



2 Methodik der Untersuchungen

2.1 Vorgehensweise der Versuchsplanung und Durchführung

Die Zielsetzung der geplanten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist die Entwicklung von praxisorientierten Hinweisen zur ergonomischen Gestaltung von Nähtätigkeit. Dabei sollen Erkenntnisse im Praxisversuch wissenschaftlich belegt und die betriebliche Erfahrung der Anwender berücksichtigt werden.

Die Methodik der Vorgehensweise bei den Untersuchungen lässt sich in fünf Teilschritte gliedern.

□ Teilschritt 1: Entwicklung von Versuchs- und Musterarbeitsplätzen

Zur Durchführung von Vergleichsuntersuchungen, bei denen der Ist-Zustand, d. h. ein üblicher Näharbeitsplatz in einer von acht als repräsentativ festgelegten Branchen/ Bereichen, mit einem ergonomisch optimierten Näharbeitsplatz verglichen wird, werden mehrere Versuchs- und Musterarbeitsplätze benötigt. Diese Arbeitsplätze beinhalten einen in den erforderlichen Bereichen (Höhe, Neigung, Fußpedalanordnung) verstellbaren Arbeitstisch, die erforderlichen Fußauslösungen, entsprechend verstellbare Arbeitsstühle sowie alle für die Arbeitsausführung benötigten Zusatzausstattungen (z. B. Beleuchtungseinheiten). In diesen Arbeitsplatz ist die für die jeweilige zu untersuchende Tätigkeit erforderliche Nähmaschine (Nähkopf) integriert. Neben dem ergonomischen Vergleich ist der Versuchs- und Musterarbeitsplatz auch zur beispielhaften Darstellung des im Laufe der Untersuchungen wissenschaftlich bestätigten optimierten Gestaltungszustandes vorgesehen.

□ Teilschritt 2: Analyse des Ist-Zustandes ausgewählter Nähtätigkeiten

In diesem Schritt werden in acht Unternehmen, in denen repräsentative Nähtätigkeiten identifiziert wurden, Belastung und Beanspruchung bei Nähtätigkeit unter Anwendung der in den Abschnitten 2.3 und 2.4 dargestellten Methoden untersucht. Aus der Vielfalt der in den Unternehmen vorhandenen Arbeitsplätze wird nach festgelegten Kriterien in



jedem Unternehmen ein repräsentativer, im Projekt zu untersuchender Arbeitsplatz ausgewählt. Dieser Näharbeitsplatz wird in seinen geometrischen Daten erfasst, die an ihm ausgeführten Tätigkeiten werden dokumentiert und die Umgebungsbedingungen werden gemessen.

- ☐ Teilschritt 3: Bewertung des Ist-Zustandes und firmenspezifische Konkretisierung der Musterarbeitsplätze

In Kooperation mit dem Ingenieurbüro Schwan werden aus der gemeinsamen Auswertung der Ergebnisse der Ist-Zustands-Analysen im Vergleich mit aktuellen Forschungsergebnissen und den Erfahrungen der Anwender firmenspezifisch konkrete ergonomische Veränderungen an den Versuchs- und Musterarbeitsplätzen entwickelt. Die Bewertung der Versuchsergebnisse orientiert sich an gesicherten ergonomischen Erkenntnissen, die für vergleichbare Tätigkeiten vorliegen bzw. von den Projektarbeitern entwickelt wurden. Als Ergebnis der Ist-Zustands-Bewertung werden die Vorgaben für die Vergleichs- und Musterarbeitsplätze festgelegt.

- ☐ Teilschritt 4: Analyse des Soll-Zustands ausgewählter Nähtätigkeiten

In diesem Schritt werden in ausgewählten Unternehmen, in denen der Ist-Zustand untersucht wurde, mit der gleichen Methodik die Belastung und Beanspruchung bei Nähtätigkeit an den Versuchs- und Musterarbeitsplätzen untersucht. Dabei führen die gleichen Versuchspersonen nach entsprechender Einarbeitung vergleichbare Arbeitsschritte an den ergonomisch optimierten Arbeitsplätzen aus. Die im Teilschritt 2 aufgeführten Mess- und Untersuchungsmethoden werden in gleicher Weise eingesetzt wie oben ausgeführt.

- ☐ Teilschritt 5: Ergonomischer Vergleich zwischen Soll- und Ist-Zustand

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der Körperhaltungs- und Bewegungsanalysen und der Beanspruchungsanalysen werden Zusammenhänge abgeleitet, die als Rückwirkung bestimmter Belastungssituationen auf die individuelle Beanspruchungssituation erkennbar sind. Ausgehend von den interindividuellen Unterschieden der Versuchspersonen, wie Körpermaße, Sehfunktionskenngrößen und Übungsgrad, wird



deren möglicher Einfluss auf die Streuung der erhaltenen Zusammenhänge zwischen Belastungs- und Beanspruchungskenngrößen untersucht. Durch eine engpassorientierte Betrachtung, also die Suche nach einzelnen, besonders hoch beanspruchten Organen oder Organgruppen, können allgemein gültige Hinweise für gestaltungsbezogene Optimalbereiche abgeleitet werden. Hinweise auf Belastungen, die zum Überschreiten von Dauerleistungs- und Dauerbeanspruchungsgrenzwerten führen, sind ein weiteres wichtiges Ergebnis. Die Kenntnis solcher Grenzwerte für die Nähtätigkeit kann auch dazu beitragen, negative Gesundheitsfolgen zu verringern oder zu vermeiden. Die aus den Untersuchungen gewonnenen Mess- und Auswertungsergebnisse werden unter Verwendung der Erkenntnisse aus der ergonomischen Fachliteratur und mit Einsatz des Fachwissens betrieblicher und außerbetrieblicher Experten bezüglich ihrer Gültigkeit, Übertragbarkeit und Praxistauglichkeit überprüft und diskutiert.

□ Teilschritt 6: Anwendungsnahe Aufbereitung der Erkenntnisse

Die Ergebnisse werden praxisnah aufbereitet. Diese Aufarbeitung ist integraler Teil des Forschungsvorhabens. Dadurch wird sichergestellt, dass die gewonnenen Erkenntnisse direkt an Hersteller und Anwender weitergegeben werden können. Ein Teil dieser Aufbereitung ist die Entwicklung von Musterarbeitsplätzen, die als Ausstellungsstücke zur Verfügung gestellt werden. Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden als Informationsmaterial in Papierform (z. B. Flyer) sowie als PowerPoint®-Präsentation der wichtigsten Ergebnisse in anschaulicher Form an den Anwender weitergegeben.

Im Rahmen des wissenschaftlichen Abschlussberichtes werden alle gewonnenen Erkenntnisse zur ergonomischen Gestaltung von Näharbeitsplätzen in schriftlicher Form dargestellt. Eine ergonomische Checkliste für Näharbeitsplätze wird entwickelt.

2.2 Planung der Felduntersuchungen

Die Ist- und Soll-Zustands-Untersuchungen wurden ausschließlich in der Form von Felduntersuchungen durchgeführt. Die Auswahl der Unternehmen, die an den Felduntersuchungen teilnehmen sollten, orientierte sich an der Fragestellung, inwieweit die dort ausgeführte Nähtätigkeit, der vorhandene Arbeitsplatz einschließlich des



Betriebsmittels Nähmaschine und das dort gefertigte Produkt typisch für die mit Näharbeit befasste Branche ist. Mit der Unterstützung von Experten im berufsgenossenschaftlichen Fachausschuss Textil und Bekleidung wurden folgende Tätigkeiten, Maschinen und Produkte identifiziert:

- Nähtätigkeit an kleineren Objekten mit Flachbett-, Säulen- und Blocknähmaschinen (z. B. Fertigung von Schuhen, Bekleidungs-Kleinteilen und Stofftieren). Ausgewählte Unternehmen: Gabor, Lowa (Schuhe), Steiff (Stofftiere), Triumph (Wäsche)
- Nähtätigkeit an mittelgroßen Objekten mit Flachbett- und Säulenmaschinen (z. B. Fertigung und Reparatur von Bekleidung, Fertigung von Polstern und Bezügen). Ausgewählte Unternehmen: Triumph (Wäsche), Klotz (Herrenoberbekleidung), RECARO (Sitzbezüge), MEWA (Reparatur von Berufskleidung)
- Nähtätigkeit an großen Objekten mit Flachbettmaschinen (z. B. Fertigung von Polster- und Sitzbezügen, Zelten). Ausgewählte Unternehmen: RECARO (Sitzbezüge), Berger (Zelte).

An den Untersuchungen haben sich insgesamt acht Unternehmen beteiligt, deren Produktspektrum und Näharbeitsplätze teilweise mehreren unterschiedlichen Kategorien zugeordnet werden konnten.

Zu Projektbeginn wurde in den Unternehmen, in denen repräsentative Nähtätigkeiten identifiziert wurden, die Auswahl des für die Untersuchung geeigneten Arbeitsplatzes getroffen. Die Daten des Arbeitsplatzes wurden dokumentiert. Alle Beteiligten wurden über das Vorhaben informiert und die Untersuchungstermine festgelegt. Leider konnte von den ursprünglich vor Projektbeginn geplanten Unternehmen nur ein kleinerer Anteil an den Untersuchungen teilnehmen. Gründe für die Abweichung von der ursprünglich getroffenen und vereinbarten Auswahl lagen in der Verantwortung der Unternehmen. Diese unvorhergesehenen Veränderungen der Projektplanung und Durchführung hatten zeitliche Verzögerungen zur Folge, die die Projektbearbeiter nicht zu vertreten haben. Sie haben zu einer Erhöhung des Projektsteuerungs- und Planungsaufwands geführt, der die Ausführenden in nicht geringem Maße belastet



hat. Die daraus entstandenen Verzögerungen und Mehraufwendungen mussten in späteren Projektphasen wieder kompensiert werden.

2.3 Entwicklung von Arbeitsgestaltungsalternativen

Einer der wesentlichsten Inhalte des Projektes war die Entwicklung von ergonomisch verbesserten Näharbeitsplätzen. Nur durch den Vergleich üblicher Näharbeitsplätze mit ergonomisch optimierten Alternativplätzen kann ermittelt werden, ob eine verbesserte Gestaltung die erwarteten Wirkungen auch zeigen kann.

