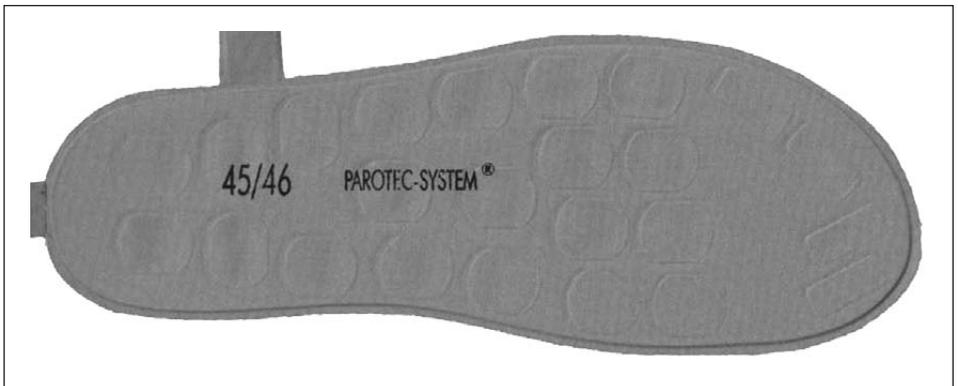
Die Bodenreaktionskräfte werden mithilfe von Druckmesssohlen bestimmt, die in die

Schuhe der Versuchsperson eingelegt werden. Die Messsohlen bestehen jeweils aus 24 Hydrozellen mit piezoresistiver Drucksensorik (siehe Abbildung 16).

□ Datenlogger

Der Datenlogger (Abbildungen 17 a und b, siehe Seite 118 f.) ist ein Mikrocontrollersystem, das die analogen

Abbildung 16:
Drucksensitive Einlegesohlen zur Messung der Bodenreaktionskräfte



Messsignale aus den Sensoren einliest, digitalisiert und auf eine handelsübliche Compact-Flash-Karte abspeichert. Die Abtastfrequenz ist einstellbar und beträgt im Normalfall 50 Hz. Der Datenlogger ist in der Lage, bis zu 96 Kanäle mit einer Auflösung von 10 Bit zu erfassen. Parallel werden die Druckwerte der Messsohlen – ebenfalls bis zu 96 Kanäle – erfasst. Bei einer Standard-Sensorkonfiguration aus Bewegungserfassung und einem Paar Messsohlen ergibt sich ein Speicherbedarf von ca. 22 MB/h, d.h., auf eine gebräuchliche Compact-Flash-Speicherkarte von 256 MB können über zwölf Stunden Messdaten aufgezeichnet werden. Der geringe Energieverbrauch lässt

mit einem kompakten und ebenfalls handelsüblichen Lithium-Ionen-Akku einen Betrieb von vier Stunden zu. Die Signalanbindung der LWS- und BWS-Sensorboxen an den Datenlogger erfolgt über ein speziell entwickeltes Bussystem. Dadurch ist der Verdrahtungsaufwand erheblich reduziert und ein Vertauschen der Sensorboxen über eine automatische Erkennung ausgeschlossen.

Bei der hier verwendeten erweiterten Version, dem sogenannten CUELA-Schulter-Arm-System, werden zusätzlich die Bewegungen der oberen Extremität (Schultergürtel, Oberarm, Unterarm, Hände) aufgezeichnet. Ähnlich wie bei

3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität



Abbildung 17 a:
Datenlogger von der
linken Seite – Schalter und
Speicherkartenfach

Hüft- und Kniegelenk werden Potentiometer verwendet, die in Verlängerung der Drehachsen der Gelenke angebracht werden. Während bei den unteren Extremitäten nur die Winkel in der Sagittalebene gemessen werden, erfasst das

Schulter-Arm-System alle Freiheitsgrade der Armbewegungen. Dadurch sind zum Teil umfangreiche mechanische Konstruktionen nötig, um die Gelenkbewegungen in geeigneter Weise auf Potentiometer zu übertragen (vgl. Abbildung 15 b).



Abbildung 17 b:
Datenlogger von der
rechten Seite – Verkabelung

In Tabelle 13 (siehe Seite 120) sind die jeweiligen Freiheitsgrade der betrachteten Gelenke/Körperregionen gemeinsam mit den verwendeten Sensoren für das gesamte CUELA-Schulter-Arm-System zusammengestellt.

Im fortlaufenden Prozess zur Anpassung des CUELA-Systems an die unterschiedlichen Anforderungen sind optionale Zusatzmodule möglich geworden oder in der Entwicklung; dies sind:

3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität

Tabelle 13:
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
Ellenbogengelenk	Flexion/Extension	Potentiometer
Unterarm	Pro-/Supination	Potentiometer
Handgelenk	Flexion/Extension, Radial-/Ulnarabduktion	Potentiometer

□ Externe Kraftsensorik

Im BGIA wurden Kraftgriffe (Abbildung 18 a) auf der Grundlage von piezoelektrischen Kraftsensoren entwickelt, mit denen die von den Händen ausgeübten Kräfte und Drehmomente erfasst werden können (z.B. beim Schieben einer Schubkarre oder

eines Rollwagens). Diese Kraftsensorik kann ebenfalls direkt an den Datenlogger angeschlossen werden [142].

□ Druckhandschuhe

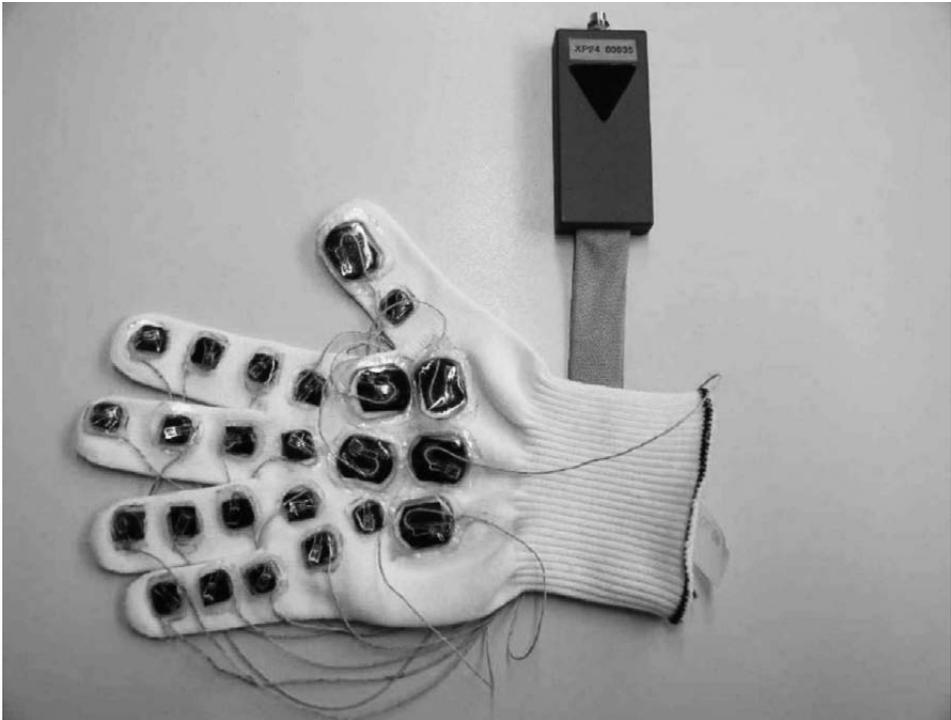
Auf der Basis der drucksensitiven Hydrozellen der im CUELA-System verwendeten Messsohlen wurde mit der Entwicklung

Abbildung 18 a:
Modell des Kraftgriffs



3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität

Abbildung 18 b:
Modell des Druckhandschuhs



von Handschuhen (Abbildung 18 b) zur Erfassung von Greifkräften begonnen. Sie lassen sich in gleicher Weise wie die Messsohlen und – dank ausreichend vieler Kanäle – zusätzlich an den Datenlogger anschließen [143].

- Elektrokardiografie (EKG)/Herzschlagfrequenzmessung

EKG/Herzschlagfrequenz können gemeinsam mit der CUELA-Messdatenerfassung registriert werden. Die zeit-

gleiche Wiedergabe der Daten wird entweder direkt oder durch eine spätere Synchronisation erzielt [144].

□ Elektromyografie (EMG)

Mit einer kleinen EMG-Erweiterung lassen sich die Aktivitäten relevanter Muskelpartien auf vier Kanälen überwachen. Die hochfrequenten EMG-Daten werden innerhalb dieser Box (Abbildung 19, siehe Seite 124) bereits analysiert, sodass der Datenlogger mit seiner typischen Datenrate von 50 Hz lediglich die Ergebnisse der EMG-Analyse aufzeichnet (Effektivwert, Mittenfrequenz [FFT], Amplitude der Mittenfrequenz) [145].

□ Ganzkörpervibration

Typische Kenngrößen der Ganzkörperschwingungsexposition, die mit kommerziellen Schwingungsanalytoren erfasst werden, können mithilfe eines externen manuellen Triggers zu CUELA-Messdaten synchronisiert werden [146].

□ Üblicherweise werden die CUELA-Messungen durch Videoaufnahmen begleitet, die in einem einfachen Verfahren zu den Messwerten synchronisiert werden; dadurch dokumentieren sie die jeweils zugehörige Arbeitssituation und -umgebung.

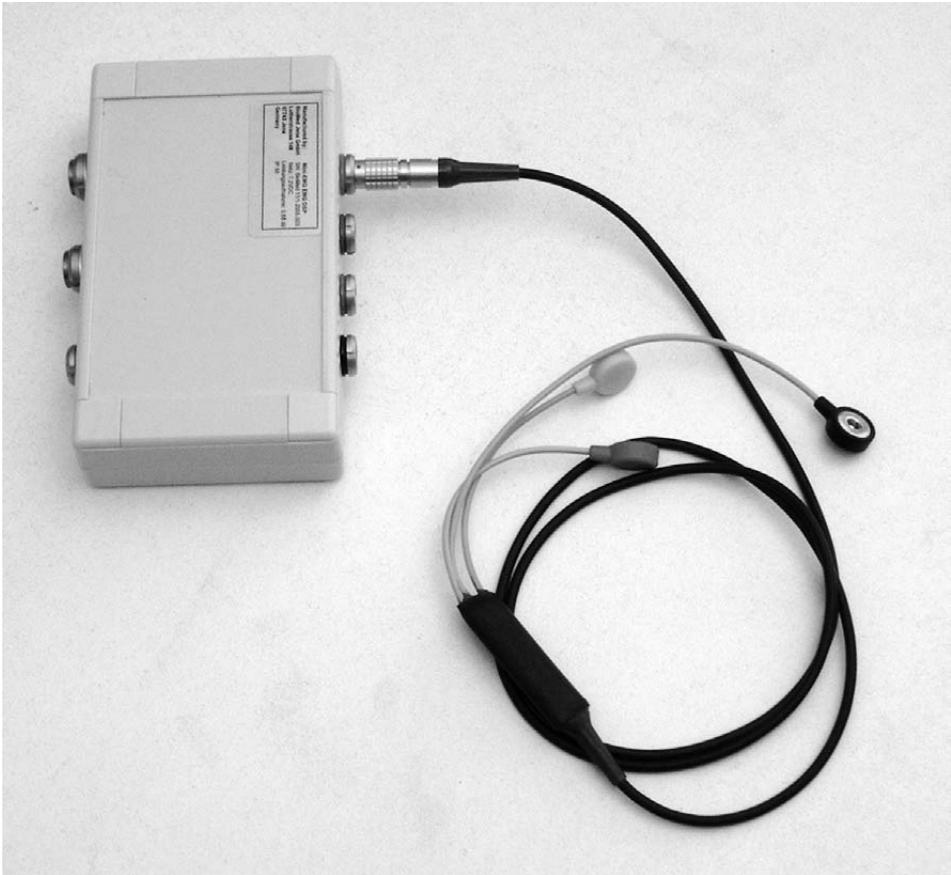
3.2 Computerunterstützte Auswertung

Die WIDAAN-Software (WIDAAN; Winkel-Daten-Analyse) ist das Verarbeitungs- und Auswertungsprogramm zum CUELA-System. Alle Messdaten, die mit dem CUELA-System aufgezeichnet werden, können mit WIDAAN eingelesen und dargestellt werden. So können im Rahmen von Probemessungen Messdaten über eine Bluetooth-Verbindung und mittels eines Online-Aufzeichnungsmodus des CUELA-Datenloggers vor Beginn der eigentlichen Messung direkt an den Computer weitergeleitet und in Echtzeit visualisiert werden. Dadurch kann die Funktionsfähigkeit der Sensoren und deren Anbringung in einfacher Weise überprüft werden.

Nach Abschluss einer Messung ermöglicht es diese Software, sich zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Messung die Körperhaltung anhand einer dreidimensionalen Computerfigur (sogenannte CUELA-Puppe), eine frei wählbare Kombination der Messdaten als zeitabhängige Graphen und parallel dazu das Videobild anzeigen zu lassen. Dadurch erhält man bei jeder Messung einen optimalen Überblick über die Körperhaltung, die getragenen Lastgewichte und/oder weitere Messdaten, einzelne Tätigkeiten und die Arbeitsumgebung (vgl. Abbildung 20, siehe Seite 125).