Die Entwicklung dieser Arbeitsplätze wurde vom Ingenieurbüro Schwan durchgeführt. Mit der Entwicklung dieser – auch als Musterarbeitsplätze bezeichneten – Arbeitssysteme wurde zu Projektbeginn begonnen. Dabei flossen die umfangreichen Erfahrungen und Kenntnisse der Forschungsnehmer in die Neukonzeption ein. Nach Abschluss der Ist-Zustands-Analysen wurden die Anforderungen an die Systeme weiter konkretisiert. Die Ergebnisse der Ist-Zustands-Analysen wurden mit allen Projektbeteiligten diskutiert und in das ergonomisch verbesserte Konzept eines Näharbeitsplatzes integriert. Daraus wurden schließlich firmenspezifische Lösungen für die Durchführung der Soll-Zustands-Untersuchungen entwickelt und bereitgestellt. Die Beschreibung der entwickelten Lösungen findet sich in Abschnitt 3.7.

2.4 Beurteilung von Beanspruchungs-, Aktivitäts- und Umgebungsdaten

Beanspruchungsanalysen wurden mit der Zielsetzung durchgeführt, die körperlichen Reaktionen der arbeitenden Personen auf Veränderungen der Arbeitsgestaltung zu erfassen und damit die Güte und Wirkung der durchgeführten Veränderungen zu beurteilen.

Die Höhe der Beanspruchung einzelner Menschen ist abhängig von den persönlichen Leistungsvoraussetzungen, wie z. B. Trainingszustand, Alter und Geschlecht, und von der Belastung, die sich z. B. aus der Arbeitsaufgabe, den Umgebungsbedingungen und der konkreten Gestaltung des Arbeitsplatzes ergibt [15]. Ferner ist sie abhängig von der konkreten Ausführung der Tätigkeit, die durch quantitative Merkmale (z. B.



Bewegungsgeschwindigkeit) und qualitative Merkmale (z. B. Erfüllung von Qualitätsvorgaben) beschrieben werden kann.

Um das Ziel zu erreichen, Hinweise auf günstigere bzw. weniger günstige Gestaltungsmerkmale zu gewinnen, wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

- Vergleich der Beanspruchungsreaktionen inter- und intraindividuell, d. h. Vergleich der Beanspruchungsreaktion verschiedener Personen bezogen auf eine Arbeitssituation und Vergleich der Reaktionsbreite einzelner Versuchspersonen
- Weitgehende Konstanz der Versuchsbedingungen (Produkt, Umgebung, Arbeitsdauer), um unerwünschte Einflussgrößen auszuschließen
- Beurteilung der quantitativen und qualitativen Tätigkeitsausführung, um ggf. Einflüsse auf Beanspruchungsgrößen zu erkennen und durch entsprechende Normierung zu berücksichtigen

Die Einhaltung dieser Randbedingungen war für alle Beanspruchungsmessungen in den Felduntersuchungen vorgesehen. Die Beanspruchungsmessungen wurden von Prof. Dr.-Ing. *W. Lesser* und *J. Gampenrieder* (Labor für Ergonomie und Personalführung an der Fachhochschule München) vorgenommen.

2.4.1 Erfassung und Auswertung der Herzschlagfrequenz

Als Beanspruchungsmessgrößen wurden die Herzschlagfrequenz (HSF) und die elektrische Aktivität (EA) ausgewählter Muskeln erfasst. Die Herzschlagfrequenz ist eine Messgröße, mit der die muskuläre Beanspruchung des Menschen bei körperlich belastender Arbeit beurteilt werden kann [16]. Durch die Bewertung des Verhaltens der Herzschlagfrequenz im Mittelwert, in der zeitabhängigen Veränderung und im Ruheverlauf lassen sich unterschiedliche Gestaltungszustände, die durch die Arbeitsplatzgeometrie und die Arbeitsbedingungen vorgegeben sind und durch Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten der Versuchspersonen beeinflusst werden, objektiv bewerten. Aus dem Zusammenhang zwischen dem Sauerstoff- und Energiebedarf der gesamten eingesetzten Muskulatur bei den unterschiedlichen Anforderungen aufgrund



von statischer, dynamischer und einseitig dynamischer Arbeit bei der Nähtätigkeit können Hinweise für Dauerleistungs- und Dauerbeanspruchungsgrenzwerte überschreitende Belastungen abgeleitet werden [17]. Die Kenntnis solcher Grenzwerte für die Nähtätigkeit kann auch dazu beitragen, negative Gesundheitsfolgen zu verringern oder zu vermeiden.

Die Herzschlagfrequenz wurde in einer definierten Ruhephase im Sitzen vor der Untersuchung, während der Arbeitsphase und der in die Arbeitsphase eingeschobenen Pausenzeiträume sowie teilweise in einer definierten Ruhephase nach Versuchsende aufgezeichnet.

Die Ableitung der Signale erfolgte in Brustwandableitung, unter Verwendung von Silber-Silberchlorid-Elektroden. Die Elektroden wurden auf der Haut mit Kleberingen fixiert und diese zusätzlich mit Pflaster. Als Leitsubstanz diente die Elektrodenpaste Singna Creme. Die Erfassung der Herzschlagfrequenz erfolgte durch den tragbaren Messwertspeicher der Fa. Natic, den Physio-Logger. Dieses Gerät erfasst mit einer Abtastrate von 20 ms (50 Hz) das analoge Signal, erkennt den Herzschlag am QRS-Komplex (Verlauf der Herzkammerkontraktion im EKG), errechnet den zeitlichen Abstand zwischen zwei R-Zacken und speichert die Herzschlagfrequenz nach einer Plausibilitäts- und Fehlerprüfung ab. Aus diesen Daten kann dann der zeitliche Verlauf der Herzschlagfrequenz dargestellt, Mittelwerte und Varianzen errechnet und Korrelations- sowie Regressionsanalysen durchgeführt werden. Die Auswertung und Berechnung der statistischen Kenngrößen erfolgte mit den Programmsystemen MS EXCEL und SPSS. Die Arbeits-Herzschlagfrequenz (AHSF) wurde als Differenz zwischen der gemessenen Herzschlagfrequenz bei der Arbeit und der im Sitzen in Ruhe gemessenen Herzschlagfrequenz errechnet. Die zeitliche Veränderung der Herzschlagfrequenz wurde mittels linearer Regression berechnet. Aus dem zeitlichen Verhalten der HSF, das auch als „Ermüdungsanstieg“ bezeichnet wird, lassen sich Aussagen über das Überschreiten von Dauerbeanspruchungsgrenzen ableiten [18].



2.4.2 Erfassung und Auswertung der elektrischen Muskelaktivität

Die elektrische Aktivität (EA) einzelner Muskeln ist eine Messgröße, mit der beurteilt werden kann, wie hoch die Beanspruchung eines Muskels bzw. einer Muskelgruppe bei körperlicher Arbeit ist [17]. Sie ist das Ergebnis aus Ableitung, Verstärkung, Filterung und Gleichrichtung der von den Nerven ausgehenden Aktionspotenziale mit einem entsprechenden Messgerät.

Die Ableitung der Signale erfolgte in bipolarer Ableitung unter Verwendung von Silber-Chlorid-Elektroden (Fa. Hellige). Die Elektroden wurden auf der Haut mit Kleberingen, diese zusätzlich mit Pflaster fixiert [19]. Die Kabel wurden ebenfalls auf der Haut fixiert, um den Einfluss von Bewegungsartefakten möglichst gering zu halten. Als Leitsubstanz diente die Elektrodenpaste Singna Creme. Die gleichzeitige Erfassung von fünf EMG-Kanälen erfolgte in unseren Untersuchungen durch den tragbaren Messwertspeicher der Fa. Natic, dem Physio-Logger. Dieses Gerät erfasst nach Hoch- und Tiefpass-Filterung sowie Gleichrichtung mit einer Abtastrate von 100 ms (10 Hz) das analoge Signal und speichert den aktuellen Wert der EA mit einer Speicherrate von 100 ms ab. Aus diesen Daten kann dann der zeitliche Verlauf der EA, Mittelwerte und Varianzen errechnet und Regressionsanalysen des zeitlichen Verlaufes durchgeführt werden (siehe Abschnitt 2.4.1). Die gemessenen Mittelwerte der EA wurden auf die in Ruhe gemessenen Minimalwerte jeder Person normiert und als prozentuale Veränderung bezogen auf den Minimalwert der EA dargestellt.

Die Aktivität folgender Muskeln wurde untersucht: Fingerbeuger (*M. flexor digitorum*), Armbeuger (*M. biceps brachii*), Armstrecker (*M. triceps brachii*), vordere und seitliche Armheber (*M. deltoideus p. clavicularis* und *M. deltoideus p. acromialis*), Schulterhebemuskulatur (*M. trapezius p. descendens*) und Rückenmuskulatur (*M. erector spinae*). Die Körperseite mit der höher belasteten Extremität wurde für die Messung ausgewählt. Die Auswahl der entsprechenden Körperseite erfolgte aufgrund einer Expertenbeurteilung und Aussagen der untersuchten Arbeitsperson.



2.4.3 Messung der Aktivitätsgröße Handgelenkbeschleunigung

Als Kenngröße für die körperliche Aktivität der Arbeitsperson wurde die horizontale Beschleunigung bei der Vor- und Rückbewegung der Hand gemessen. Dazu wurde ein von der Fa. Natic entwickelter Beschleunigungsaufnehmer mit einem Uhrarmband am Handgelenk befestigt. Die Messsignale wurden auf den tragbaren Messwertspeicher Natic übertragen, dort im Abstand von 100 ms abgetastet und mit einer Speicherrate von 100 ms abgespeichert. Der Messbereich des Aufnehmers war auf ± 2 g kalibriert. Da der Beschleunigungsaufnehmer neben der dynamischen Komponente auch auf die statische Handhaltung (Drehung) des Unterarms reagierte, wurde diese zeitlich eher gering variable Größe durch eine entsprechende mathematische Verarbeitung eliminiert. Als Ergebnis wurde der dynamische Anteil errechnet, der dann für die weitere Verarbeitung (Mittelwertbildung, Varianzberechnung usw.) zur Verfügung stand.

2.4.4 Codierung der ausgeführten Tätigkeit

Die während der Untersuchung ausgeführten Tätigkeiten wurden mittels Codierungen zeitparallel erfasst und dokumentiert. Ebenso wurden die Zeiträume in denen Pausen stattfanden, Umbauten vorgenommen wurden oder betriebliche Störungen auftraten, dokumentiert.

2.4.5 Aufzeichnung der Tätigkeit mittels Videotechnik

Mittels Videotechnik wurde der gesamte Arbeitsablauf dokumentiert. Dabei wurde die Videokamera auf einem Stativ fixiert, sodass der gesamte Oberkörper der Arbeitsperson aus der gleichen Perspektive über den ganzen Versuchszeitraum aufgezeichnet werden konnte. Damit war sichergestellt, dass unerwartet auftretende Ereignisse (z. B. technische oder organisatorische Störungen) dokumentiert wurden.

2.4.6 Beurteilung der Rückwirkungsfreiheit

Die eingesetzte Methodik hat sich als weitgehend rückwirkungsfrei auf die Nähtätigkeit erwiesen. Die Vorbereitungen der Versuchspersonen wurden mit Unterstützung der Betriebsärzte durchgeführt und von allen Versuchspersonen ohne Probleme akzeptiert.



2.4.7 Erfassung persönlicher Daten und Aussagen der Versuchspersonen

Folgende persönliche Daten der Versuchspersonen wurden in allen Untersuchungen erfasst: Name, Alter in Jahren, Dauer der beruflichen Nähtätigkeit allgemein in Jahren, Dauer der Nähtätigkeit am Arbeitsplatz in Jahren, Körpergröße in cm, Körpergewicht in kg, Verwendung einer Sehhilfe am Arbeitsplatz.

Der Grad der körperlichen Beanspruchung wurde durch Selbsteinschätzung der Näherin in die Stufen „leicht“, „mittelschwer“, „schwer“ und „sehr schwer“ eingestuft.

Vorschläge zur Verbesserung der Gestaltung des Näharbeitsplatzes wurden bezogen auf Nähmaschine, Arbeitstisch, Fußraum, Bedienelemente, Materialbereitstellung, Arbeitsstuhl, Beleuchtung sowie Sonstiges erfragt. Der verwendete Fragebogen ist im Anhang 1 dargestellt.

Damit konnten individuelle Eigenschaften, subjektive Einschätzungen der Arbeitsschwere und eigene Verbesserungswünsche für jede untersuchte Tätigkeit dokumentiert werden. Ein Fragebogen zur Ermittlung tätigkeitsbedingter Beschwerden wurde erstellt, um bei allen Arbeitspersonen den gesundheitlichen Zustand zu erfragen (siehe Abschnitt 5.10, Tabelle 29). In der Regel wurde dieser Fragebogen von dem Arbeitsmediziner der Textil- und Bekleidungs-Berufsgenossenschaft verwendet, um in einem ausführlichen Gespräch mit der Arbeitsperson Informationen über Beschwerden und Erkrankungen zu erhalten. Den Personen wurde zugesichert, dass eine Auswertung der Daten nur in anonymisierter Form erfolgt. In einigen Fällen wurde die Befragung auch von Prof. Lesser bzw. dem für das Unternehmen zuständigen Arbeitsmediziner durchgeführt.

In diesem Fragebogen wurde die Häufigkeit des Auftretens von Beschwerden in den drei Kategorien „häufig“, „manchmal“ und „keine Beschwerden“ erfasst. Als Ort der Beschwerden war vorgegeben:

Oberkörper:

Nacken, Schulter, Arme, Obere Wirbelsäule, Brustkorb, Finger, Hände



- Unterkörper:
Hüfte, untere Wirbelsäule, Beine, Füße
- Kopf:
Augen, Ohren, Kopfschmerzen
- Sonstige:
Herz- und Kreislaufbeschwerden, Hauterkrankungen, Atemwegsbeschwerden, Schlafstörungen

Bei den Vergleichsuntersuchungen „Alter – neuer Arbeitsplatz“ beurteilten die Versuchspersonen die unterschiedlichen Arbeitssituationen. Dazu wurden die Versuchsperson gebeten, in einem Interview eine Einschätzung ihrer Beanspruchung in fünf Stufen vorzunehmen: „Note 5 = sehr hoch“, „Note 4 = hoch“, „Note 3 = mittel“, „Note 2 = gering“, „Note 1 = sehr gering“. Als Ort der Beanspruchung wurden Finger, Hand, Unterarm, Oberarm, Schulter, Hals, Rücken in Brusthöhe, Rücken in Lendenhöhe, Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß jeweils auf der rechten und linken Körperseite erfragt. Auch die Beanspruchung von Augen, Gehör, die Beanspruchung infolge von Kräften/Gewichten, Geschwindigkeit, Genauigkeit, Aufmerksamkeit und Konzentration wurde für die unterschiedlich gestalteten Arbeitsplätze erfragt (siehe Anhang, Abschnitt II).

Bezogen auf die Qualität der Arbeitsplatzgestaltung wurden Beurteilungen in Form von Schulnoten vorgegeben: „Note 1 = sehr gut“, „Note 2 = gut“, „Note 3 = befriedigend“, „Note 4 = ausreichend“, „Note 5 = mangelhaft“.

Beim Fußraum wurden folgende Einzelkriterien beurteilt: Größe des Pedals, Position des Pedals, Neigung des Pedals, Körperhaltungswechsel und nutzbarer Beinfreiraum. Zur Beurteilung der Sitzposition waren folgende Kriterien vorgegeben: Abstützung der Oberschenkel, Abstützung im Rücken, Höhe der Sitzfläche. Beim Arbeitstisch wurde nach der Höhe des Tisches, der Neigung der Tischfläche, der Armablage bezogen auf ihre Position und Höhe sowie ihren Verstellbereich gefragt.



2.4.8 Erfassung von Arbeitssystemdaten

Die Erfassung von Maßen und Daten der untersuchten Arbeitsplätze hatte zum Ziel, alle wichtigen Kenngrößen der Arbeitssituation zu dokumentieren. Dazu gehörten:

- Arbeitsaufgabe
- eingesetzte Maschine (Arbeitsmittel)
- Nähtisch mit dem entsprechenden Zubehör
- Betätigungselemente
- Anzeigeinstrumente
- bearbeitetes Nähgut (Arbeitsobjekt)
- Umgebungsbedingungen
- Arbeitsorganisation.

Die Arbeitsaufgabe wurde anhand von Firmenunterlagen und Aussagen der Vorgesetzten und Arbeitspersonen dokumentiert. Die eingesetzten Maschinen sowie das bearbeitete Nähgut wurden ebenfalls beschrieben. Der Arbeitstisch wurde beschrieben und vermessen. Betätigungselemente, wie Fußpedale, Knieauslöser und Taster, wurden ebenso erfasst wie die eingesetzten Anzeigeinstrumente. Das verarbeitete Material wurde bezüglich seiner Dimensionen und Charakteristika eingestuft. Die Umgebungsbedingungen wurden durch eigene Messungen der Beleuchtungs-, Lärm- und Klimasituation dokumentiert. Zur Beurteilung der Beleuchtungssituation wurden Helligkeits- und Leuchtdichtemessungen auf dem Arbeitstisch und in der Umgebung des Arbeitstisches vorgenommen. Die Lärmmessungen beschränkten sich auf stichprobenartige Beurteilung des Lautstärkepegels im Arbeitsraum und in Ohrhöhe der Arbeitsperson beim Nähen mit ihrer Maschine. Die Klimamessung umfasste Temperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit im Bereich des Näharbeitsplatzes und im Arbeitsraum.



2.4.9 Vorbereitung und Durchführung der Untersuchungen

Der speziell für das Unternehmen aufgrund der Ergebnisse der Ist-Zustands-Untersuchungen konzipierte Arbeitsplatz wurde in dem Unternehmen ca. vier Wochen vor Beginn der eigentlichen Untersuchung angeliefert. Dort erfolgte der Aufbau des Arbeitsplatzes und die Erprobung der einzelnen Komponenten.

Die Mitarbeiterinnen, die an den Untersuchungen teilnehmen sollten, wurden vom Versuchsleiter am neuen Platz eingewiesen und mit den veränderten Arbeitsbedingungen an diesem Platz vertraut gemacht. Die Nüchternheit im Sitzen und Stehen wurde probeweise ausgeführt. Der Versuchsleiter zeigte allen Versuchspersonen, wie die belastungsverringernenden Gestaltungselemente des neuen Arbeitsplatzes genutzt werden können. Für diese Einweisung stand mindestens ein Arbeitstag zur Verfügung. Mit der Unternehmensleitung wurde vereinbart, dass die für die Versuche ausgewählten Mitarbeiterinnen im Folgezeitraum (zwei bis vier Wochen) ausreichend Gelegenheit zur Einarbeitung an dem neu entwickelten Arbeitsplatz bekamen.

Damit konnte sichergestellt werden, dass die Mitarbeiterinnen bis zur eigentlichen Vergleichsmessung genügend Erfahrung im Umgang mit dem neuen Arbeitsplatz gesammelt hatten.

Die Versuchsdurchführung gliederte sich in mehrere Abschnitte, die in fester zeitlicher Reihenfolge aufeinander durchgeführt wurden:

- Aufbau und Überprüfung der Messgeräte in einem von der Produktion getrennten und für untersuchungsfremde Personen nicht zugänglichen Vorbereitungs-Raum (VR)
- Besichtigung des Arbeitsplatzes, Begrüßung der Arbeitsperson mit erster Einweisung
- Aufbau der Kamera am Arbeitsplatz
- Ausrüstung der Versuchsperson mit den entsprechenden Elektroden und Messgeräten im VR
- Kalibrierung und Erprobung der Signale im VR



- Erfassung der persönlichen Daten der Versuchsperson im VR
- Kurze Ruhephase zur Ermittlung der Ruhe-Herzschlagfrequenz im Sitzen im VR
- Ortwechsel zum Arbeitsplatz, Überprüfung der Signalqualität bei telemetrischer Übertragung, Festlegung der tätigkeitsspezifischen Codierung
- Tätigkeitsbeginn, Beginn der Codierung der Arbeitsschritte, Beginn der Videoaufzeichnung, Beginn der eigentlichen Messphase
- Messung von Umgebungseinflussgrößen, die ohne Behinderung der Arbeitsperson durchgeführt werden konnten
- Beschreibung der Arbeitsbedingungen aufgrund der Tätigkeitsbeobachtung und der von den Unternehmen zur Verfügung gestellten Unterlagen
- Tätigkeitsende, Ende der Codierung der Arbeitsschritte, Ende der Videoaufzeichnung, Ende der Beanspruchungsmessung
- Ortswechsel in den VR
- Abrüsten der Messgeräte im VR
- Befragung nach Beschwerden und Erkrankungen im VR
- Befragung nach dem Vergleich Ist-Zustand/Soll-Zustand im VR.

In Pausen- oder Nichttätigkeitszeiten der Arbeitspersonen bzw. nach Ende der Messungen wurden am Arbeitsplatz folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Erfassung der Arbeitsplatzmaße
- Messung von Umgebungseinflussgrößen, die während der Tätigkeit nicht erfasst werden konnten (z. B. Leuchtdichte an der Nadel).