3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität

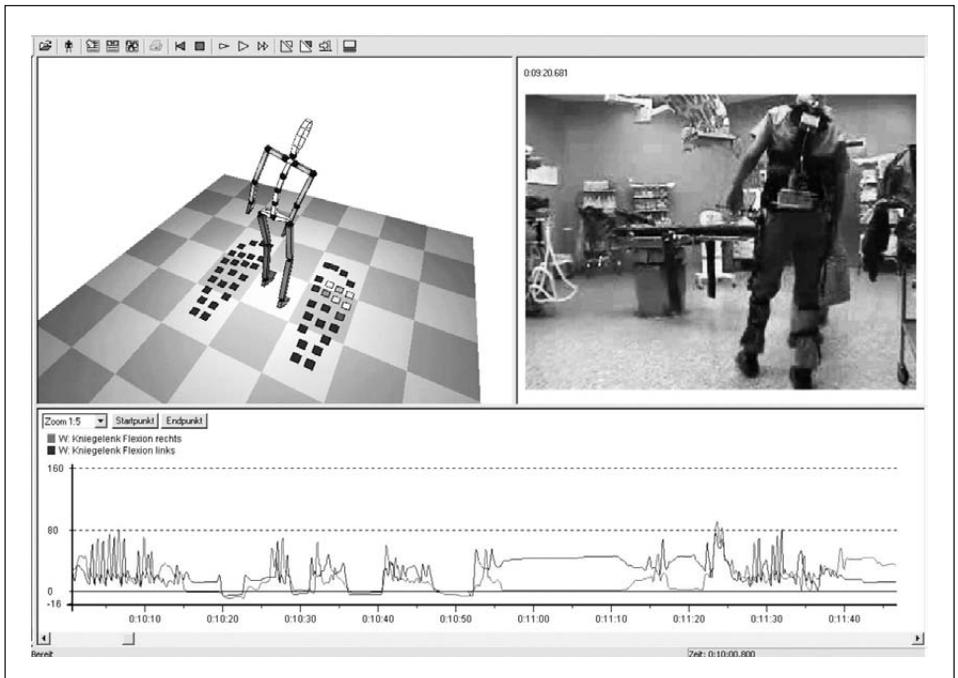
Abbildung 19:
EMG-Box



WIDAAN bietet dem Anwender, der in seiner Arbeit durch die Menüsteuerung der Software unterstützt wird, eine

Reihe von Möglichkeiten der Messdatenbearbeitung und -auswertung, z.B.

Abbildung 20:
WIDAAN-Darstellung: CUELA-Puppe (mit Fußdruckmesssohlen), Video und Winkelgraph



- Ermittlung statischer Haltungen
- Berechnung von Winkelgeschwindigkeiten und ausgewählten Kräften
- automatische Markierung relevanter Bereiche, z.T. nach Definition des Anwenders (z.B. ungünstige oder statische Körperhaltungen, Lasthandhabungen etc.)
- freihändige Markierung von Intervallen der Messung nach Tätigkeiten, Arbeitszyklen oder anderen Kriterien
- automatisierte Auszählung von Bewegungen eines Gelenks in einer Ebene
- Erstellung von Statistiken einzelner Messungen, einzelner Messintervalle bzw. frei gewählter Kombinationen

3 Messtechnische Erfassung und computerunterstützte Auswertung von Bewegungsdaten der oberen Extremität

von Intervallen (u.a. Histogramme, kombinierte Belastungsdiagramme)

- ❑ vergleichende Statistiken mehrerer Messungen oder Messintervalle (Boxplots)
- ❑ integrierte Haltungsanalyse nach dem OWAS-Verfahren [147]
- ❑ Auswertung nach dem Mainz-Dortmunder Dosismodell [148; 149]
- ❑ Ganganalyse der Messung [150]

Alle vom CUELA-System gemessenen Körperhaltungswinkel lassen sich mit dem WIDAAN-Programm auch als Textdatei ausgeben, um mit diesen Daten in SPSS oder anderen statistischen Auswertungsprogrammen weiterarbeiten zu können.

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

In den letzten Jahren konnten mithilfe des CUELA-Schulter-Arm-Systems verschiedene Arbeitsplätze und Tätigkeiten, für die ein Zusammenhang mit AMSE-OE berichtet wurde, untersucht werden. Zur Belastungsanalyse und Bewertung der erhobenen Daten in Bezug auf Risiken für AMSE-OE wurden die in Abschnitt 2.7 beschriebenen Bewertungsverfahren – sowohl für einzelne Risikofaktoren als auch für die integrierte Bewertung mehrerer Risikofaktoren – benutzt. Zunächst wird hier beschrieben, in welcher Weise das CUELA-System und die WIDAAN-Software die spezifische Anwendung eines Verfahrens auf die Daten objektiviert und unterstützt. Des Weiteren ermöglicht diese Messtechnik und computerunterstützte Datenbearbeitung eine vereinfachte und rasche Mehrfachbewertung desselben Datensatzes durch verschiedene Bewertungsverfahren zum Zweck des wissenschaftlichen Vergleichs. Anhand einiger Beispiele wird dieser Vergleich hier ebenfalls dargestellt.

4.1 Anwendung der Verfahren auf CUELA-Datensätze

4.1.1 Bewertung der Repetition

Zunächst wird überprüft, ob die Kriterien der Definition von Repetition nach *Silverstein*

et al. von der untersuchten Tätigkeit erfüllt werden (siehe Abschnitt 2.6.1 und 2.7.1).

In Abbildung 21 (siehe Seite 128) ist dargestellt, dass kurze Zyklen < 30 s auch in den zeitabhängigen Winkelgraphen erkennbar sind und damit die Überprüfung der Gleichförmigkeit der Bewegungen objektivieren. Im Anschluss kann die Zahl einzelner Bewegungen für die Gelenkregionen der oberen Extremität automatisiert ermittelt werden. Diese mithilfe von WIDAAN vereinfachte Auszählung der Bewegungen erlaubt aber auch die Bestimmung der mittleren Anzahl von Bewegungen pro Minute über einen beliebig langen Messzeitraum, auch für sehr lange Arbeitszyklen, die den zweiten Teil der „Silverstein-Definition“ erfüllen.

Die Bewertung der Repetitivität erfolgt durch Vergleich der ausgezählten Bewegungen pro Minute für eine Gelenkregion mit den Daten, die in der Literaturübersicht von *Kilbom* angegeben werden und in den Tabellen 5 und 6 (siehe Seite 58 f.) dargestellt sind [80; 81].

4.1.2 Bewertung von statischen Belastungen

Inwieweit die Winkelwertverteilung der Körperhaltungen neben Bewegungen von statischen Haltungen beeinflusst wird, kann einem Diagramm entnommen werden, das

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

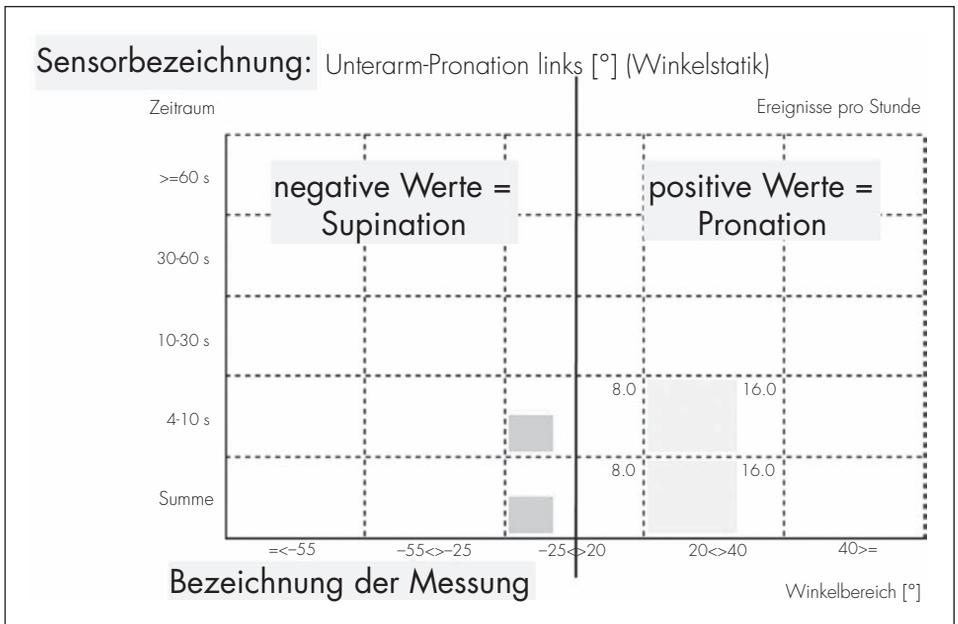
Abbildung 21:
Winkel-Zeit-Graph mit markiertem, vorhergehendem und nachfolgendem Arbeitszyklus



anhand eines Beispiels in Abbildung 22 erklärt wird. Solche Diagramme beruhen auf der automatisierten Erkennung, Markierung und Auszählung der statischen Haltungen nach den Kriterien im Abschnitt 2.7.2 (siehe Abbildung 23 auf Seite 130). Auf der

Abszisse sind die Winkelklassen mit den bekannten Grenzen für das Bewegungsausmaß (nahezu neutral, mittelgradig und endgradig) aufgetragen. Die Ordinate gibt Intervalle der Dauer statischer Haltungen an. Die eingetragenen, der Winkelklasse

Abbildung 22:
Diagramm zur Häufigkeit und Dauer statischer Haltungen



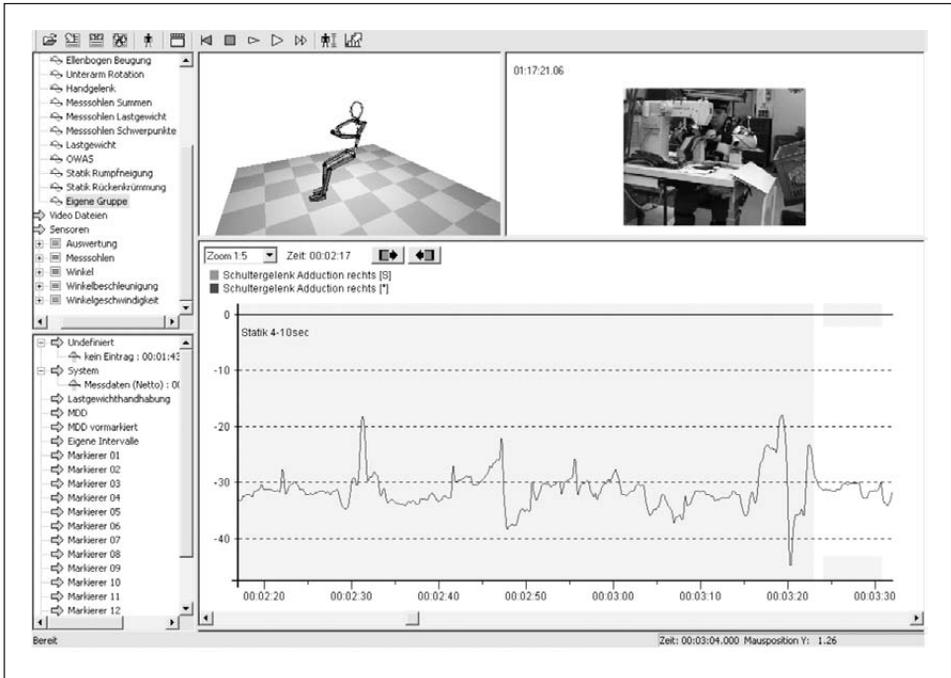
entsprechend farbigen Rechtecke veranschaulichen durch ihre Fläche die auf eine Stunde normierte Anzahl der Ereignisse statischer Haltungen von einer bestimmten Dauer im Bewegungsraum der entsprechenden Winkelklasse.

4.1.3 Bewertung ungünstiger Haltungen und Bewegungen (Gelenkwinkelstellungen)

Die in Tabelle 8 (siehe Seite 73 ff.) dargestellten Winkelklassen finden Eingang in

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

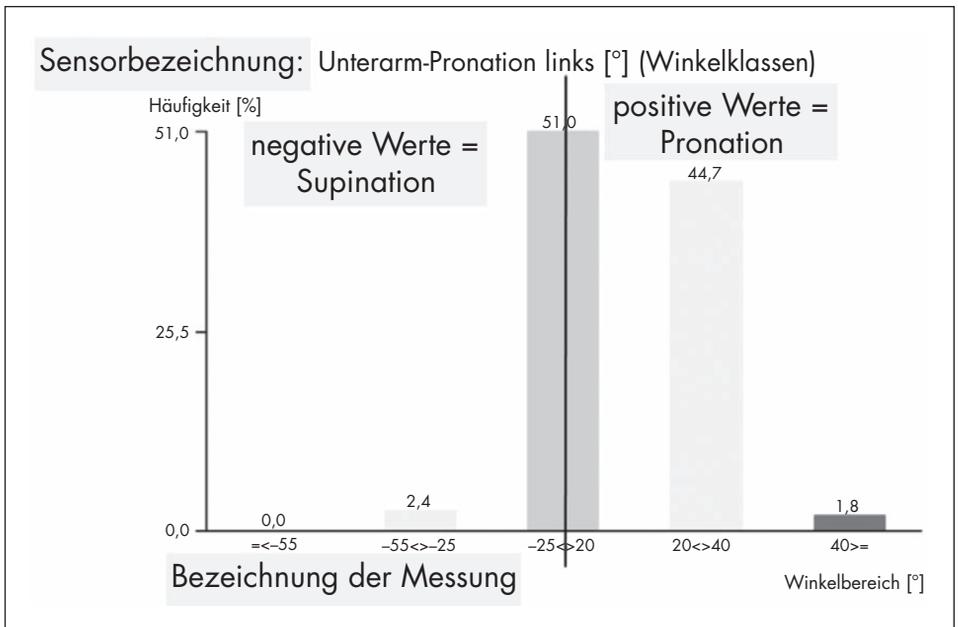
Abbildung 23:
Automatisierte Erkennung und Markierung statischerhaltungen während der Messung



die automatisch erstellten Diagramme, in denen die Einfärbungen der Winkelbereiche im Diagramm denen der bewerteten Winkelbereiche entsprechen. Solche Diagramme können sowohl als Säulen- (Abbildung 24) als auch als Boxplot-Diagramme (Abbildung 25 auf Seite 132) erstellt werden.

In dem Säulendiagramm wird jede Winkelklasse (siehe Tabelle 8) durch eine farbige entsprechende Säule repräsentiert. Die Höhe der Säule gibt den Zeitanteil der Messung an, für den Bewegungen und Haltungen in diesem Bewegungsbereich ausgeführt werden.

Abbildung 24:
Säulendiagramm



Ein Boxplotdiagramm liefert eine gute grafische Zusammenfassung verschiedener Eigenschaften einer Verteilung (Abbildung 26, siehe Seite 132). Das Kästchen umfasst den Wertebereich vom 25. bis zum 75. Perzentil der Verteilung. Damit stellt es die mittlere Hälfte der Messwertverteilung dar, wobei die

Höhe des Kästchens bildlich den Grad der Streuung wiedergibt. Durch den Balken in der Mitte der Box wird der Median bzw. das 50. Perzentil gekennzeichnet. Der Median bezeichnet den Körperwinkelwert, der von der Hälfte der Werte unter- und der anderen Hälfte überschritten wird. Er teilt die Box in

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

Abbildung 25:
Boxplotdiagramm

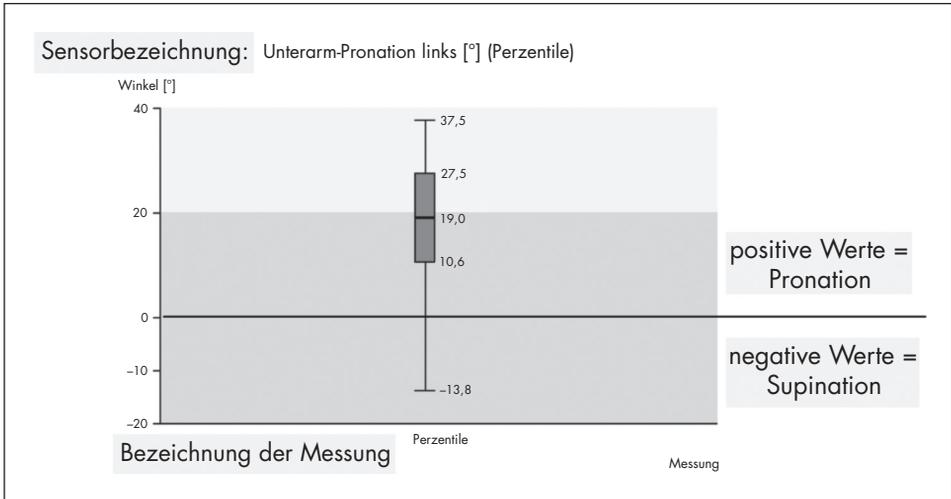
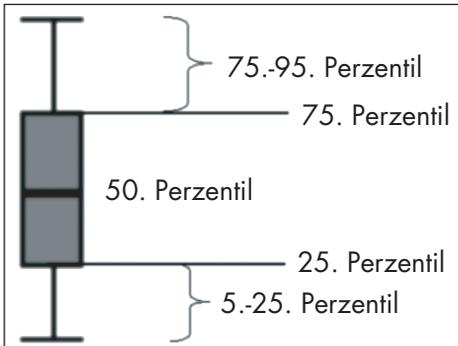


Abbildung 26:
Schematische Boxplotdarstellung



die mittleren zwei Viertel der Verteilung. Seine Lage in der Box gibt Auskunft über die Symmetrie der Verteilung. Die Bewertung im Boxplotdiagramm wird durch die Einfärbung des Hintergrunds ersichtlich (vgl. Abbildung 25).

4.1.4 Bewertung von Tätigkeiten mit Kraftaufwand

Die Einschätzung des im Rahmen der untersuchten Tätigkeiten erforderlichen Kraftaufwandes erfolgte anhand der Skala nach

Borg für empfundenen Kraftaufwand [119], wie in Tabelle 9 (siehe Seite 76) vorgestellt. Zusätzlich wurden in Einzelfällen EMG-Messungen durchgeführt; diese wurden entweder entsprechend interpretiert oder als Maß zur Einschätzung der Kraft nach der Borg-Skala herangezogen. Die Vorgehensweise wird bei diesen Messungen nochmals genauer erläutert.

4.1.5 Bewertung zusätzlicher Faktoren

Zusätzliche Faktoren wurden zum einen durch begleitende Videoaufnahmen, z.T. durch orientierende Messungen von Umgebungsfaktoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit etc.) und durch Dokumentationen zur Arbeitsorganisation usw. auf den Arbeitsbögen der Verfahren (siehe Abschnitte 2.7.1 bis 2.7.7, Seite 70 ff.) erfasst.

Am Arbeitsplatz des Zahntechnikers wurde zusätzlich durch Experten des BGIA die Höhe der Vibrationsexposition ermittelt. Dazu wurden die Daten des Schleifgerätes, dessen Einsatzzeiten, die Arbeitshistorie sowie Eckpunkte der Arbeitsorganisation protokolliert. Mit diesen Informationen und Messwerten aus einer Referenzmessung konnten die relevanten Schwingungsgesamtwerte für die Maschinen führende und die Werkstück haltende Hand abgeschätzt werden. Die Beurteilung erfolgt nach der EU-Richtlinie über

Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen) [127].

4.1.6 Gesamtbewertung

Eine Gesamtbewertung der Belastung für die obere Extremität wurde unter Anwendung des RULA, der HAL TLVs und durch Berechnung des OCRA-Indexes vorgenommen.

RULA

Für das Ausfüllen der RULA-Arbeitsbögen zur Haltungsbeurteilung kann auf die oben erwähnten Grafiken zur zeitlichen Verteilung von Gelenkwinkeln zurückgegriffen werden. Sowohl durch die automatisierte Darstellung der Häufigkeit und Dauer statischer Haltungen als auch durch Auszählung von Bewegungen in einer Ebene für die jeweiligen Gelenkregionen kann ebenso einfach ermittelt werden, ob die mit RULA beurteilte Tätigkeit/Haltung wiederholt (mindestens viermal/Minute) auftritt oder statische Muskelarbeit verlangt (länger als eine Minute) oder keines der beiden Kriterien vorliegt. Um den Kraftaufwand abzuschätzen, sind in den Arbeitsbögen zu handhabende Lastgewichte angegeben, die – wenn in der Tätigkeit

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

vorhanden – gewogen und dokumentiert werden.

HAL TLVs

Zur Feststellung des Hand Activity Levels lassen sich ebenfalls die Verteilungen der Gelenkwinkel und die automatische Auszählung von Bewegungen heranziehen. Die Kraft wurde entweder mit der Skala nach *Borg* für empfundenen Kraftaufwand oder anhand von EMG-Messungen abgeschätzt.

OCRA

Um OCRA auf die CUELA-Datensätze anzuwenden, werden in den Videoaufnahmen die technischen Aktionen getrennt für beide Arme ausgezählt. Unterstützt wird diese Auszählung wiederum durch die automatisierte Erfassung von Bewegungen, falls technische Aktionen durch eine typische Bewegung in einer Gelenkregion charakterisiert sind. Der Haltungsfaktor kann auf einfache und objektivierte Weise aus den CUELA-Messwerten und den WIDAAN-Statistiken abgelesen werden. Die Kräfteinschätzung erfolgte mit der Skala nach *Borg* für empfundenen Kraftaufwand. Weitere notwendige Informationen wurden durch Aufzeichnungen zur Arbeitsorganisation oder aus den Videoaufnahmen gewonnen.

4.2 Beispiele aus der Praxis

4.2.1 Näharbeitsplatz

Die Daten und Messwerte vor und nach ergonomischer Intervention an einem Näharbeitsplatz wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Ergonomie an Näharbeitsplätzen“ gewonnen, das von den Berufsgenossenschaften der Textil- und Bekleidungsindustrie sowie der Lederindustrie initiiert wurde. Dessen Ergebnisse wurden bereits im BIA-Report 7/2004 zusammengefasst und sind in die BG-Information „Ergonomie an Näharbeitsplätzen – Ratgeber für die Praxis“ eingeflossen [151; 152]. Ziel des Projektes war es, auf der Basis einer Zustandsanalyse (CUELA-Messungen, EMG-Messungen durch die Fachhochschule München, Fachbereich 06, Feinwerk- und Mikrotechnik/Physikalische Technik, Befragungen zu Beschwerden im Bereich des Muskel-Skelett-Systems durch die Textil- und Bekleidungs-Berufsgenossenschaft) Vorschläge zur Minderung der Belastungen für das Muskel-Skelett-System an Näharbeitsplätzen zu entwickeln, diese an einem Musterarbeitsplatz umzusetzen und ergonomische Verbesserungen durch erneute Messungen und Befragungen zu belegen.

Hier werden nur die Ergebnisse eines Arbeitsplatzes mit einer Probandin und nur für den rechten Arm beispielhaft beschrieben. Es handelt sich um einen Näharbeitsplatz in

einer Schuhfabrik, an dem die Arbeitnehmerin Stiefelschafteile aneinandernäht. Das Obermaterial (Leder oder ähnlich feste Stoffe) muss dazu mit den Fingern festgehalten, gedrückt und unter der Nadel geführt werden. Zusätzlich führt der linke Unterarm häufig Umwende-

bewegungen aus, um das oben liegende Material anzuheben und so die optische Kontrolle der korrekten Lage der Naht zu ermöglichen. Abbildung 27 zeigt den Arbeitsplatz vor und Abbildung 28 (siehe Seite 136) nach der ergonomischen Intervention.

Abbildung 27:
Nährbeitsplatz in der Schuhproduktion vor der ergonomischen Intervention



4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

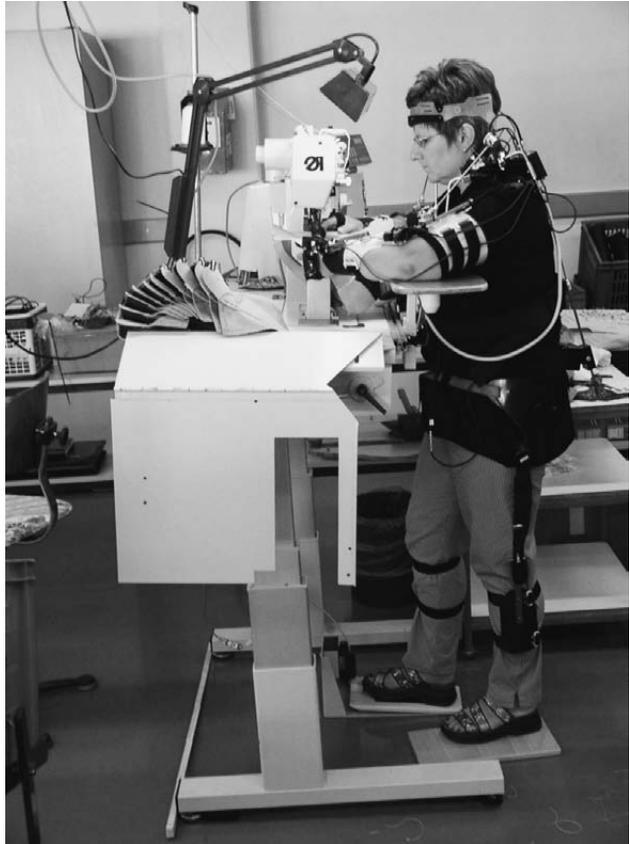


Abbildung 28:
Näharbeitsplatz in der
Schuhproduktion nach der
ergonomischen Intervention

Die Veränderungen am neu gestalteten Arbeitsplatz lassen sich wie folgt zusammenfassen:

schneller Wechsel der Arbeitsposition möglich

individuell anpassbare und bewegliche Armstützen

vielfältige Einstellungsoptionen der Arbeitsoberfläche

- ❑ Vergrößerung des Bein- und Fußraums
- ❑ frei wählbare Pedalpositionierung

Zunächst wurden die Faktoren Repetition, statische Belastungen, ungünstige Haltungen und Bewegungen, Kraftaufwand und zusätzliche Faktoren einzeln beschrieben und bewertet. Wie in Abbildung 29 (siehe Seite 138) dargestellt, konnte die Repetitivität der Aufgabe durch die ergonomische Umgestaltung nicht wesentlich beeinflusst werden.

Über die Veränderungen der statischen Haltungen der oberen Extremität gibt Tabelle 14 Auskunft. Dabei fallen die Verschiebung der statischen Haltungen im endgradigen Bewegungsbereich für das Schultergelenk von der Flexionshaltung zur Abduktionshaltung und neu aufgetretene statische Haltungen in den Handgelenken im mittelgradigen Bewegungsbereich auf.

Allerdings ist diese Beurteilung der statischen Haltungen zweifelhaft. Arme und Hände befinden sich zwar in mittel- bzw.

Tabelle 14:
Mittlere Anzahl statischer Haltungen der oberen Extremität pro Stunde vor und nach Intervention

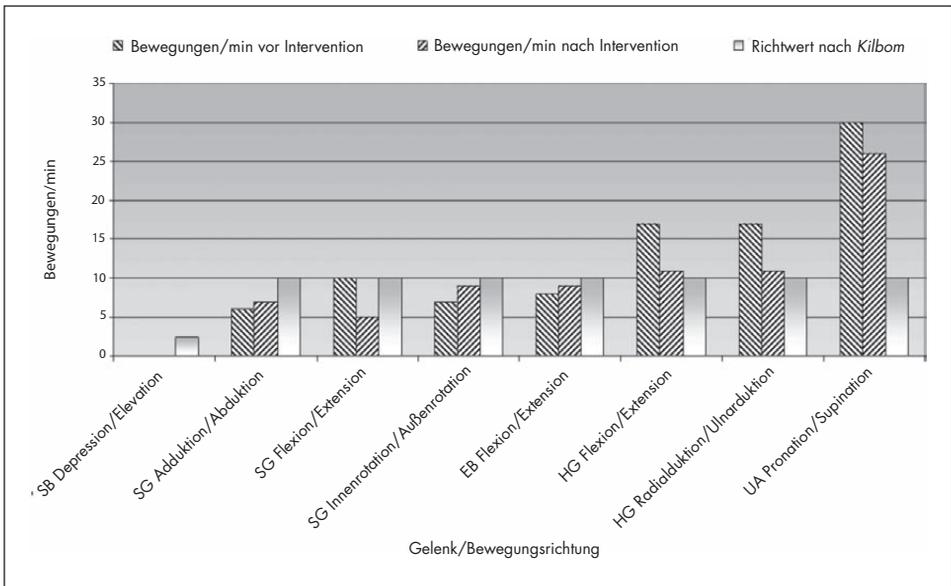
Gelenkregion/Bewegung	Mittelgradiger Bewegungsraum		Endgradiger Bewegungsraum	
	vor Intervention	nach Intervention	vor Intervention	nach Intervention
Schultergelenk/Adduktion, Abduktion			32	185
Schultergelenk/Flexion, Extension	24	148		
Unterarm/Pronation, Supination	16			8
Handgelenk/Flexion, Extension		66		
Handgelenk/Radialduktion, Ulnarduktion		22		

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

Abbildung 29:

Bewegungen pro Minute für Gelenkregionen und Bewegungsrichtungen vor und nach Intervention im Vergleich zu den Richtwerten von *Kilbom* [80; 81]

SB = Schulterblatt; SG = Schultergelenk; EB = Ellenbogen; HG = Handgelenk; UA = Unterarm



endgradigen Stellungen, diese Haltungen gehen jedoch nicht mit Muskelarbeit einher, da die Arme auf den Armstützen abgelegt werden können.