Die Gesamtdauer der Beanspruchungsmessung mit einer Arbeitsperson betrug in der Regel mindestens eine halbe Schichtlänge (vier Stunden). Innerhalb dieses Zeitraums



wurden meistens mehrere Einzelmessungen durchgeführt. Dabei wurden die Versuchsbedingungen bei den Vergleichsuntersuchungen am neu gestalteten Arbeitsplatz variiert, z. B. durch Veränderung der Körperhaltung vom Sitzen zum Stehen.

2.5 Beurteilung der Körperhaltung mittels CUELA

2.5.1 Das CUELA-Messsystem

Zur Ermittlung der Körperhaltungen und der damit verbundenen Muskel-Skelett-Belastungen wurde das im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BIA entwickelte CUELA-Messsystem (**C**omputer-**u**nterstützte **E**rfassung und **L**angzeit-**A**nalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) [20] eingesetzt. Hierbei liefern elektronische Neigungs- und Winkelsensoren, die an den Gelenken bzw. auf den Körpergliedern angebracht sind, die erforderlichen Lage- bzw. Winkelinformationen, um die Bewegungen des Menschen kinematisch rekonstruieren zu können. Ergänzt wird das System durch Winkelgeschwindigkeitssensoren (Gyroskope).

Das CUELA-System war ursprünglich für die Erfassung von Bewegungen der Wirbelsäule und der unteren Extremitäten entwickelt worden [21]. Für dieses Projekt wurde es um die Erfassung der Bewegung des Schulter-Arm-Bereiches und des Kopfes erweitert [22]. In Tabelle 1 (siehe Seite 34) sind die messtechnisch erfassten Freiheitsgrade der jeweiligen Gelenke und Körperregionen zusammengestellt.

In Abbildung 1 (siehe Seite 35) ist der Aufbau des CUELA-Messsystems schematisch dargestellt. Das System besitzt eine Speichereinheit mit einer Speicherkarte und eigener Batterieversorgung, welche die Versuchsperson am Körper trägt (Abbildung 2, siehe Seite 36). Damit ist das personengebundene Messsystem völlig autark und kann je nach Speicher- und Batteriekapazität über viele Stunden Bewegungsdaten aufzeichnen. Die Abtastrate der Messwerterfassung des Systems beträgt 50 Hz. Nach erfolgter Messung kann die Speicherkarte unmittelbar von einem Computer zur weiteren Analyse ausgelesen werden.



Eine zeitaufwändige manuelle Datenaufbereitung wie das manuelle Digitalisieren von Videoaufnahmen etc. entfällt daher völlig. Die Messung wird zusätzlich durch Videoaufnahmen dokumentiert. Durch Synchronisation des Videofilms mit den Messdaten ist somit später eine einfache Zuordnung der Belastungsmesswerte zu den Arbeitssituationen möglich.

Tabelle 1:
Übersicht über die mit dem CUELA-System erfassten Körperglieder,
Freiheitsgrade und eingesetzte Sensorik

| Gelenk/Körperregion | Freiheitsgrad | Erfassender Sensor |
|-------------------------|--|------------------------|
| Kopf | Neigung, Flexion/Extension | Inklinometer |
| Halswirbelsäule (HWS) | Flexion/Extension | berechnet |
| Brustwirbelsäule (BWS) | Neigung, Flexion/Extension, Seitneigung | Inklinometer, Gyroskop |
| Lendenwirbelsäule (LWS) | Neigung, Flexion/Extension, Seitneigung | Inklinometer, Gyroskop |
| Becken | Neigung (sagittal) | Inklinometer, Gyroskop |
| Hüftgelenk | Flexion/Extension | Potentiometer |
| Kniegelenk | Flexion/Extension | Potentiometer |
| Schultergürtel | Depression/Elevation, Anterior/Posterior | Potentiometer |
| Schultergelenk | Flexion/Extension, Adduktion/Abduktion, Innen-/Außenrotation | Potentiometer |
| Ellbogengelenk | Flexion/Extension | Potentiometer |
| Unterarm | Pronation/Supination | Potentiometer |
| Handgelenk | Flexion/Extension, Radial-/Ulnarabduktion | Potentiometer |



Abbildung 1:
Schematischer Aufbau und Funktionsweise des CUELA-Messsystems

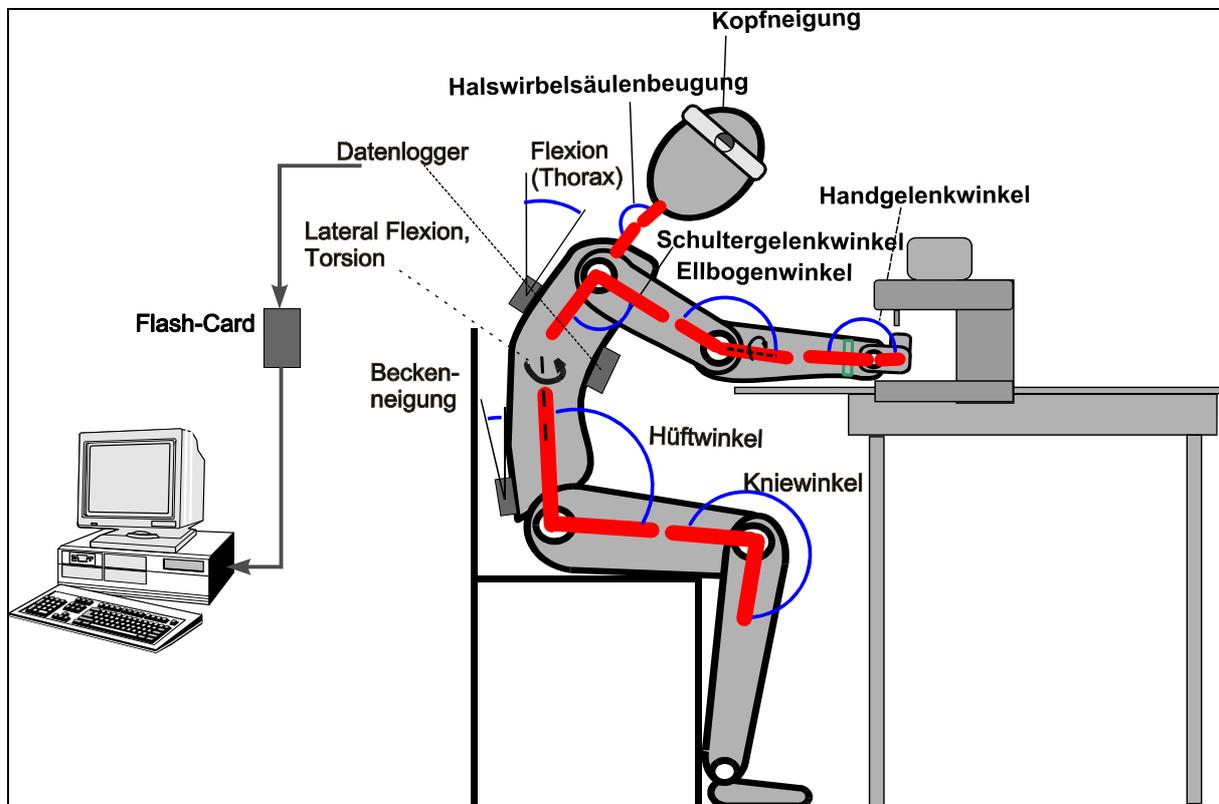
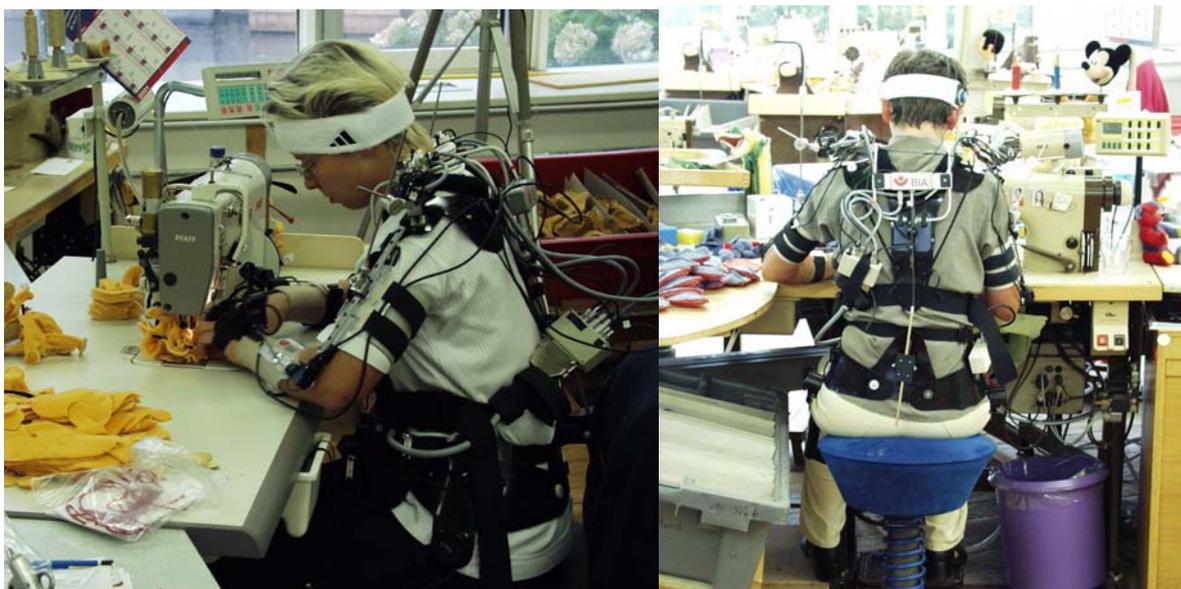