Der Kraftaufwand wurde daher vor der Intervention auf einen Punktwert von 3,0 und nach der Intervention auf einen Punktwert von 2,5 der Skala nach *Borg* geschätzt. Diese Schätzung stützte sich außerdem auf EMG-

Daten, die im Rahmen des Projektes erfasst wurden.

Die auffälligsten Veränderungen in den CUELA-Messwerten für ungünstige Haltungen und Bewegungen vor und nach der ergonomischen Intervention ergaben sich für die Ober- und Unterarme sowie die Handgelenke im Sinne einer Verschlechterung oder zumindest keiner deutlichen Verbesse-

rung und für die Rücken- und Halskrümmung im Sinne einer deutlichen Verbesserung (vgl. Abbildungen 30 a und b sowie 31 a und b, siehe Seite 140 ff.).

Vor allem die Verschiebung der Haltungen und Bewegungen im Schultergelenk in den ungünstigeren Bereich der Abduktion lässt sich wiederum durch die Armstützen erklären. Aus diesem Grunde führt auch hier die Bewertung allein anhand der Winkelwerte zu einer Fehleinschätzung der Beanspruchung. Wie die Abbildungen 30 und 31

auch belegen, kann aus dieser reinen Haltungsanalyse kaum eine Gesamtbewertung abgeleitet werden. Daher wurde die Gesamtbewertung mit RULA, HAL TLVs und OCRA-Index vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 gegenübergestellt.

Zunächst weichen die Ergebnisse der Gesamtbewertung für denselben Arbeitsplatz und gleichen Datensatz je nach angewandtem Bewertungsschema stark voneinander ab. Mit RULA erhält der Arbeitsplatz eine schlechte ergonomische Bewertung, die zu

Tabelle 15:
Ergebnisübersicht für die Gesamtbewertung des Näharbeitsplatzes mit verschiedenen Bewertungsschemata vor und nach der Intervention

Bewertungsschema	Näharbeitsplatz/Schuhproduktion vor Intervention, linker Arm	Näharbeitsplatz/Schuhproduktion nach Intervention, linker Arm
RULA	Gesamtpunktwert = 6 weitere Untersuchung und baldige Intervention	Gesamtpunktwert = 5 weitere Untersuchung und baldige Intervention
HAL TLVs	Handaktivität = 5 Normalisierte Spitzenkraft = 3 Ordinate liegt über dem Action Limit, aber unter dem Threshold Limit	Handaktivität = 5 Normalisierte Spitzenkraft = 2,5 Ordinate liegt auf dem Action Limit
OCRA-Index	OCRA-Index = 2,4 gerade niedriges Risiko	OCRA-Index = 2,1 nahezu kein Risiko

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

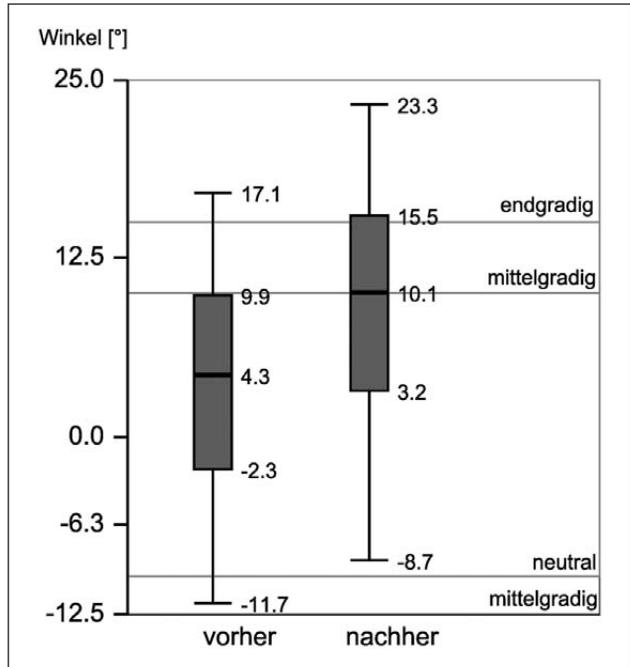


Abbildung 30 a:
Boxplotdiagramm für
Handgelenk Radial-/Ulnarduktion
vor und nach der Intervention
(Perzentile)

einer baldigen Intervention führen sollte, um AMSE-OE zu vermeiden, während die mit HAL TLVs und OCRA gewonnen Beurteilungen nur grenzwertig bzw. leicht erhöhte Risiken konstatieren. Nach der ergonomischen Intervention lassen sich mit allen Verfahren nur leichte Verbesserungen dokumentieren, die an der Risikoklasseneinteilung entsprechend

einem Ampelschema keine wesentlichen Veränderungen vor und nach der Intervention bewirken. Diese Unterschiede können in der Analyse der in die Bewertungsschemata einfließenden Einzelfaktoren und deren Gewichtung erklärt werden und verdeutlichen Schwächen und Stärken der verschiedenen Verfahren.

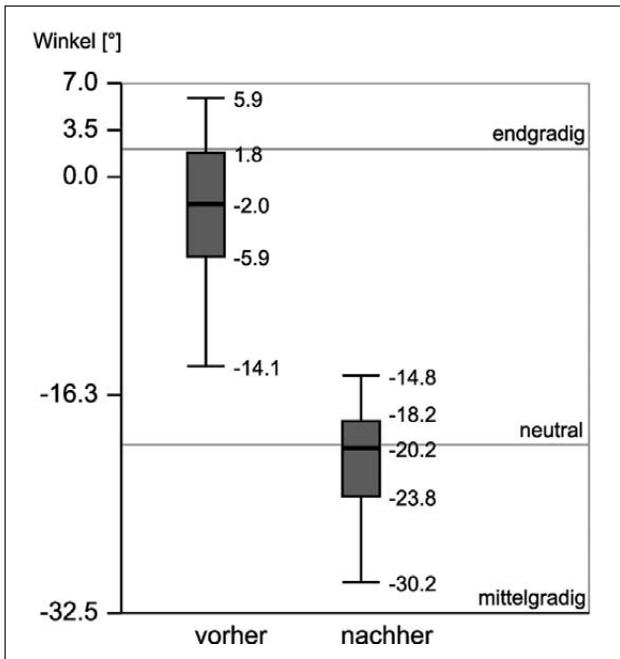


Abbildung 30 b:
Boxplotdiagramm für
Schultergelenk Ad-/Abduktion
vor und nach der Intervention
(Perzentile)

Die Bewertung mittels RULA zeigt ein relativ hohes Risiko dafür an, an dem untersuchten Arbeitsplatz an AMSE-OE zu erkranken, da es als Beobachtungsmethode konzipiert ist und der Untersucher im ersten Arbeitsschritt die Arbeitssituation mit der vermeintlich höchsten Belastung zur genaueren Prüfung auswählen soll. Demnach zieht das Verfah-

ren nur einen kurzen Abschnitt während der Tätigkeit oder unter Umständen auch nur eines Arbeitszyklus in Betracht, der dann den „Worst case“ darstellt. Von einem solchen „Schnappschuss“ kann kaum auf eine Belastung während der Zeit, in der diese Tätigkeit ausgeführt wird, hochgerechnet werden; es können lediglich ergono-

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

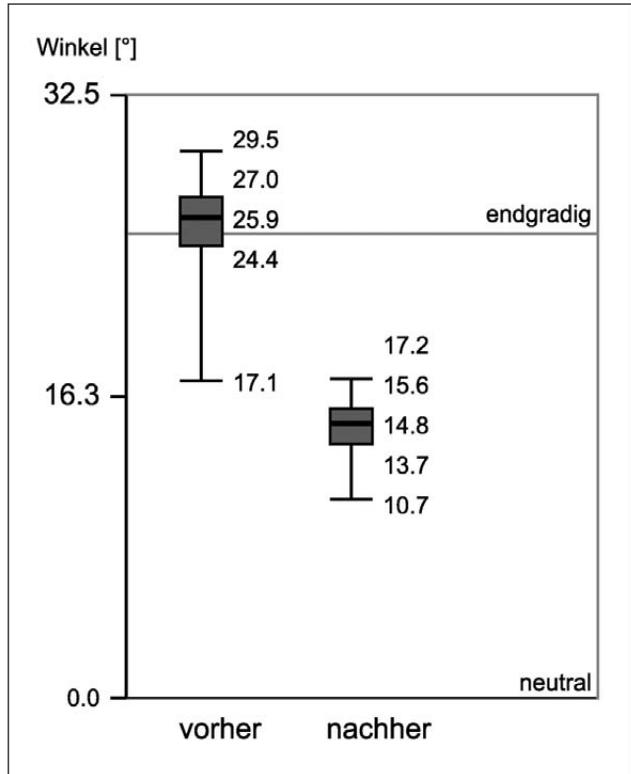


Abbildung 31 a:
Boxplotdiagramm für
Halskrümmung nach vorne
vor und nach der Intervention
(Perzentile)

mische Engpässe aufgezeigt werden. Die hohe RULA-Gesamtpunktzahl ergibt sich vor der Intervention aus der ungünstigen Oberkörper- und Kopfhaltung, während nach der Intervention die scheinbar als ungünstig zu beurteilenden Haltungen im Schultergelenk zu Buche schlagen (Abbildungen 30 und 31). Diese Haltungen

geben für die Gesamtbewertung mittels RULA einen solch starken Ausschlag, da die Parameter Kraft/Last und Muskelarbeit, die durch die ergonomische Intervention ja verringert wurden, nur sehr grob erfasst werden und mit verhältnismäßig geringer Gewichtung eingehen.

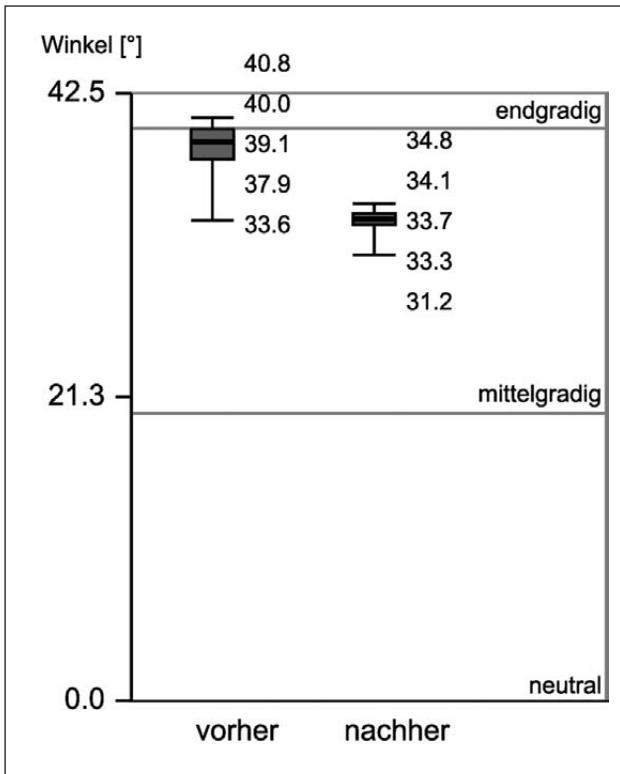


Abbildung 31 b:
Boxplotdiagramm für
Rückenkrümmung nach vorne
vor und nach der Intervention
(Perzentile)

Das Resultat nach Anwendung der HAL TLVs liegt vor der ergonomischen Umgestaltung gerade in einem mittleren Risikobereich, für den weitere Kontrollen ohne sofortige Präventionsmaßnahmen empfohlen werden. Die Intervention setzt dann diese Risikoeinschätzung ein wenig herab, sodass genau der Grenzwert ohne Empfehlung weiterer Maß-

nahmen erreicht wird. Dieses Verfahren zielt ausschließlich auf die Risikoabschätzung für AMSE der oberen distalen Extremität; d.h., es bezieht sich auf die Gelenkregionen Ellenbogen, Unterarm, Hand und Finger, für die überwiegend die Krankheitsbilder der Tendosynovitiden und Tendinitiden relevant sind. Gerade für diese Krankheitsbilder wird die

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

hohe Repetitivität in Verbindung mit Kraftaufwendungen als hauptsächlicher Risikofaktor angenommen; daraus erklärt sich der Beurteilungsansatz dieses Bewertungsschemas, das diese beiden Faktoren kombiniert beurteilt. In unserem Untersuchungsbeispiel wurde der Handaktivitätslevel – sozusagen als Maß für die Repetitivität – mit 5 auf einer Skala von 0 bis 10 beziffert. Die normalisierte Spitzenkraft – praktisch das Maß für den Kraftaufwand – wurde unter Berücksichtigung der EMG-Messdaten und Zuhilfenahme der Borg-Skala auf 3 geschätzt. Nach der ergonomischen Intervention, welche die Aufgabe in ihrem Wesen nicht veränderte, wurde allein der Kraftaufwand durch Herabsetzung der statischen Haltearbeit im Schulterbereich beeinflusst, sodass sich der empfundene Kraftaufwand auf schätzungsweise 2,5 senkte. Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich insgesamt die mit dieser Methode gewonnene Einschätzung eines sehr geringen Risikos für AMSE der distalen oberen Extremität.

Schließlich sind die OCRA-Indizes für diesen Arbeitsplatz und diese Tätigkeit zu diskutieren. Die OCRA-Methode zieht eine Vielzahl von Parametern heran und führt für diese eine vereinheitlichende Beurteilung im Verhältnis zum Arbeitszyklus sowie zur Gesamtarbeitszeit am Tag aus, wodurch auch bei verschiedenen repetitiven Tätigkeiten eine Schichtbelastung ermittelt werden kann. Für den hier

analysierten Arbeitsplatz ergibt die OCRA-Methode nur ein geringes Risiko dafür, an AMSE-OE zu erkranken, was in klarem Widerspruch zum RULA-Gesamtpunktwert steht. Dieser Unterschied beruht vor allem auf der Bewertung der Haltungen und Bewegungen, die bei OCRA auf die Schulter, den Ober- und den Unterarm sowie das Handgelenk und die Finger beschränkt ist, während RULA auch die Rumpf-, Kopf- und Beinhaltenungen einschließt. Rumpf und Kopfhaltungen sind am herkömmlichen Näh-arbeitsplatz als ungünstig zu bewerten und bewirken daher den relativ hohen RULA-Gesamtpunktwert. Da OCRA diese ungünstigen Haltungen nicht berücksichtigt, verringert auch deren Verbesserung durch die ergonomische Intervention den OCRA-Index nicht zusätzlich.

Bei Vergleich und Diskussion dieser Ergebnisse für denselben Arbeitsplatz können also die Stärken und Schwächen der einzelnen Verfahren herausgestellt werden, die durch Ergebnisse an Arbeitsplätzen in der Filterproduktion, in einem Dentallabor und in einer Kürschnerei bestätigt und ergänzt werden können.

4.2.2 Filterproduktion

Im Einzelnen können die Tätigkeiten und Arbeitsplätze wie folgt beschrieben werden:

Filterstanzen

Beim Filterstanzen (Abbildung 32) wird an einer Rollenstanze das Filtermaterial als großer Bogen auf eine Platte mit Stanzmesser aufgelegt und mit einer Kunststoffplatte bedeckt. Auf Knopfdruck durchläuft die so präparierte Platte die Rollenstanze. Auf der

anderen Seite der Stanze wird die Kunststoffplatte zurückgeklappt und die gestanzten Teile einzeln mithilfe einer Nadel aus dem Stanzmesser herausgehoben und abgenommen. In einer Hand werden kleine Stapel der ausgestanzten Teile gesammelt und abgelegt. Schließlich werden die Stapel „in Palette“ gesetzt. Dann beginnt der nächste

Abbildung 32:
Arbeitsplatz in der Filterproduktion beim Filterstanzen



4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

Arbeitszyklus. Im Laufe eines Tages kann es – je nach Auftragsvolumen einmal oder mehrere Male – erforderlich werden, die Stanzmesserplatten (übliches Maß: 1 m · 1,50 m, Gewicht zwischen 10 und 38 kg) zu wechseln. Die Stanzplatten werden immer zu zweit gewechselt. An einer solchen Rollenstanze werden pro Tag zwi-

schen 18 000 und 25 000 Filter hergestellt. In der Regel arbeiten zwei Personen an einer Rollenstanze.

Filtermontage

Dieser Arbeitsplatz (Abbildung 33) beinhaltet mehrere Arbeitsschritte zur Fertigstellung

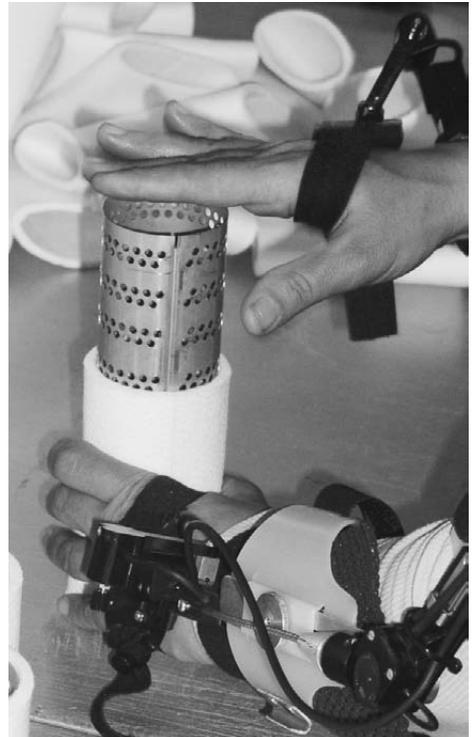
Abbildung 33:
Arbeitsplatz in der Filtermontage



eines Ölfilters. Zunächst wird ein Metallzylinder auf eine Rundfilterhülse gesetzt und mit einer Hand eingedrückt (Abbildung 34). Danach wird eine zweite, etwas größere Rundfilterhülse in der gleichen Weise über den ersten Rundfilter geschoben. Dabei ist darauf zu achten, dass die Nähte der Rundfilterhülsen nach der Montage über den

Metallzylinder nicht übereinander liegen. Dann wird der montierte Filter an einer Maschine, die durch Knopfdruck betätigt wird, gestempelt. Diese Arbeitsschritte werden nicht pro Filter in einem Arbeitszyklus hintereinander folgend ausgeführt, sondern jeweils 30 bis 40 Filter werden erst in einem und daraufhin im nächsten

Abbildung 34:
Aufsetzen und Eindrücken des Metallzylinders



4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

Arbeitsschritt bearbeitet. Zusätzlich sind Nebenarbeiten wie das Bereitlegen der Arbeitsmaterialien, die Vorbereitung des Arbeitstisches und das Verpacken der fertiggestellten Filter zu erledigen. An einem Arbeitstag werden ca. 2700 Ölfiler von drei Montagearbeiterinnen hergestellt.

4.2.3 Dentallabor

Zu den Aufgaben eines Zahntechnikers zählen die handwerkliche Produktion von Prothesen, Kronen, Brücken, Inlays, Stahlmodellen, kieferorthopädischen Behandlungsapparaturen und Knirschschienen. Einen hohen Zeitanteil des Arbeitstages nimmt dabei die Herstellung verschiedener Formen von Zahnersatz sowie von Kronen und Brücken ein. Die Arbeitsschritte sind für diese Tätigkeiten sehr ähnlich und folgen dem gleichen prinzipiellen Ablauf:

□ Erstellen eines Wachsmodells

Nach dem vom Zahnarzt gelieferten Abdruck wird das Gipsmodell erstellt und bearbeitet. An diesem Gipsmodell erfolgt die Wachsmodellierung (Abbildung 35), z.T. im Artikulator mit einem Gewicht von ca. 1,3 kg. Dazu nimmt der Zahntechniker mit einem spitzen Instrument eine geringe Menge Wachs auf, erwärmt

es über der Flamme eines Bunsenbrenners, trägt das weiche Wachs auf das Gipsmodell des zu ersetzenden Zahnes auf und modelliert die Oberfläche desselben. Dieser Vorgang wird viele Male wiederholt, bis der Zahn in all seinen Konturen nachgebildet ist. Das Wachsmodell wiederum wird in Gips eingebettet, dann das Wachs ausgebrannt und in der Gipsform die Rohform gegossen.

□ Schleifen und Polieren der Rohform

Die Rohform muss anschließend mit verschiedenen Schleif- und Poliergeräten nachbearbeitet werden (Abbildung 36, siehe Seite 150). Das Gewicht des Handinstrumentes zum Schleifen und Polieren beträgt ca. 300 g. Während beider Tätigkeiten sitzt der Zahntechniker vor dem Labortisch, auf dem die Arbeitsmaterialien positioniert werden. Rechts unter dem Tisch befindet sich der Antrieb für das Schleifgerät, an dem zumeist seitlich ein Kippschalter zur Betätigung mit dem Oberschenkel bzw. Knie angebracht ist. In der Mitte des Arbeitsplatzes ist an der Tischkante der Feilkloben montiert, der mit einer Absaugvorrichtung ausgestattet sein kann. Unterhalb des Feilklobens dienen zwei flache Schubladen zum Auffangen von Schmutz- oder Goldabschliff.

Abbildung 35:
Zahntechniker bei der Wachsmodellierung



4.2.4 Kürschnerei

Zu den Aufgaben eines Kürschners zählen folgende Tätigkeiten: Einkaufen der Felle, Sortieren, Maßnahmen am Kunden, Schnitte entwerfen, Anfeuchten und Aufzwecken der

kompletten Felle, Abzwecken und Zuschneiden von Streifen mit Kürschnermesser, Zusammennähen der Streifen an Pelznähmaschinen („Auslassen“), teilweise Zwecken der einzelnen Streifen, wiederum Aufzwecken der zusammengenähten „ausgelassenen“

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

Abbildung 36:
Schleif- und Polierarbeiten an der Rohform



Streifen, deren Ausrichten und Abzwecken, Schnitte auflegen und aufzeichnen, Zuschneiden der Ware, Zusammennähen, Zwischenbügeln, Futtereinnähen, Endbügeln bzw. Fertigstellen der Teile.

Die Tätigkeit als Lohnkürschner kann die Einengung des Aufgabenfeldes auf haupt-

sächlich Zweckarbeiten zu zwei Drittel der Arbeitszeit und Näharbeiten zu einem Drittel der Arbeitszeit bedingen.

Das Zuschneiden von Streifen entfällt heutzutage ebenfalls in den meisten Kürschnereien, da dies durch den Einsatz von Maschinen rationalisiert wurde. Daher werden fol-

gende Tätigkeiten eines Kürschners näher betrachtet:

□ Felle aufzwecken

Vor dem Aufzwecken werden die Felle angefeuchtet. Dazu streicht der Kürschner das Fell von der Hautseite mit einer mit Wasser benetzten Bürste ein. Anschließend wird das Fell mit beiden Händen in die gewünschte Form gezogen und mit Klammern auf einer Holzplatte (Zweckplatte oder Wendepalte), die auf der ca. 85 cm hohen Arbeitsplatte

(1,50 · 2,23 m) liegt, fixiert. Die Klammern werden zumeist mit Druckluftnaglern bzw. Tackern eingebracht. Diese Abläufe sind in der Bilderfolge der Abbildung 37 detailliert dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass mit der rechten Hand die Klammern eingebracht werden und die linke Hand dabei das Fell glatt streicht und zieht.

Nachdem das Fell getrocknet ist, behält es die Form und kann wieder von der Zweckplatte abgenommen werden. Dieser Vorgang, bei dem die Klammern mit einem „Abzwecker“ herausgeholt

Abbildung 37:
Anfeuchten und Aufzwecken der Felle



4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

werden, konnte am Tag der Messung nicht erfasst werden.

□ Pelz auslassen

Für diese Tätigkeit wurden zuvor Streifen aus Fell und Leder zugeschnitten. Nun wird an der Pelznähmaschine abwechselnd ein Streifen Fell und ein Streifen Leder aneinander genäht, um das Fellstück praktisch zu vergrößern (daher der Begriff „Auslassen“). Damit die Lederstreifen zwischen den Fellstreifen im Gesamtbild des Pelzes nicht auffallen, müssen die Fellhaare während des Zusammennähens mit einer Pinzette auf die Außenseite des Fells gestrichen werden (Abbildungen 38 und 39). Im Untersuchungsfall führte der rechtshändige Kürschner diese Aufgabe mit der rechten Hand aus, während die linke Hand die Streifen durch die Maschine führte.

4.2.5 Beurteilung

Die Beurteilung der einzelnen Risikofaktoren sollen hier nicht im Detail besprochen werden; stattdessen wird eine zusammenfassende Übersicht gegeben und nur Besonderheiten bei der jeweiligen Tätigkeit werden näher erläutert. Für alle Arbeitsplätze und Tätigkeiten ließen sich für mehrere Gelenk-

regionen der oberen Extremität hoch repetitive Bewegungen nachweisen. Ebenso konnten für alle Tätigkeiten ungünstige und statische Haltungen des Kopfes, Rumpfes und/oder der oberen Extremität erfasst werden, wie z.T. durch die Fotos belegt wird. Der Kraftaufwand wurde als überwiegend im niedrigen Bereich liegend geschätzt; die Tätigkeit „Felle aufzwecken“ bildete mit einem höheren Kraftaufwand bzw. größeren Zeitanteilen während des Zyklus eine Ausnahme. Für den Zahntechniker konnten die Einschätzungen des Kraftaufwandes im Bereich der Handgelenkbeuger und -strecker durch EMG-Messungen, die nach den CUELA-Messungen für die gleichen untersuchten Tätigkeiten durchgeführt wurden, untermauert werden; die automatisch in Diagrammen ausgegebenen Ergebnisse sind in Tabelle 16 (siehe Seite 154) zusammengetragen.

Außerdem wurde die Beanspruchung durch Vibration am Arbeitsplatz des Zahntechnikers nach der unter Abschnitt 4.1.5 (siehe Seite 133) erläuterten Vorgehensweise abgeschätzt. Für die Maschinen führende Hand – hier die rechte – ergab die Ermittlung der Belastung durch Vibration Werte unterhalb des Schwellenwertes von $2,5 \text{ m/s}^2$ für acht Stunden Exposition/Tag und des Grenzwertes von 5 m/s^2 (vgl. EU-Richtlinie), weshalb keine weiteren Berechnungen erforderlich waren. Die Werkstück führende linke

Abbildung 38:
Arbeit an der Pelznähmaschine; links: im Vordergrund vorbereitete Streifen,
rechts: „Einstreichen“ der Fellhaare mit der Pinzette

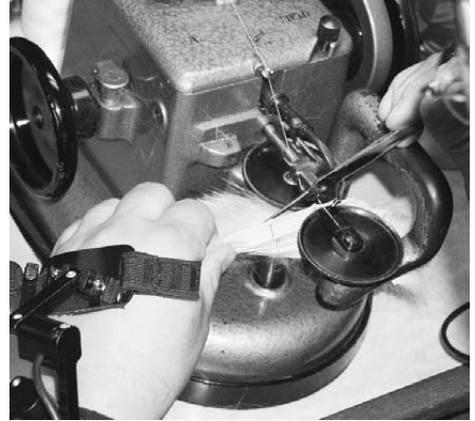
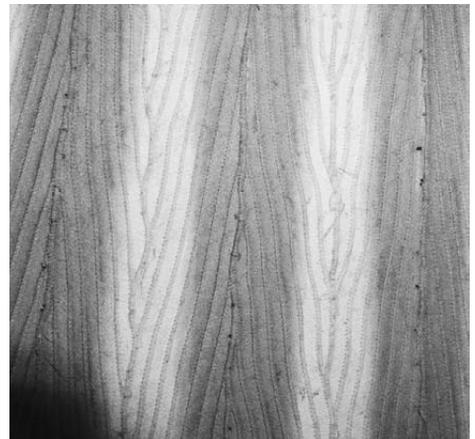


Abbildung 39:
Links: fertiger Mantel; rechts: Detailansicht von innen mit den erkennbaren Nähten nach dem „Auslassen“



4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

Tabelle 16:
Gegenüberstellung der normierten elektrischen Aktivität (EA) der Handgelenksstrecker und -beuger für beide Arme

Gemittelte EA bezogen auf die maximale willentliche Kontraktion [%]	Arbeitsplatz „Zahntechniker“			
	Handgelenk links		Handgelenk rechts	
	Strecker	Beuger	Strecker	Beuger
1. Messung Modellieren	8	7	17	8
2. Messung Modellieren	9	8	12	10
1. Messung Schleifen und Polieren	11	12	16	12
2. Messung Schleifen und Polieren	12	13	17	13

Hand ist unter folgenden Bedingungen einer Tagesschwingungsbelastung von $5,6 \text{ m/s}^2$ ausgesetzt:

1. Die Expositionszeit wird mit 50 % der Einsatzzeit angesetzt und beträgt damit 2,3 h/Tag.
2. Der Einfluss der im Vergleich zu handgehaltenen vibrierenden Geräten geringen Ankopplungskraft wird auf 50 N geschätzt und nach DIN V 45679 berücksichtigt. Es wurde die Bearbeitung eines Werkstücks aus Metall (ungünstigster Fall) zugrunde gelegt.