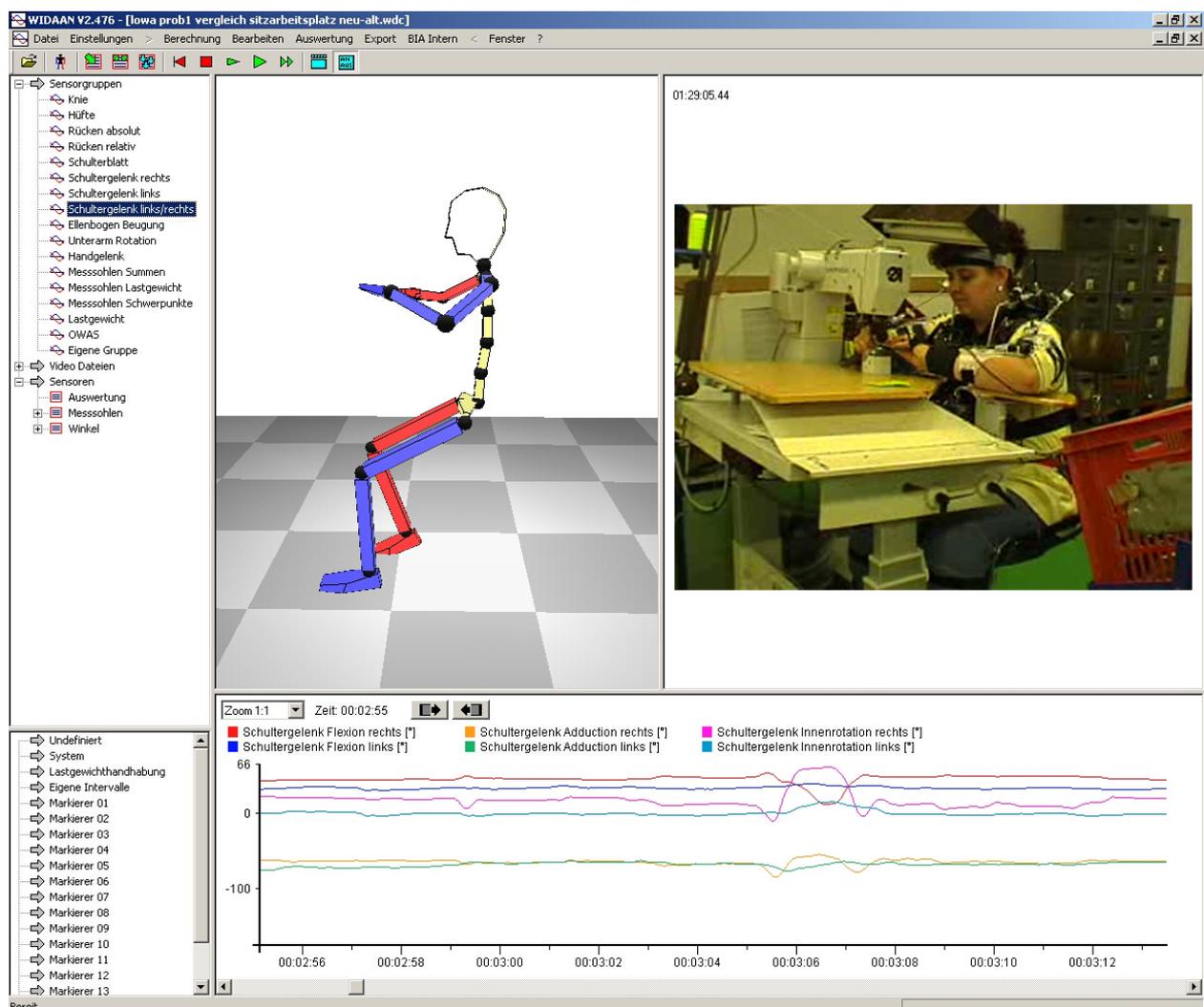
Abbildung 2:
Versuchspersonen mit angelegtem CUELA-Messsystem





Direkt nach Beendigung einer Messung können die Messdaten in die für das CUELA-System entwickelte Software WIDAAN eingelesen und dargestellt werden. Mit dieser Software ist es möglich, sich die Körperhaltung zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Messung anhand einer dreidimensionalen Computerfigur anzeigen zu lassen sowie die gemessenen Körperwinkel als zeitabhängige Winkelgraphen in beliebiger Kombination darzustellen. Synchron hierzu wird die zugehörige Arbeitssituation durch das Videobild automatisiert eingeblendet (Abbildung 3).

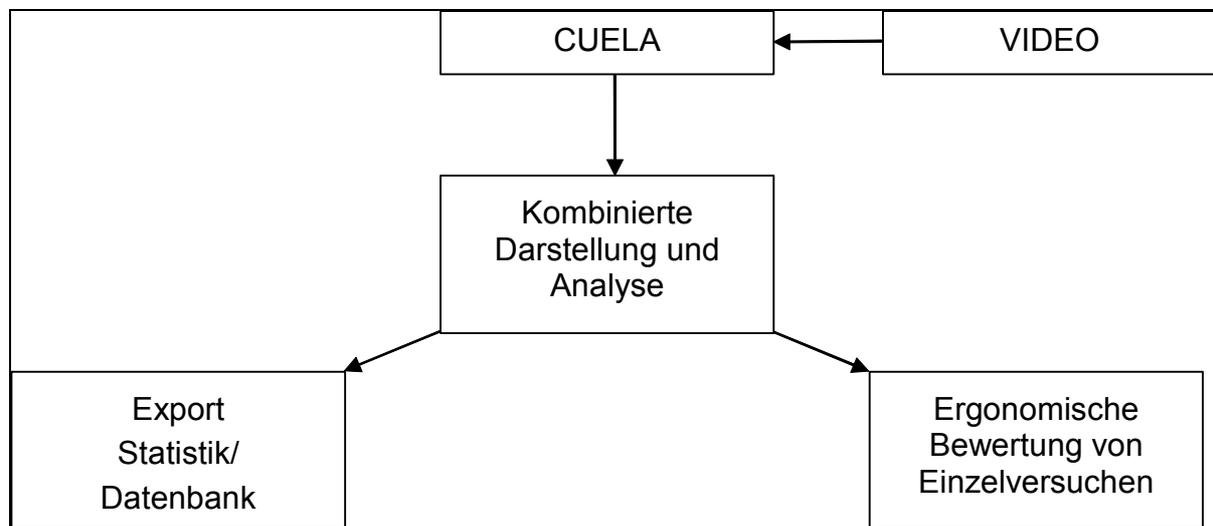
Abbildung 3:
Versuchsperson mit angelegtem CUELA-Messsystem





Im Nachgang der Messung ist es möglich, beliebige Tätigkeiten oder Situationen zu markieren, um bestimmte Arbeitssituationen hervorzuheben und auszuwerten. Die Software WIDAAN erstellt automatisch eine Auswahl von statistischen Auswertungen, um einen schnellen Überblick über extreme und statische Körperhaltungen zu erhalten. Weiterhin kann zu jeder Messung eine arbeitswissenschaftliche Analyse nach dem OWAS-Verfahren [23] durchgeführt werden. WIDAAN erkennt automatisiert die nach der OWAS-Methode klassifizierten Arbeitshaltungen und wertet diese statistisch aus. Alle vom CUELA-System gemessenen Körperhaltungswinkel lassen sich durch das WIDAAN-Programm auch als Textdatei ausgeben, sodass hiermit weit reichendere statistische Analysen (z. B. mit der Software MS EXCEL oder SPSS) durchgeführt sowie die Daten in einer Datenbank abgelegt werden können (Abbildung 4).

Abbildung 4:
Übersicht über die Einbettung des CUELA-Messsystems in die Beurteilung der Körperhaltungen und -bewegungen



Ein übergreifendes Verfahren zur ergonomischen Bewertung der Körperhaltungen an Naharbeitsplätzen bzw. vergleichbaren Arbeitsplätzen existiert nicht. Bei der in der Software WIDAAN integrierten OWAS-Methode handelt es sich um ein Klassifizierungssystem für Körperhaltungen, das die Dokumentation von Häufigkeiten eingenommener Arbeitshaltungen in Verbindung mit gehandhabten Lastgewichten erlaubt.



Darüber hinaus beinhaltet das Verfahren ein Bewertungsschema, mit dessen Hilfe eine Aussage über mögliche Gesundheitsgefährdungen der Arbeitshaltungen getroffen werden kann [23]. Das OWAS-Verfahren, das ursprünglich auf Beobachtungen basierte, wurde für die Klassifizierung und Bewertung von Arbeitshaltungen von Mitarbeitern eines Stahlwerkes in Finnland entwickelt.

Für eine Analyse von Arbeitshaltungen an Näharbeitsplätzen, und hier insbesondere von Sitzhaltungen, stellte es sich als wenig geeignet heraus, da Armhaltungen und auch Rückenhaltungen nur sehr grob klassifiziert und daher auch nicht hinreichend differenziert bewertet werden können.

In dieser Untersuchung wurden deshalb in der oben beschriebenen Art und Weise die äußeren mechanischen Risikofaktoren für das Muskel-Skelett-System direkt an Näharbeitsplätzen erfasst und mit verschiedenen aus der Literatur bekannten Bewertungsschemata analysiert. Bei den Risikofaktoren für insbesondere die oberen Extremitäten und die Wirbelsäule handelt es sich um [24]:

- Extremgelenkwinkelstellungen, unsymmetrische Haltungsmuster
- statische Haltungen
- repetitive Bewegungen
- Kraftaufwand.

Im Zusammenhang mit Muskel-Skelett-Belastungen an Näharbeitsplätzen werden diese Risikofaktoren besonders herausgestellt [25; 26].

Im Folgenden werden die Risikofaktoren mit den in dieser Untersuchung verwendeten Bewertungsgrundlagen näher erläutert.