Demnach ist mit der Tagesschwingungsbelastung von $5,6 \text{ m/s}^2$ der Grenzwert von 5 m/s^2 (vgl. EU-Richtlinie) überschritten und es ist von einer erheblichen Vibrationseinwirkung auf das linke Hand-Arm-System auszugehen.

Die Ergebnisse der Gesamtbewertung sind in Tabelle 17 gegenübergestellt.

Im Rahmen der Beurteilung der Tätigkeiten in der Filterproduktion fällt die Diskrepanz zwischen der RULA-Bewertung und den beiden anderen Verfahren auf. Diese Differenz wird wiederum durch die „Schnappschuss-Beurtei-

Tabelle 17:

Gesamtbewertung der Arbeitsplätze in der Filterproduktion, bei der Herstellung von Zahnersatz und der Pelzverarbeitung mit verschiedenen Bewertungsschemata

Bewertungs-schemata	Filterproduktion rechter Arm	Herstellung von Zahnersatz rechter Arm	Pelzverarbeitung rechter Arm
RULA	Gesamtpunktwert = 6 weitere Untersuchung und baldige Intervention	Gesamtpunktwert = 5 weitere Untersuchung und baldige Intervention	Gesamtpunktwert = 5 weitere Untersuchung und baldige Intervention
HAL TLVs	Handaktivität = 5 normalisierte Spitzenkraft = 2 Ordinate liegt unter dem Action Limit	Handaktivität = 6 normalisierte Spitzenkraft = 1,5 Ordinate liegt unter dem Action Limit	Handaktivität = 5 normalisierte Spitzenkraft = 1,5 Ordinate liegt unter dem Action Limit
OCRA-Index	OCRA-Index = 1,8 kein Risiko	OCRA Index = 2,5 niedriges Risiko	OCRA-Index = 4,9 vorhandenes Risiko

lung“ einer Einzelsituation mit RULA – vergleiche hierzu die ungünstige Oberkörperhaltung in Abbildung 32 – erklärbar, die im OCRA-Index keine Berücksichtigung findet. Darüber hinaus kommt bei der Bewertung mit dem OCRA-Verfahren die Verteilung der beiden Tätigkeiten und der Pausenzeiten in der Schicht zum Tragen.

Für alle Tätigkeiten liegen die HAL-Ordinaten unterhalb des Action Limits, da die Tätigkeiten zwar hoch repetitiv sind, aber keinen allzu hohen Kraftaufwand erfordern. Dies gilt auch für die Arbeiten des Kürschners, denn

die Tätigkeit „Felle aufzwecken“, für deren Ausübung über längere Zeit ein höherer Kraftaufwand notwendig ist, nimmt insgesamt keine vier Stunden pro Schicht/Tag ein, sodass diese Bedingung zur Anwendung der HAL TLVs nicht erfüllt wird. Eine kombinierte Beurteilung der beiden untersuchten Tätigkeiten des Kürschners ist mit diesem Verfahren nicht möglich.

Tabelle 18 (siehe Seite 156) enthält die Anzahl beobachteter technischer Aktionen (TA), die Frequenzkonstante (FK), die Reduktionsfaktoren und die Zahl der empfohlenen

4 Anwendung von Bewertungsverfahren auf Daten aus Praxismessungen mit dem CUELA-Schulter-Arm-System

Tabelle 18:
Werte zur Berechnung des OCRA-Indexes für den Kürschnerarbeitsplatz

	rechter Arm	
Anzahl der beobachteten TA	16 908	
Reduktionsfaktoren für:	FK = 30/min	
Tätigkeit	Felle aufzwecken	Pelz auslassen
Kraft	0,65	0,80
Haltung	0,60	0,60
zusätzliche Einflüsse	0,95	1,00
Dauer der repetitiven Aufgabe in min	72	360
Mangel an Erholung	0,55	0,55
Zahl der empfohlenen TA	3 456	
OCRA Risiko-Index	4,9	

technischen Aktionen (TA), die zur Berechnung des OCRA-Indexes für die Kürschner-tätigkeiten benutzt wurden. Dabei gibt Tabelle 18 die Aufgabenverteilung bei der Herstellung eines Mantels (75 % Pelz auslassen und 15 % Zweckerarbeiten) wieder und verdeutlicht, wie der erhöhte Kraftaufwand (siehe Reduktionsfaktor 0,65) beim Felle-aufzwecken in die Berechnung des OCRA-Indexes einfließt. Demnach signalisiert der OCRA-Index von 4,9 für die untersuchten Tätigkeiten eines Kürschners und ihre arbeits-

organisatorische Verteilung über den Arbeitstag ein mittleres Risiko für den rechten Arm, an muskuloskelettalen Beschwerden der oberen Extremität zu erkranken.

Für die Tätigkeiten des Kürschners ergibt auch das RULA-Verfahren eine vergleichbare Einschätzung des Risikos, was jedoch eher auf einem zufälligen Ausgleich der unterschiedlichen Gewichtung des Kraftaufwandes und der ungünstigen Haltungen in beiden Verfahren beruht.

Damit bestätigen auch diese vergleichenden Beurteilungen desselben Arbeitsplatzes mit Hilfe verschiedener Bewertungsverfahren, dass sich aus den verschiedenen Ansätzen

und Einschränkungen der Verfahren sowie der Gewichtungen der Risikofaktoren für die Gesamtbeurteilung deutliche Differenzen ergeben.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ausführungen dieses Reports zu den anatomischen und physiologischen Hintergründen der Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität sowie deren Bezug zur beruflichen Tätigkeit in Form der epidemiologisch abgeleiteten Risikofaktoren versuchen, der Komplexität dieser Thematik gerecht zu werden.

Trotz des enormen Umfangs und der kaum überschaubaren Zusammenhänge und Interaktionen sind von arbeitswissenschaftlicher Seite Anstrengungen unternommen worden, für Arbeitsplätze Risikobeurteilungen im Hinblick auf AMSE-OE auf der Basis von (überwiegend) Beobachtungsverfahren zu ermöglichen. Allerdings wird in diesen Verfahren die Expositionsermittlung in den vorgegebenen Kategorien diskontinuierlich durchgeführt und macht es dadurch unmöglich, Arbeitsplätze und Expositionen, die mit verschiedenen Verfahren als mehr oder weniger risikobehaftet eingestuft wurden, wissenschaftlich zu vergleichen.

Aus diesen Gründen und zur Objektivierung der Expositionsermittlung erschien es notwendig, ein Messverfahren zu entwickeln, das eine möglichst lang dauernde, umfassende und kontinuierliche Datenerfassung und deren Bearbeitung und rasche Analyse ermöglicht. Ein solches Messsystem konnte in Form des erweiterten CUELA-Systems

und dessen Verarbeitungs- und Auswertungsprogramm WIDAAN vorgestellt und erläutert werden. Gleichzeitig liefert diese Entwicklung die Möglichkeit, verschiedene Bewertungsverfahren (RULA, HAL TLVs und OCRA) auf denselben CUELA-Datensatz einer Arbeitsplatzanalyse anzuwenden.

Wie in Kapitel 4 (siehe Seite 127 ff.) ausführlich beschrieben, ergeben diese vergleichenden Beurteilungen eines Arbeitsplatzes sehr stark divergierende Ergebnisse, die eine einheitliche ergonomische Beurteilung von Arbeitsplätzen in Bezug auf AMSE-OE infrage stellen.

Die detaillierte Betrachtung und Diskussion der differierenden Ergebnisse verhelfen jedoch zu Erkenntnissen, die eine (Weiter-)Entwicklung von Bewertungsverfahren bzw. eines Katalogs von Bewertungsverfahren für ein gestuftes Vorgehen befördern. Diese Weiter- oder Neuentwicklungen sollten anhand von Messungen und Abgleichen mit epidemiologischen Daten wiederum überprüft werden. Am Ende dieses Prozesses sollte ein Herunterbrechen auf einfachere Verfahren zur Beurteilung des Risikos für AMSE-OE stehen. In diesem Zusammenhang stehen auch die Bemühungen, das CUELA-Messsystem und die WIDAAN-Software auszubauen und fortzuentwickeln.

6 Danksagung

Unser Dank gilt den kooperierenden Unternehmen und ihren Arbeitnehmern, die sich als freiwillige Probanden zur Verfügung stellten, sowie den Aufsichtspersonen der Berufs-

genossenschaften, die ihre Fachkenntnisse einbrachten und durch die Organisation der Messungen in den Betrieben wesentlich mitgewirkt haben.

7 Literaturverzeichnis

- [1] *Ellegast, R.-P.*: Personengebundenes Messsystem zur automatisierten Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen bei beruflichen Tätigkeiten. BIA-Report 5/98. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1998, www.hvbg.de/bgja, Webcode 509588
- [2] *Weiland, A.J.*: Repetitive strain injuries and cumulative trauma disorders. *J. Hand Surg.* (1996) Nr. 21, S. 337
- [3] *Hagberg, M.; Silverstein, B.; Wells, R.; Smith, M.J.; Hendrick, H.W.; Carayon, P.; Pêrusse, M.*: Health and risk factors surveillance for work related musculoskeletal disorders. In: Kuorinka, I.; Forcier, L. (Hrsg.): *Work related musculoskeletal disorders (WMSDs): a reference book for prevention.* Taylor & Francis, London 1995, S. 213-245
- [4] *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 for Occupational Safety and Health (NIOSH), U. S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio 1992
- [5] Identification and control of work-related diseases. Technical Report Series No. 714. Hrsg.: Expert Committee of the World Health Organization, Genf 1985, S. 1-71
- [6] *Grieco, A.; Molteni, G.; de Vito, G.; Sias, N.*: Epidemiology of musculoskeletal disorders due to biomechanical overload. *Ergonomics* 41 (1998) Nr. 9, S. 1253-1260
- [7] *Yassi, A.*: Repetitive strain injuries. *Lancet* 349 (1997), S. 943-947
- [8] *Benninghoff, A.; Goerttler, K.*: Spezielle Anatomie des Bewegungsapparates. In: Ferner, H.; Staubesand, J.: *Lehrbuch der Anatomie des Menschen*, Band 1. 13. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München 1980
- [9] *Knoche, H.*: *Lehrbuch der Histologie.* Springer, Berlin 1979
- [10] *Schmidt, R.F.; Thews, G.*: *Physiologie des Menschen.* 21. Aufl., Springer, Berlin 1983
- [11] *Pauwels, F.*: *Gesammelte Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates.* Springer, Berlin 1965
- [12] *Brügger, A.*: Zug und Druck im Bereich der Gelenke. In: *Die Erkrankungen des Bewegungsapparates und seines Nervensystems – Grundlagen und Differenzialdiagnose.* Gustav Fischer, Stuttgart 1986

- [13] *Hollmann, W.; Hettinger, T.*: Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. 4. Aufl., Schattauer, Stuttgart 2000
- [14] *Frisch, H.*: Programmierte Therapie am Bewegungsapparat – Chirotherapie. 3. Aufl., Springer, Berlin 1999
- [15] *Ramazzini, B.*: De Morbis Artificum. In englischer Übersetzung von Wright, W.C.: Disease of workers. Hafner Publishing Company, New York 1964
- [16] *Kössler, F.; Heuchert, G.*: Fragen und Antworten zum RSI-Begriff. ErgoMed 17 (1993) Nr. 2, S. 40-45
- [17] *Elling, A. von*: Arbeit und körperlicher Verschleiß der Bewegungsorgane – Ansätze und Perspektiven zur Prävention. In: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz – Forschung – FB 575. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven 1989
- [18] *Vogt, W.*: Das Konzept der sog. cumulative trauma disorders. In: Karpaltunnelsyndrom – Pathogenese, Diagnose und Ursache – Versicherungsmedizinische Aspekte. 1. Aufl. Hrsg.: Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern 1998, S. 64-66
- [19] *Caffier, G.; Steinberg, U.; Liebers, F.*: Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen. In: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven 1999. http://www.baua.de/nn_28432/de/Publikationen/Forschungsberichte/1999/Fb850,xv=vt.pdf
- [20] *Kössler, F.*: Arbeitsbedingte Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) – eine interdisziplinäre Herausforderung. ErgoMed 22 (1998) Nr. 5, S. 220-236
- [21] *Michaelis, M.; Nübling, M.; Peinecke, W.; Stössel, U.; Hofmann, F.*: Zur arbeitsmedizinischen Bedeutung des Lumbal- und Zervikalsyndroms bei Büroangestellten – Eine Querschnittsstudie. Der Betriebsarzt. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 32 (1997) Nr.9, S. 368-374
- [22] *Erdil, M.; Maurer, K.; Dickerson, O.B.*: The burden of cumulative trauma disorders. In: Erdil, M.; Dickerson, O.B. (Hrsg.): Cumulative trauma disorders – Prevention, evaluation and treatment. van Nostrand Reinhold, New York 1997, S. 9-10
- [23] *Armstrong, T.J.; Ayoub, M.M.; Drury, C.G.; Silverstein, B.; Fine, L.J.*

Hopkins, W.L.; Keyserling, W.M.; Putz-Anderson, V.: Cumulative trauma disorders – A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. Part I. In: Putz-Anderson, V. (Hrsg.): Cumulative trauma disorders – A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. Taylor & Francis, London 1988, S. 6-7