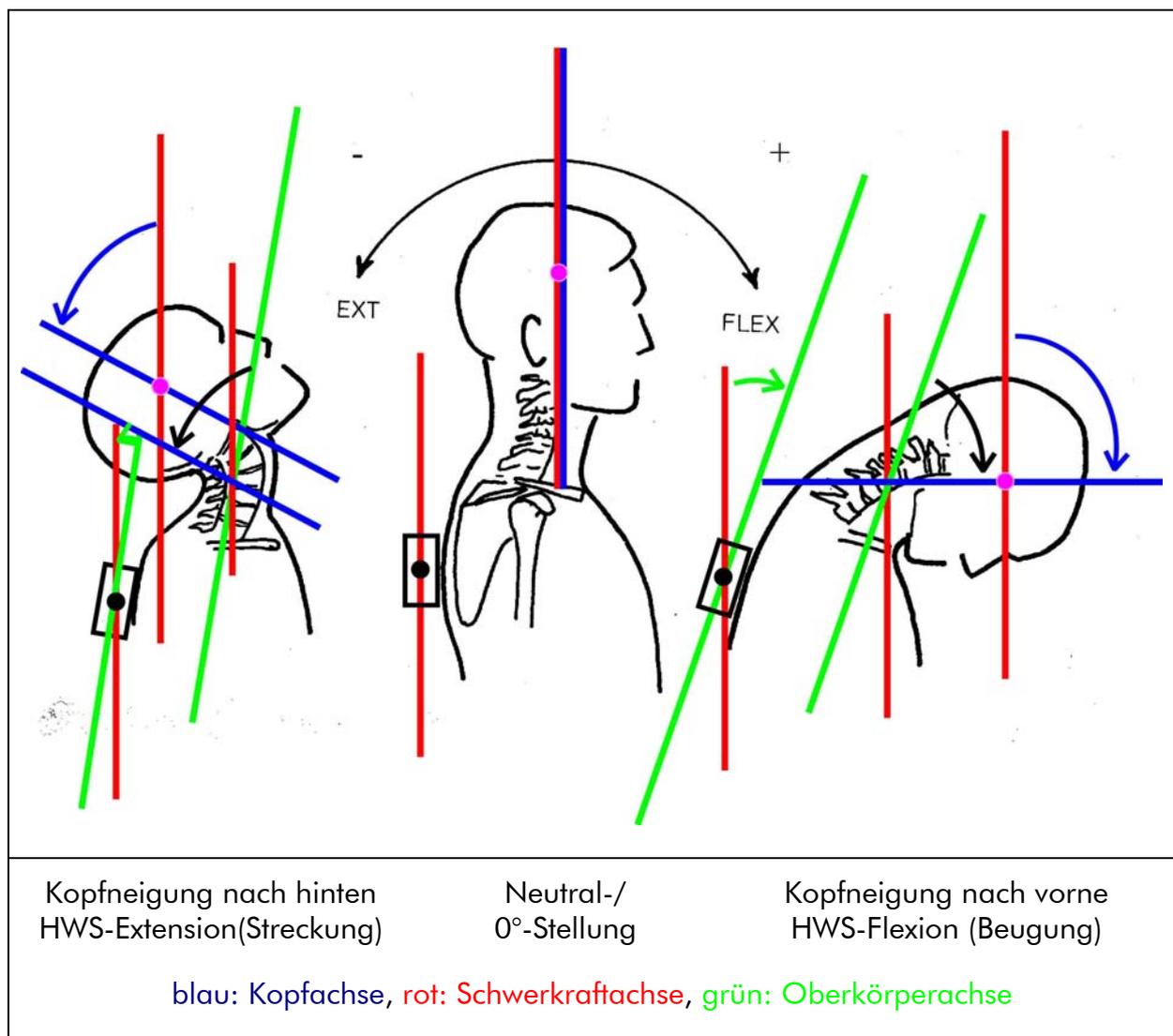


2.5.2 Gelenkwinkelstellungen und deren Bewertung

In diesem Abschnitt werden die Körperwinkel, die mit dem CUELA-System gemessen werden, beschrieben und Winkelbereiche für die ergonomische Bewertung vorgeschlagen.

In Abbildung 5 sind die CUELA-Winkel des Kopfes, der Halswirbelsäule und der Brustwirbelsäule (BWS) dargestellt.

Abbildung 5:
CUELA-Winkel: Kopfneigung, Halswirbelsäulen(HWS)-Flexion und Brustwirbelsäulen(BWS)-Neigung





Die Kopfneigung beschreibt den Winkel (blau) zwischen Kopfachse (blau) und der Schwerkraftachse (rot). Bei aufrechter Kopfhaltung und Blick nach vorne liegt die 0°- bzw. Neutralstellung vor. Neigungen des Kopfes nach vorne werden als positive, nach hinten als negative Winkelwerte angegeben.

Der Beugewinkel der Halswirbelsäule (HWS, schwarz) wird aus dem Winkel zwischen Kopfachse (blau) und Oberkörperachse (grün) berechnet. Bei Flexionen der Halswirbelsäule sind die Winkel positiv, bei Extensionen negativ.

Der Brustwirbelsäulenneigungswinkel (BWS, grün) wird als Winkel zwischen der Oberkörperachse (grün) und der Schwerkraftachse (rot) gemessen.

Bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen sollte darauf geachtet werden, dass extreme Kopfneigungswinkel sowie die dauerhafte Beugung der Halswirbelsäule vermieden werden. Das dauerhafte Einnehmen von Körperhaltungen mit großen HWS-Flexionswinkeln führt zur (schnelleren) Ermüdung der Schulter-Nackensmuskulatur und zu Verspannungen. Ebenso erhöht das Arbeiten mit dauerhaft stark geneigtem Kopf das Risiko für Verspannungen der Schulter-Nackensmuskulatur.

Im internationalen Standard ISO/CD 11226 „Ergonomics – Evaluation of working postures“ werden folgende Empfehlungen für die ergonomische Bewertung von Kopfneigungswinkel und Halswirbelsäulen-Flexions-/Extensionswinkel getroffen [27]:

- Kopfneigungswinkel:
0° bis 25° (akzeptabel), 25° bis 85° (nur akzeptabel, wenn nicht lang andauernd und bei voller Unterstützung des Oberkörpers eingenommen, andernfalls nicht akzeptabel), > 85° oder < 0° (nicht akzeptabel)
- Halswirbelsäulen-Beugewinkel:
0° bis 25° (akzeptabel), > 25° oder < 0° (nicht akzeptabel)

Hieraus wird die in Tabelle 2 (siehe Seite 41) aufgelistete Einteilung für die ergonomische Bewertung an Näharbeitsplätzen abgeleitet.



Tabelle 2:
Winkelbereichseinteilung für Kopfnigungs- und HWS-Flexions-/Extensionswinkel

| Winkel | grün | gelb | rot |
|---|-------------|-------------|-----------------|
| Kopfnigungswinkel nach vorne (positiv), nach hinten (negativ) | 0° bis 25° | 25° bis 85° | > 85° oder < 0° |
| HWS-Flexions-/ Extensionswinkel | 0° bis -25° | | > 25° oder < 0° |

Abbildung 6 (siehe Seite 42) zeigt die CUELA-Winkel der Brustwirbelsäulen(BWS)-Neigung, der Lendenwirbelsäulen(LWS)-Neigung und der Rückenkrümmung. Die Neigung der Brustwirbelsäule bzw. Lendenwirbelsäule im Raum (blauer bzw. grüner Winkel) wird durch den Winkel zwischen Schwerkraftachse (rot) und Oberkörperachse BWS (blau) bzw. LWS (grün) beschrieben.

Als 0°- bzw. Neutralstellung (BWS und LWS) ist die Haltung der Wirbelsäule im aufrechten Stand definiert. Neigungen nach vorne werden als positive, Neigungen der Wirbelsäule nach hinten als negative Winkelwerte angegeben.

Der Krümmungswinkel des Rückens (schwarzer Winkel) wird aus der Differenz des BWS- und des LWS-Neigungswinkels berechnet.

Die Neigung des gesamten Oberkörpers (Oberkörperneigungswinkel) kann als mittlerer Neigungswinkel der LWS und BWS beschrieben werden, d. h. Winkel $(LWS+BWS)/2$.

Eine dauerhafte Zwangshaltung des Oberkörpers in einer geneigten Position (ohne Abstützung) stellt einen Belastungsfaktor (statische Haltungsarbeit) dar, der bei der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung vermieden werden sollte. Starke Rückenkrümmungen führen zu einer einseitigen Druckbelastung der Bandscheiben (Keilbildung). Die mit dieser Belastung einhergehenden „Rundrückenhaltungen“ werden typischer-



weise an Näharbeitsplätzen angetroffen und wurden daher bei der ergonomischen Bewertung in dieser Untersuchung berücksichtigt.

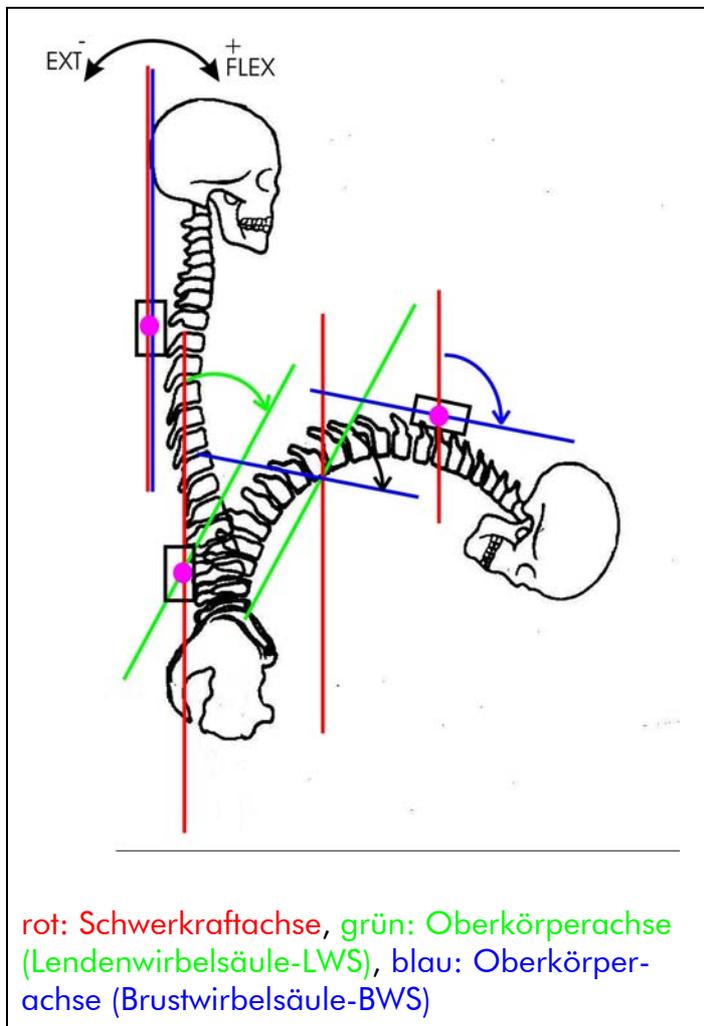


Abbildung 6:
CUELA-Winkel: Brustwirbelsäulen (BWS)-Neigung, Lendenwirbelsäulen(LWS)-Neigung und Rückenkrümmung

Eine Bewertungseinteilung für Oberkörperneigungswinkel findet sich ebenfalls im internationalen Standard ISO/CD 11226 [27]. Dort werden folgende Empfehlungen für die ergonomische Bewertung von Oberkörperneigungswinkel getroffen:

- ☐ Oberkörperneigungswinkel:
 - 0° bis 20° (akzeptabel), 20° bis 60° oder < 0° (nur akzeptabel, wenn nicht lang andauernd und mit Unterstützung des Oberkörpers, andernfalls nicht akzeptabel),
 - > 60° (nicht akzeptabel)



☐ Rückenkrümmungswinkel

Hierfür wurde eine eigene Bewertungseinteilung vorgenommen, die in Anlehnung an *Drury*, der die Winkelbereichseinteilung in Stufen nach den prozentualen Anteilen am Bewegungsausmaß vornimmt, erfolgte [28].

Rückenkrümmungswinkel: 0° bis 20° (akzeptabel), 20° bis 40° (bedingt akzeptabel), > 40° (nicht akzeptabel).

Für Oberkörperneigungs- und Rückenkrümmungswinkel wird hieraus die in Tabelle 3 dargestellte Einteilung für die ergonomische Bewertung an Näharbeitsplätzen abgeleitet.