[24] Bammer, G.: How technologic change can increase the risk of repetitive motions injuries. *Sem. Occup. Med.* 2 (1987) Nr. 1, S. 25-30

[25] Meyer, J.-P.; Turpin-Legendre, E.: Risk factors of musculoskeletal disorders: Demographic, social and work change aspects in France. Hrsg.: Institut National de recherche et de Sécurité (INRS), Vandœuvre 1998

[26] Hess, D.: Employee perceived stress – relationship to the development of repetitive strain injury symptoms. *AAOHN J.* 45 (1997) Nr. 3, S. 115-123

[27] Bongers, P.M.; de Windt, C.R.; Kompier, M.A.J.; Hildebrandt, V.H.: Psychosocial factors at work and musculoskeletal disease. *Scand. J. Work Environm. Health* 19 (1993), S. 297-312

[28] Lincoln, A.E.; Smith, G.S.; Amoroso, P.J.; Bell N. S.: The effect of cigarette smoking on musculoskeletal-

related disability. *Am. J. Ind. Med.* 43 (2003), S. 337-349

[29] Leino-Arjas, P.: Smoking and musculoskeletal disorders in the metal industry: a prospective study. *Occup. Environm. Med.* 55 (1998), S. 828-833

[30] Nathan, P.; Keniston, R.C.; Myers, L.D.; Meadows K.D.: Obesity as a risk factor for slowing of sensory conduction of the median nerve in industry – A cross-sectional and longitudinal study involving 429 workers. *J. Occup. Med.* 34 (1992) Nr. 4, S. 379-383

[31] Islam, S.S.; Velilla, A.M.; Doyle, E.J.; Ducatman, A.M.: Gender differences in work related injury/illness: Analysis of workers compensation claims. *Am. J. Ind. Med.* 39 (2001), S. 84-91

[32] Cannon, L.J.; Bernacki, E.J.; Walter S.D.: Personal and occupational factors associated with carpal tunnel syndrome. *J. Occup. Med.* 23 (1981) Nr. 4, S. 255-258

[33] Renström, P.A.F.H.: Ellenbogenverletzungen. In: Sportverletzungen und Überlastungsschäden – Prävention, Therapie, Rehabilitation. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1997, S. 57-60

[34] *Cherniak, M.G.*: Epidemiology of occupational disorders of the upper extremity. *J. Occup. Med.* 11 (1996) Nr. 3, S. 513-530

[35] *Bernard, B.P.* (Ed.): *Musculoskeletal disorders and work place factors – A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity and low back.* Hrsg.: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati 1997

[36] *Chiang, H.-C.; Chen, S.-S.; Yu, H.-S.; Ko, Y.-C.*: The occurrence of carpal tunnel syndrome in frozen food factory employees. *Kaohsiung J. Med. Sci.* 6 (1990) Nr. 2, S. 73-80

[37] *Punnett, L.; Bergqvist, U.*: Visual display unit work and upper extremity musculoskeletal disorders – A review of epidemiological findings. *Arbete och hälsa*, Bd. 16. Hrsg: Arbetslivsinstitutet, Solna 1997

[38] *McDiarmid, M.; Oliver, M.; Ruser, J.; Gucer, P.*: Male and female rate differences in carpal tunnel syndrome injuries: Personal attributes or job tasks? *Environm. Res.* 83 (2000) Nr. 1, S. 23-32

[39] *Häkkinen, M.; Viikari-Juntura, E.; Martikainen, R.*: Job experience, work load

and risk of musculoskeletal disorders. *Occup. Environm. Med.* 58 (2001), S. 58-135

[40] *Jensen, C.*: Development of neck and hand-wrist symptoms in relation to duration of computer use at work. *Scand. J. Work Environm. Health* 29 (2003) Nr. 3, S. 197-205

[41] *Punnett, L.*: Ergonomic stressors and upper extremity disorders in vehicle manufacturing: cross sectional exposure-response trends. *Occup. Environm. Med.* 55 (1998), S. 414-420

[42] *Haahr, J.P.; Andersen, J.H.*: Physical and psychosocial risk factors for lateral epicondylitis: a population based case-referent study. *Occup. Environm. Med.* 60 (2003), S. 322-329

[43] *Huang, G.D.; Feuerstein, M.; Kop, W.J.; Schor, K.; Arroyo, F.*: Individual and combined impacts of biomechanical and work organization factors in work-related musculoskeletal symptoms. *Am. J. Ind. Med.* 43 (2003), 495-506

[44] *Giersiepen, K.*: Carpal-Tunnel-Syndrom und Beruf – Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie. In: *Berufskrankheiten 2000 – Epidemiologie und berufsbedingte Erkrankungen – Multikausalität bei Berufskrankheiten – Qualitätssicherung im BK-Feststellungsverfahren – Prävention – 3. Potsdamer BK-Tage.*

Hrsg.: Landesverband Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Erich Schmidt, Berlin 2000, S. 37-42

[45] *Buckle, P.W.; Devereux, J.J.*: The nature of work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders. *Appl. Ergon.* 33 (2003), S. 207-217

[46] *Bongwald, O.; Luttmann, A.; Laurig, W.*: Leitfaden für die Beurteilung von Hebe- und Tragetätigkeiten – Gesundheitsgefährdung, gesetzliche Regelungen, Meßmethoden, Beurteilungskriterien und Beurteilungsverfahren. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1995

[47] *Hartmann, B.*: Prävention arbeitsbedingter Rücken- und Gelenkerkrankungen – Ergonomie und arbeitsmedizinische Praxis. *ecomed*, Landsberg 2000

[48] *Grabovski, W.; Lobsiger, E.A.; Lüttgau, H.C.H.*: The effect of repetitive stimulation at low frequencies upon the electrical and mechanical activity of single muscle fibres. *Pflüg. Arch.* 334 (1972), S. 222-239

[49] *Kössler, F.*: Muskelermüdung – alte und neue Aspekte, Defizite. *ErgoMed* 16 (1992) Nr. 6, S. 164-168

[50] *Sjøgaard, G.; McComas A.J.*: Role of interstitial potassium. In: *Gandevia, S.C.; Enoka R.M.; McComas A.J.; Stuart D.G.* (Hrsg.): *Fatigue – Neural and muscular mechanisms. Adv. Exp. Med. Biol.* 384 (1995), S. 69-79

[51] *Järholm, U.; Styf, J.; Suurkula, M.; Herberts, P.*: Intramuscular pressure and muscle blood flow in supraspinatus. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58 (1988), S. 219-224

[52] *Johansson, H.; Sojka, P.*: Pathophysiological mechanisms involved in genesis and spread of muscular tension in occupational muscle pain and in chronic musculoskeletal pain syndromes: A hypothesis. *Med. Hypotheses* 35 (1991), S. 196-203

[53] *Veiersted, K.B.*: Sustained muscle tension as a risk factor for trapezius myalgia. In: *Nielsen, R.; Jorgensen, K.* (Hrsg.): *Advances in industrial ergonomics and safety* V. Taylor & Francis, London 1993, S. 15-19

[54] *Sutarno, C.G.; McGill, S.M.*: Comparison of electromyographic activity patterns in normal subjects and low back pain patients. *Proceedings of the 8th Biennial Conference August 1994.* Hrsg.: Canadian Society for Biomechanics, Calgary 1994, S. 204-205

[55] *Kumar, S.*: Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics* 44 (2001), S. 17-47

- [56] *Sjøgaard, G.; Jensen, B.R.*: Muscle pathology with overuse. In: Ranney, D.: Chronic musculoskeletal injuries in the work-place. W.B. Saunders, Philadelphia 1997
- [57] *Fridén, J.*: Muscle soreness after exercise: Implications of morphological changes. *Int. J. Sports Med.* 5 (1984), S. 57-66
- [58] *Armstrong, T.J.; Buckle, P.; Fine, L.J.; Hagberg M.; Jonsson, B.; Kilbom, Å.; Kuorinka, I.A.A.; Silverstein, B.A.; Sjøgaard, G.; Viikari-Juntura, E.R.A.*: A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scand. J. Work Environm. Health* 19 (1993), S. 73-84
- [59] *Macnab, I.*: Rotator cuff tendinitis. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 53 (1973), S. 271-287
- [60] *Rathburn, J.B.; Macnab, I.*: The microvascular pattern of the rotator cuff. *J. Bone Joint Surg.* 52B (1970), S. 540-553
- [61] *Vogel, K.G.*: Fibrocartilage in Tendon: A response to compressive load. In: Gordon, S.L.; Blair, S.J.; Fine, F.J. (Hrsg.): Repetitive motion disorders of the upper extremity. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont 1995, S. 205-215
- [62] *Schumacher, H.R.*: Morphology and physiology of normal synovium and the effects of mechanical stimulation. In: Gordon, S.L.; Blair, S.J.; Fine, F.J. (Hrsg.): Repetitive motion disorders of the upper extremity. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont 1995, S. 263-276
- [63] *Moore, J.S.*: Function, structure and responses of components of the muscle-tendon unit. *Occup. Med.: State of the Art Reviews* 7 (1992) Nr. 4, S. 713-739
- [64] *Nirschl, R.P.*: Tennis elbow tendinosis: Pathoanatomy, nonsurgical and surgical management. In: Gordon, S.L.; Blair, S.J.; Fine, F.J. (Hrsg.): Repetitive motion disorders of the upper extremity. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont 1995, S. 467-489
- [65] *Sunderland, S.*: Nerves and nerves injuries. E. & S. Livingstone, Edinburgh 1968
- [66] *Lundborg, G.; Dahlin, L.B.*: Pathophysiology of nerve compression. In: Gordon, S.L.; Blair, S.J.; Fine, F.J. (Hrsg.): Repetitive motion disorders of the upper extremity. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont 1995, S. 381-397
- [67] *Gelbermann, R.H.; Hergenroeder, P.T.; Hargens, A.R.; Lundborg, G.N.*:

Akeson, W.H.: The carpal tunnel syndrome – A study of carpal canal pressures. *J. Bone Joint Surg.* 63-A (1981) Nr. 3, S. 380-383

[68] Phalen, G.S.: The carpal-tunnel syndrome – Seventeen years' experience in diagnosis and treatment of six hundred fifty-four hands. *J. Bone Joint Surg.* 48-A (1966) Nr. 2, S. 211-228

[69] Keir, P.J.; Bach, J.M.: Flexor muscle incursion into the carpal tunnel: a mechanism for increased carpal tunnel pressure? *Clin. Biomech.* 15 (2000) Nr. 5, S. 301-305

[70] Rempel, D.; Keir, P.J.; Smutz, W.P.; Hargens, A.: Effects of static fingertip loading on carpal tunnel pressure. *J. Orthop. Res.* 15 (1997) Nr. 3, S. 422-426

[71] Keir, P.J.; Bach, J.M.; Rempel, D.M.: Fingertip loading and carpal tunnel pressure: differences between a pinching and a pressing task. *J. Orthop. Res.* 16 (1998) Nr. 1, S. 112-115

[72] Stobbe, T.J.: Occupational ergonomics and injury prevention. *Occup. Med.* 11 (1996) Nr. 3, S. 531- 543

[73] Pangert, R.; Bux, K.; Frener, P.: Hitzearbeit – Hitzeпаusen. *ErgoMed* 3 (2003), S. 82-89

[74] *Pelmeur, P.L.; Leong, D.*: Review of occupational standards and guidelines for hand-arm (segmental) vibration syndrome (HAVS). *Appl. Occup. Environm. Hyg.* 15 (2000) Nr. 3, S. 291-302

[75] *Bovenzi, M.; Cerri, S.; Merseburger, A.; Scattoni, L.; Pinto, I.; Ronca, V.; Nucci, A.; Mattioli, S.; Zanderigo, C.*: Hand-arm vibration syndrome and dose-response relation for vibration induced white finger among quarry drillers and stone carvers. *Occup. Environm. Med.* 51 (1994), S. 603-611

[76] *Färkkilä, M.; Pyykkö, I.; Jänntti, V.; Starck, J.; Korhonen, O.*: Forestry workers exposed to vibration: a neurological study. *Br. J. Ind. Med.* 45 (1988), S. 188-192

[77] *Armstrong, T.; Franzblau, A.; Martin, B.; Ulin, S.; Werner, R.*: Upper limb disorders associated with manual work and hand-transmitted vibration. In: *Lundström, R.; Lindmark, A.* (Hrsg.): *Proceedings 8th International Conference on Hand-Arm Vibration.* Arbetslivsinstitutet, Umeå 1998

[78] *Tichauer, E.R.; Gage, H.*: Ergonomic principles basic to hand tool design. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 38 (1977), S. 622-634

[79] *Colombini, C.*: An observational method for classifying exposure to repetitive

movements of the upper limb. *Ergonomics* 41 (1998) Nr. 9, S. 1261-1289

[80] *Kilbom, Å.*: Repetitive work of the upper extremity: Part I – Guidelines for the practitioner. *Int. J. Ind. Ergon.* 14 (1994), S. 51-57

[81] *Kilbom, Å.*: Repetitive work of the upper extremity: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide. *Int. J. Ind. Ergon.* 14 (1994), S. 59-86

[82] *Silverstein, B.A.; Fine, L.J.; Armstrong, T.J.*: Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *Br. J. Ind. Med.* 43 (1986), S. 779-784

[83] *Babski-Reeves, K.; Crumpton-Young, L.L.*: Comparison of measure for quantifying repetition in predicting carpal tunnel syndrome. *Int. J. Ind. Ergon.* 30 (2002), S. 1-6

[84] *Hansson, G.-Å.; Balogh, I.; Ohlsson, K.; Rylander, L.; Skerfving, S.*: Goniometer measurement and computer analysis of wrist angles and movements applied to occupational repetitive work. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 6 (1996) Nr. 1, S. 23-35

[85] *Moore, J.S.; Garg, A.*: The Strain Index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders.

Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 56 (1995), S. 443-458

[86] *Müller, K.-W.; Strasser, H.*: On the influence of working frequency on muscular strain during handling of light external loads. In: *Marras, W.S.; Karwowski, W.; Smith, J.L.; Pacholski, L.* (Hrsg.): *The Ergonomics of manual Work.* Taylor & Francis, London 1993, S. 119-122

[87] *Søgaard, K.*: Biomechanics and motor control during repetitive work. A biomechanical and electromyographical study of floor cleaning. Department of Physiology, National Institute of Occupational Health & Human Physiology, August Krogh Institute, University of Copenhagen 1994

[88] *Elert, J.*: The pattern of activation and relaxation during fatiguing isokinetic contractions in subjects with and without muscle pain. *Arbete och Hälsa*, Bd. 47. Hrsg.: Arbetslivsinstitutet, Solna 1991

[89] *Dennett, X.; Fry, H.J.H.*: Overuse syndrome: A muscle biopsy study. *Lancet* (1988), S. 905-908

[90] *Goldstein, S.A.; Armstrong, T.J.; Chaffin, D.B.; Mathews, L.S.*: Analysis of cumulative strain in tendons and tendon sheaths. *J. Biomech.* 20 (1987) Nr. 1, S. 1-6

- [91] Marras, W.S.; Schoenmarklin, R.W.: Wrist motions in industry. *Ergonomics* 36 (1993) Nr. 4, S. 341-351
- [92] Arvidsen, I.; Åkesson, I.; Hansson, G.-Å.: Wrist movements among females in a repetitive, non-forceful work. *Appl. Ergon.* 34 (2003), S. 309-316
- [93] Fridén, J.; Lieber, R.L.: Biomechanical injury to skeletal muscle from repetitive loading: Eccentric contractions and vibrations. In: Gordon, S.L.; Blair, S.J.; Fine, F.J. (Hrsg.): *Repetitive motion disorders of the upper extremity*. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont 1995, S. 301-311
- [94] Occhipinti, E.; Colombini, D.: Assessment of exposure to repetitive upper limb movement: an IEA consensus document. *TUTB Newsletter* (1999) Nr. 11-12, S. 22-26
- [95] Hagberg, M.: Work load and fatigue in repetitive arm elevations. *Ergonomics* 24 (1981) Nr. 7, S. 543-555
- [96] Gorelick, M.; Brown, J.M.M.; Groeller, H.: Short-duration fatigue alters neuromuscular coordination of trunk musculature: implications for injury. *Appl. Ergon.* 34 (2003), S. 317-325
- [97] DIN EN 1005-1: Menschliche körperliche Leistung, Teil 1: Begriffe. Beuth, Berlin 2002
- [98] Gilad, I.: A methodology for functional ergonomics in repetitive work. *Int. J. Ind. Ergon.* 15 (1995), S. 91-101
- [99] McAtamney, L.; Corlett, E.N.: RULA: a survey method for the investigations of work-related upper limb disorders. *Appl. Ergon.* 24 (1993) Nr. 2, S. 91-99
- [100] Hägg, G.: Static work loads and occupational myalgia – A new explanation model. In: Anderson, P.; Hobart, D.; Danoff, J. (Hrsg.): *Electromyographical kinesiology*. Elsevier Science, New York, S. 141-144
- [101] Dul, J.; Douwes, M.; Miedema, M.: A guideline for the prevention of discomfort of static posture. In: Nielsen, R.; Jorgensen, K. (Hrsg.): *Advances in industrial ergonomics and safety V*. Taylor & Francis, London 1993, S. 3-5
- [102] Byström, S.E.; Mathiassen, S.E.; Fransson-Hall, C.: Physiological effects of micropauses in isometric handgrip exercises. *Eur. J. Appl. Physiol.* 63 (1991), S. 405-411
- [103] Drury, C.G.: A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential

of industrial jobs. Sem. Occup. Med. 2 (1987) Nr. 1, S. 41-49

[104] *Babirat, D.; Küchmeister, G.; Nagel, K.*: Körpermaße des Menschen – Komfortbereich der Gelenkwinkel der Körpergelenke. In: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven 1998

[105] *Strasser, H.; Müller, K.-W.; Müller, J.E.*: Günstige Bewegungen für die ergonomische Arbeitsgestaltung – Elektromyographische Untersuchungen des Hand-Arm-Systems. Curt Haefner, Heidelberg 1992

[106] *Occhipinti, E.*: OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limb. Ergonomics 41 (1998) Nr. 9, S. 1290-1311

[107] *Keir, P.J.; Wells, R.P.*: The effect of typing posture on wrist extensor muscle loading. Hum. Factors 44 (2002) Nr. 3, S. 392-403

[108] *Keir, P.J.; Bach, J.M.; Rempel, D.M.*: Effects of finger posture on carpal tunnel pressure during wrist motion. J. Hand Surg. 23 (1998) Nr. 6, S. 1004-1009

[109] *Keir, P.J.; Wells, R.P.*: Changes in geometry of the finger flexor tendons in the carpal tunnel with the wrist posture and tendon load: an MRI study on normal wrists. Clin. Biomech. 14 (1999) Nr. 9, S. 635-645

[110] *Silverstein, B.A.; Fine, L.J.; Stetson, D.S.*: Hand-wrist disorders among investment casting plant workers. J. Hand Surg. 12A (1987) Nr. 2, S. 838-844

[111] *Silverstein, B.A.; Fine, L.J.; Armstrong, T.J.*: Occupational factors and carpal tunnel syndrome. Am. J. Ind. Med. 11 (1987), S. 343-358

[112] *Rohmert, W.*: Physiologische Grundlagen der Erholungszeitbestimmung. Zbl. Arb. Wiss. 19 (1965) Nr. 1, S. 1-28

[113] *Rohmert, W.*: Problems in determining rest allowances. Part 1: Use of modern methods to evaluate stress and strain in static muscular work. Appl. Ergon. 4 (1973) Nr. 2, S. 91-95

[114] *Rohmert, W.*: Problems of determination of rest allowances. Part 2: Determining rest allowances in different human tasks. Appl. Ergon. 4 (1973) Nr. 3, S. 158-162

[115] *Björkstén, M.; Jonsson B.*: Endurance limit of force in long-term intermittent static

contractions. *Scand. J. Work Environm. Health* 3 (1977), S. 23-27

[116] *Jonsson, B.*: The static load component in muscle work. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57 (1988), S. 305-310

[117] *Sjøgaard, G.; Kiens, B.; Jørgensen, K.; Saltin, B.*: Intramuscular pressure, EMG and blood flow during low-level prolonged static contraction in man. *Acta Physiol. Scand.* 128 (1986), S. 475-484

[118] *Aarås, A.*: Relationship between trapezius load and the incidence of musculoskeletal illness in the neck and shoulder. In: *Nielsen, R.; Jørgensen, K.* (Hrsg.): *Advances in Industrial Ergonomics and Safety V*. Taylor & Francis, London 1993, S. 121-124

[119] *Borg, G.*: Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*, Champaign 1998

[120] *Grant, K.A.; Habes, D.J.; Putz-Andersen, V.*: Psychophysical and EMG correlates of force exertion in manual work. *Int. J. Ind. Ergon.* 13 (1994), S. 31-39

[121] *Colombini, D.; Occhipinti, E.; Baracco, A.*: A new check list model, set with the OCRA Index, to evaluate exposure to repetitive movements of the upper limbs.

Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress 5 (2000), S. 716-719

[122] *Dupuis, H.; Christ, E.; Sandover, J.; Taylor, W.; Okada, A.*: Proceedings 6th International Conference on Hand-Arm Vibration, Bonn, Mai 1992. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin 1993

[123] *Ticháček, B.; Bencko, V.; Bláha, K.; Markvart, K.*: 7th International Conference on Hand-Arm Vibration, Prag, Mai 1995. In: *Cent. Eur. J. Public Health* 3 (1995) Nr. 3. (Hrsg.): National Institute of Public Health, Prag 1995

[124] *Ticháček, B.; Bencko, V.; Bláha, K.; Markvart, K.*: 7th International Conference on Hand-Arm Vibration, Prag, Mai 1995. In: *Cent. Eur. J. Public Health* 4 (1995) Nr. 1, S. 25-84. (Hrsg.): National Institute of Public Health, Prag 1996

[125] *Lundström, R.; Lindmark, A.*: Proceedings 8th International Conference on Hand-Arm Vibration, Mai 1997. Hrsg.: Arbetslivsinstitutet, Umeå 1998

[126] *Pelmear, P.L.; Taylor, W.; Wasserman, D.E.*: *Hand-Arm Vibration – A comprehensive guide for occupational health professionals*. Van Nostrand Reinhold, New York 1992

- [127] Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibration) (16. Einzelrichtlinie im Sinne des § 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). ABI EG Nr. L 177, S. 13
- [128] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Teil 1: Ganzkörper-Schwingungen; Teil 2: Hand-Arm-Schwingungen. Beuth, Berlin 2002
- [129] DIN EN ISO 5349-1: 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. Beuth, Berlin 2001
- [130] 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 (ISO 5349-2: 2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2: 2001. Beuth, Berlin 2001
- [131] Keir, P.J.; Wells, R.P.; Ranney, D.A.; Lavery, W.: The effects of tendon load and posture on carpal tunnel pressure. Am. J. Hand Surg. 22 (1997) Nr. 4, S. 628-634
- [132] Hand Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLVs®). Hrsg.: American Conference of Governmental Industrial Hygienists ACGIH 2001
- [133] Tanaka, S.; McGothlin, J.D.: A conceptual model for prevention of work-related carpal tunnel syndrome. Int. J. Ind. Ergon. 11 (1993), S. 181-193
- [134] Seth, V.; Weston, R.L.; Freivalds, A.: Development of a cumulative trauma disorder risk assessment model for the upper extremities. Int. J. Ind. Ergon. 23 (1999), S. 281-291
- [135] ISO 11226: Ergonomie – Evaluierung von Körperhaltungen bei der Arbeit. Beuth, Berlin 2000
- [136] DIN EN 1005-4: Menschliche körperliche Leistung, Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen. Beuth, Berlin 2002
- [137] prEN 1005-5: Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung, Teil 5: Risikobeurteilung für repetitive Tätigkeiten bei hohen Handhabungsfrequenzen, CEN Juni 2003

- [138] *Colombini, D.; Occhipinti, E.; Grieco, A.*: Risk assessment and management of repetitive movements and exertions of the upper limb. Elsevier, Amsterdam 2002
- [139] *Herda, C.*: Entwicklung eines personengebundenen Systems zur Erfassung komplexer Haltungen und Bewegungen der Schulter-Arm-Region bei beruflichen Tätigkeiten. Dissertation, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, 2002
- [140] *Ellegast, R.-P.*: Ermittlung und Bewertung der Belastung des Muskel-Skelett-Systems bei beruflichen Tätigkeiten. In: *aaa – arbeitsmedizin und arbeitsschutz aktuell*. 47. Lfg. 12/00. Urban & Fischer, München 2000, S. 57-70
- [141] *Ellegast, R.-P.; 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, S. 47-54
- [142] *Glitsch, U.; Ottersbach, H.J.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Feldges, W.; Schaub, K.; Berg, K.; Winter, G.; Sawatzki, K.; Voß, J.; Göllner, R.; Jäger, M.; Franz, G.*: Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen. BIA-Report 5/2004. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2004, www.hvbg.de/bgia, Webcode 975580
- [143] *Assenmacher, K.*: Entwicklung einer Messvorrichtung zur Erfassung der Greif- und Andruckkräfte der Hände. Diplomarbeit im Studiengang Medizintechnik, Fachhochschule Koblenz, RheinAhrCampus Remagen, 2005
- [144] *Jahnel, H.*: Einsatz des Messsystems CUELA zur praxisnahen Bewegungsanalyse und Belastungsabschätzung beim Tragen verschiedener militärischer Ausrüstungen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 2005
- [145] *Glitsch, U.; Hermanns, I.; Ellegast, R.-P.; Schüler, R.; Herrmann, L.*: EMG signal processor module for long-term movement analysis. In: Kalender, W.; Hahn, E.G.; Schulte, A.M. (Hrsg.): *Berichtsband Biomedizinische Technik 50 (2005) Suppl. 1, Part 2*, Schiele & Schön, Berlin 2005, S. 1440-1441
- [146] *Schäfer, K.; Ellegast, R.-P.*: Simultaneous measurement of whole-body vibration and posture. In: *Tagungsband zur 3. Internationalen Konferenz über Ganzkörper-Vibrationen*, Nancy 2005. Hrsg.: Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Nancy 2005, S. 77-78

- [147] *Karhu, O.; Kansil, P.; Kuorinka, I.:* Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Appl. Ergon.* 8 (1977), S. 199-201
- [148] *Jäger, M.; Luttmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Schäfer, K.; Hartung, E.; Kuhn, S.; Paul, R.; Francks, H.P.:* Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) zur Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule durch Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung bei Verdacht auf Berufskrankheit Nr. 2108. Teil 1: Retrospektive Belastungsermittlung für risikobehaftete Tätigkeitsfelder. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 34 (1999) Nr. 3, S. 101-111
- [149] *Hartung, E.; Schäfer, K.; Jäger, M.; Luttmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Kuhn, S.; Paul, R.; Francks, H.P.:* Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) zur Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule durch Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung bei Verdacht auf Berufskrankheit Nr. 2108. Teil 2: Vorschlag zur Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen im Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 34 (1999) Nr. 3, S. 112-122
- [150] *Bauer, S.; Boxberg, Y.; Drerup, B.; Ellegast, R.P.:* Reliability of daily activity monitoring in diabetic patients with the CUELA measurement and analysis system. *International Conference on Biomechanics of the Lower Limb in Health, Disease and Rehabilitation*, 5.-7. September 2005, Salford/Großbritannien – Vortrag. *Berichtsband*, S. 94-95. Hrsg.: Universität Salford
- [151] *Ellegast, R.; Herda, C.; Hoehne-Hückstädt, U.; Lesser, W.; Kraus, G.; Schwan, W.:* Ergonomie an Näharbeitsplätzen. *BIA-Report 7/2004*. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2004
www.hvbg.de/bgja, Webcode 1025313
- [152] *Berufsgenossenschaftliche Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Ergonomie an Näharbeitsplätzen – Ratgeber für die Praxis (BGI 804-2) vom Mai 2005.* Hrsg.: Textil- und Bekleidungs-Berufsgenossenschaft, Augsburg, und Lederindustrie-Berufsgenossenschaft, Mainz
http://www.textil-bg.de/Download/BGI-804-2_TBGG.pdf oder
<http://libg.de/ebenen/shoplibg/index.php?action=showdetails&from=search&pageNr=8&productId=43043a8b161f8&sid=3f19ec2ad9469479a88780a4fa926844>