Tabelle 3:
Winkelbereichseinteilung für Oberkörperneigungs- und Rückenkrümmungswinkel

| Winkel | grün | gelb | rot |
|--|------------|--------------------------|-------|
| Oberkörperneigungswinkel nach vorne (positive Winkel), nach hinten (negative Winkel) | 0° bis 20° | 20° bis 60° oder < 0° | > 60° |
| Rückenkrümmungswinkel | 0° bis 20° | 20° bis 40° | > 40° |

In Abbildung 7 (siehe Seite 44) sind die CUELA-Winkel der Beckenneigung und der Hüft- und Kniegelenkflexion dargestellt. Der Beckenneigungswinkel (blauer Winkel) wurde als Winkel zwischen der Schwerkraftachse (rot) und der Beckenachse (blau) gemessen. Für diesen Winkel ergeben sich negative Werte für eine Neigung nach hinten und positive für eine Neigung nach vorne.

Hüft- bzw. Kniegelenkflexionswinkel (grüner bzw. brauner Winkel) werden durch den Winkel der Becken- und der Oberschenkelachse bzw. der Oberschenkel- und der Unterschenkelachse beschrieben. In der CUELA-Software WIDAAN werden jedoch nicht die in Abbildung 7 dargestellten grünen Hüft- und braunen Kniegelenkwinkel, sondern die Differenz aus 180° und diesen Winkeln dargestellt. Im aufrechten Stand



betragen die Hüft- und Kniegelenkwinkel daher 0° entsprechend der medizinischen Beschreibung der Neutralstellung.



Abbildung 7:
CUELA-Winkel: Beckenneigung, Hüft- und Kniegelenkflexion

Beckenneigungswinkel können zur ergonomischen Bewertung von Sitzhaltungen an Arbeitsplätzen herangezogen werden. Je stärker das Becken bei einer Sitzhaltung nach hinten geneigt ist (negative Winkel), umso mehr geht die Lendenwirbelsäule aus ihrer natürlichen Lordose- in eine Kyphosehaltung über (Abbildung 8, siehe Seite 45). Die Kyphose der Lendenwirbelsäule geht wiederum mit einer Keilbildung der Bandscheiben und damit mit einer einseitigen Bandscheibendruckbelastung einher.

Daher sollte unter ergonomischen Gesichtspunkten ein Sitzarbeitsplatz so entworfen werden, dass die Erhaltung der natürlichen S-Form der Wirbelsäule zumindest



während der überwiegenden Arbeitszeit unterstützt wird. Im internationalen Standard ISO 11226/CD [27] findet sich der Hinweis, dass Kyphosehaltungen der Lendenwirbelsäule als „nicht akzeptabel“ eingestuft werden. Jedoch wird keine Bewertungseinteilung, z. B. für Beckenneigungswinkel, angegeben.

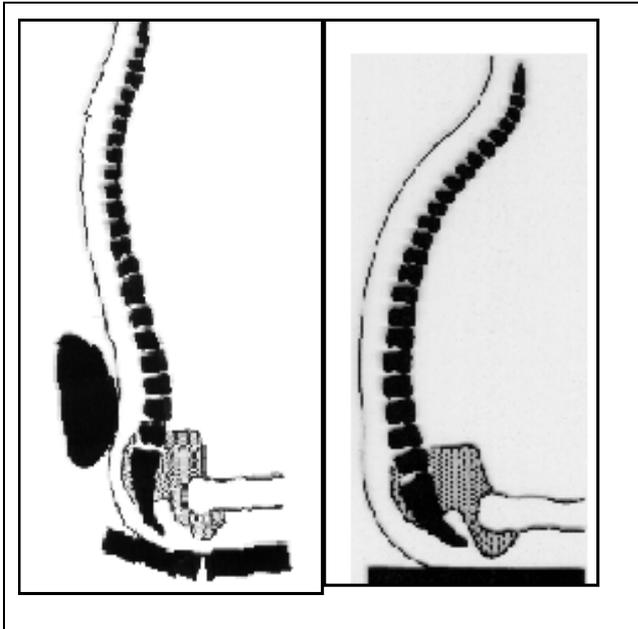


Abbildung 8:
Beckenneigung und Wirbelsäulenhaltung im Sitzen

Daher wurde im Rahmen dieser Untersuchung für Beckenneigungswinkel eine eigene Bewertungseinteilung vorgenommen, die sich an die Erfahrungen einer BIA-Untersuchung von Sitzarbeitsplätzen in Call-Centern orientiert [29]. Beckenneigungswinkel: 0° bis -20° (akzeptabel), -20° bis -30° (bedingt akzeptabel, wenn nicht lang andauernd), $< -30^\circ$ (nicht akzeptabel).

In Tabelle 4 (siehe Seite 46) ist die Einteilung für die ergonomische Bewertung von Beckenneigungswinkel an Näharbeitsplätzen zusammenfassend dargestellt.

Auf eine quantitative Bewertung der Hüft- bzw. Kniegelenkflexionswinkel wurde im Rahmen dieser Untersuchung verzichtet.

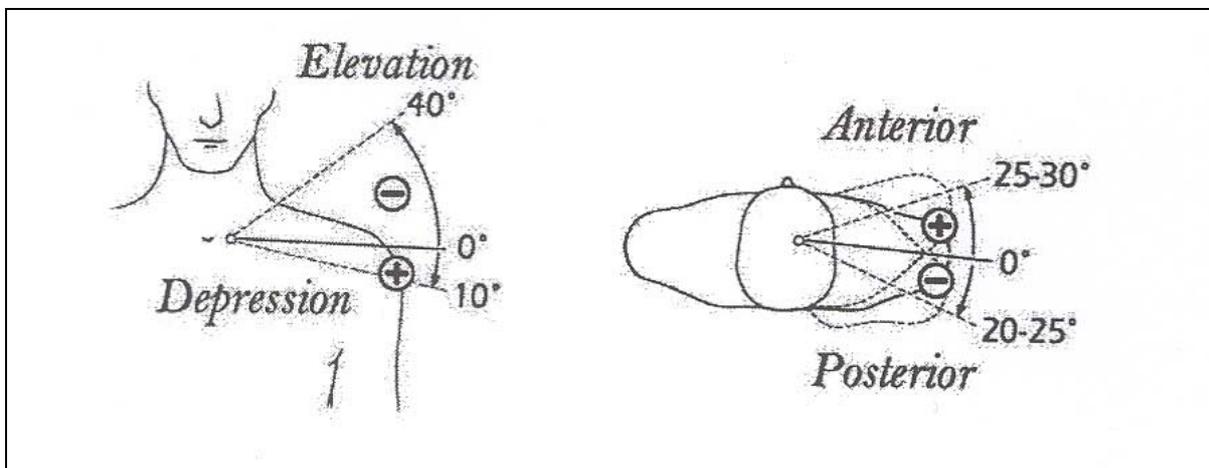
In Abbildung 9 (siehe Seite 46) sind die mit dem CUELA-Messsystem gemessenen Winkel der Bewegungen des Schultergürtels mit den zugehörigen Bewegungsräumen dargestellt.



Tabelle 4:
Bereichseinteilung für Beckenneigungswinkel

| Winkel | grün | gelb | rot |
|----------------------|-------------|---------------|--------|
| Beckenneigungswinkel | 0° bis -20° | -20° bis -30° | < -30° |

Abbildung 9:
Mögliche Bewegungen des Schultergürtels, aus [30]



Das Anheben des Schultergürtels wird als Elevation (negative Winkel), das Senken als Depression (positive Winkel) bezeichnet. Unter der anterioren bzw. posterioren Bewegung wird das Bewegen des Schultergürtels nach vorne bzw. hinten verstanden.

Abbildung 10 (siehe Seite 47) zeigt den Bewegungsumfang im Schultergelenk ohne und mit Unterstützung durch den Schultergürtel. Alle dargestellten Winkel werden vom CUELA-System messtechnisch erfasst.

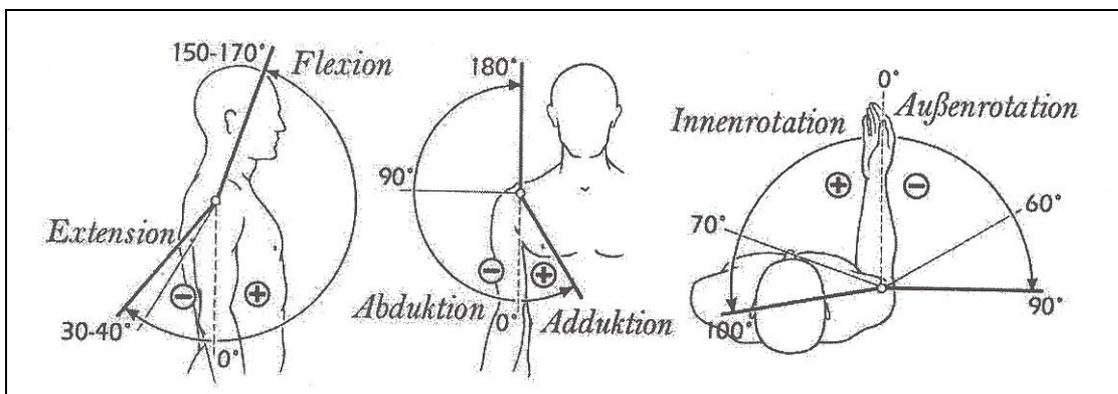
Die Schulterflexion (Beugung, Anteversion) beschreibt den Winkel des Oberarmes beim Anheben nach vorne und wird mit positiven Werten angegeben. Bei der Extension (Streckung, Retroversion) handelt es sich um die entgegengesetzte Bewegung, der negative Winkelwerte zugeordnet werden.



Die Schulter-Abduktionsbewegung (seitliches Anheben des Oberarmes) wird mit negativen und die Schulter-Adduktionsbewegung mit positiven Winkeln beschrieben.

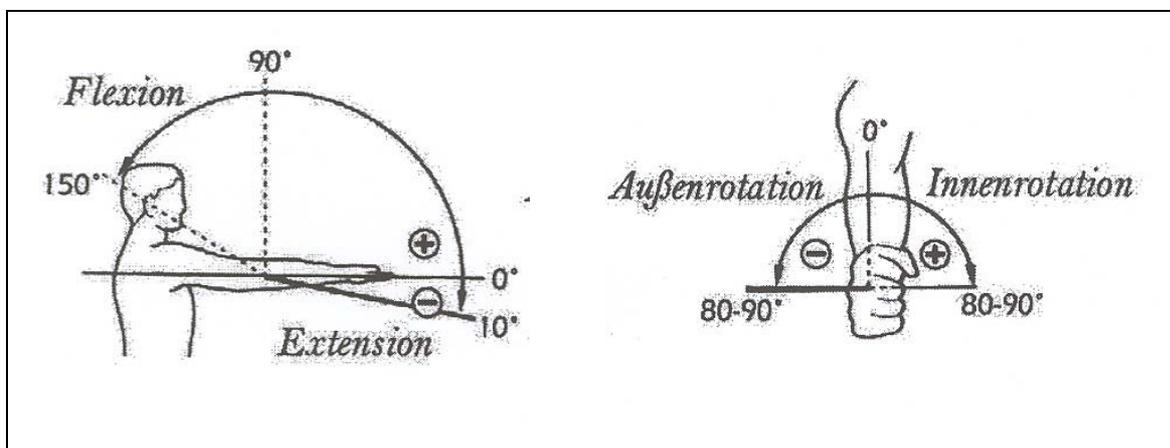
Bei der Rotationsbewegung des Oberarmes werden Innenrotation (positive Winkelwerte) und Außenrotation (negative Winkelwerte) unterschieden.

Abbildung 10:
Bewegungsumfang des Oberarms im Schultergelenk ohne und mit Unterstützung durch den Schultergürtel (dünne und fette Linie) aus [30]



In Abbildung 11 ist der Bewegungsumfang des Unterarmes mit den zugehörigen CUELA-Messwinkelbereichen dargestellt.

Abbildung 11:
Bewegungsumfang des Unterarms aus [30]

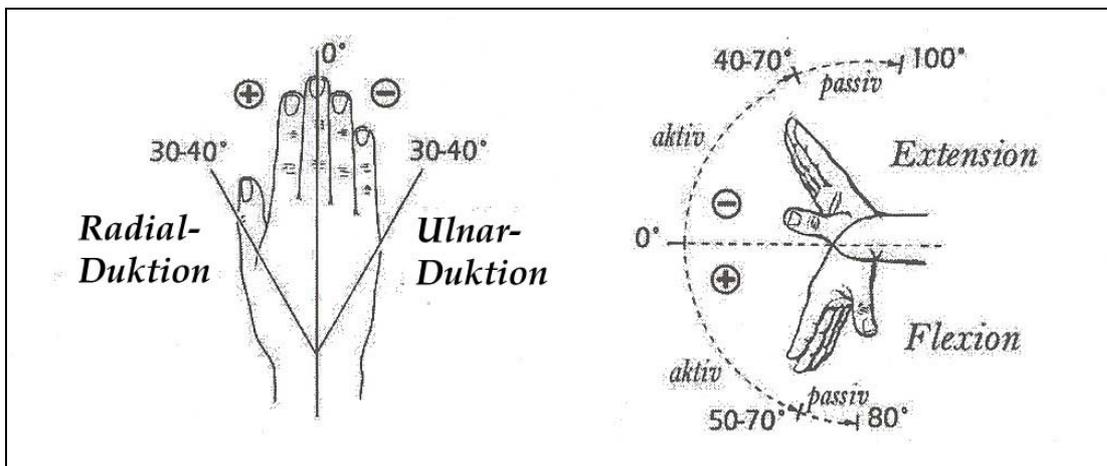




Bei der Untersuchung an Nährbeitsplätzen wurden Ellbogenwinkel (Flexion/Extension) sowie die Innendrehung (Pronation, positive Winkelwerte) und die Außendrehung (Supination, negative Winkelwerte) des Unterarmes messtechnisch erfasst. Die beschriebenen Winkelmessungen beziehen sich auf die 0°- oder Neutralstellung mit locker herabhängenden Armen in aufrechter Körperhaltung.

Abbildung 12 zeigt die mit dem CUELA-Messsystem erfassten Handgelenksbewegungen mit ihren zugehörigen maximalen Bewegungsräumen.

Abbildung 12:
Bewegungsumfang der Hand aus [30]



Die Bewegung der Hand im Handgelenk in Richtung der Handfläche wird als Flexion (positive Winkelwerte) und in Richtung Handrücken als Extension (negative Winkelwerte) bezeichnet. Der Seitneigung der Hand im Handgelenk werden positive Winkelwerte (Radialduktion) bei Daumeneinwärts- und negative Winkelwerte (Ulnarduktion) bei Kleinfingerwärtsbewegungen zugeordnet.

Eine Einteilung ergonomischer Gelenkwinkelbereiche des Schulter-Arm-Hand-Systems wird in der Literatur u. a. von *Drury, McAtamney* und *Corlett* [28; 31] und in dem europäischen Normentwurf prEN 1005-4 [32] vorgenommen. Alle dort vorzufindenden Bewertungseinteilungen gehen davon aus, dass Gelenkstellungen in der Nähe der Neutralstellung am günstigsten zu bewerten sind. Je näher sich Gelenkwinkel im Endbereich des jeweiligen Gelenkbewegungsraumes befinden, umso höher wird das



hiermit verbundene Schädigungspotenzial eingeschätzt. Bei der ergonomischen Bewertung sollte jedoch nicht das (kurzfristige) Arbeiten in extremen Gelenkwinkelstellungen hervorgehoben werden. Vielmehr sollte eine negative ergonomische Wertung beim einseitigen, lang andauernden Arbeiten in diesen Gelenkwinkelbereichen erfolgen. In Tabelle 5 sind alle in der Untersuchung an Näharbeitsplätzen verwendeten Richtwerte für die Bewertung von Gelenk-/Körperwinkeln zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5:
Zusammenfassende Darstellung der Bereichseinteilung aller gemessenen Körperwinkel

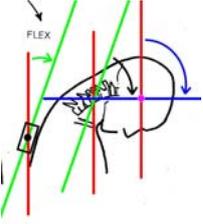
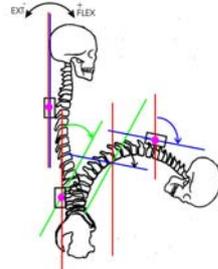
| Körperregion/Gelenk | Richtwerte für die Bewertung |
|--|------------------------------|
| Kopfneigung  | grün: 0° bis 25° |
| | gelb: 25° bis 85° |
| | rot: > 85° oder < 0° [27] |
| HWS-Beugung | grün: 0° bis 25° |
| | rot: > 25° oder < 0° [27] |
| Oberkörperneigung  | grün: 0° bis 20° |
| | gelb: 20° bis 60° oder < 0° |
| | rot: > 60° [27] |



Tabelle 5, Fortsetzung

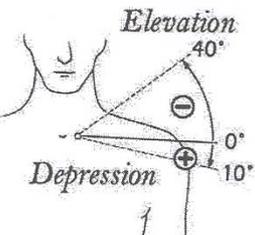
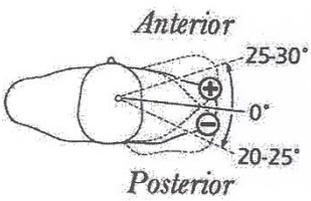
| Körperregion/Gelenk | Richtwerte für die Bewertung |
|--|--|
| Rückenkrümmung | <p>grün: 0° bis 20°</p> <p>gelb: 20° bis 40°</p> <p>rot: > 40°</p> <p>(eigene Beurteilung)</p> |
| Beckenneigung | <p>grün: 0° bis -20°</p> <p>gelb: -20° bis -30°</p> <p>rot: < -30°</p> <p>(eigene Beurteilung)</p> |
| Schultergürtel Elevation/Depression  | <p>grün: -15° bis 5°</p> <p>rot: > 5° oder < -15°</p> <p>(eigene Beurteilung)</p> |
| Schultergürtel Anterior/Posterior  | <p>grün: 0° bis 15° oder 0° bis -15°</p> <p>rot: > 15° oder < -15°</p> <p>(eigene Beurteilung)</p> |



Tabelle 5, Fortsetzung

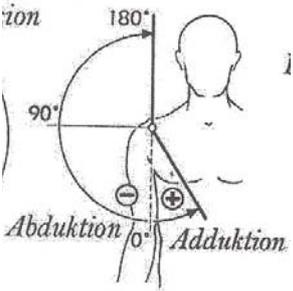
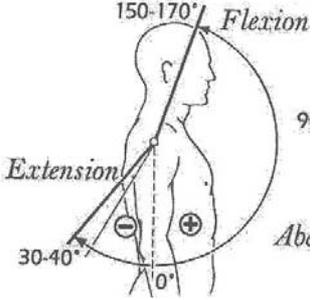
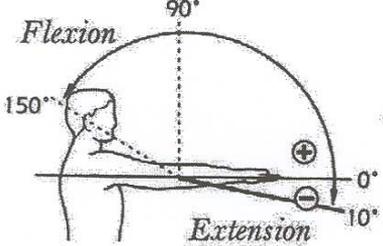
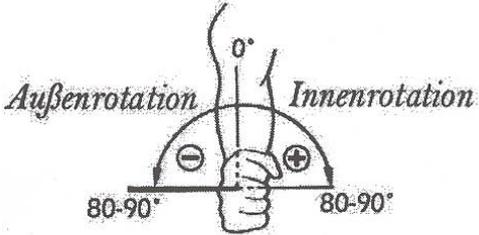
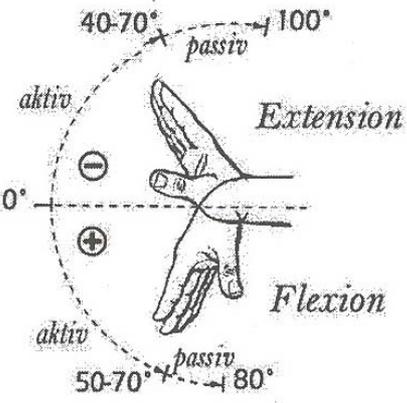
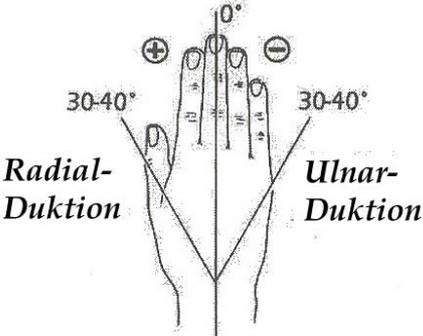
| Körperregion/Gelenk | Richtwerte für die Bewertung |
|---|---|
| <p>Schultergelenk Adduktion/Abduktion</p>  | <p>grün: 0° bis -20°</p> <p style="text-align: right;">(eigene Beurteilung)</p> |
| <p>Schultergelenk Flexion/Extension</p>  | <p>grün: 0° bis 20°</p> <p>gelb: 20° bis 60°</p> <p>rot: > 60° oder < 0°</p> <p style="text-align: right;">[32]</p> |
| <p>Ellenbogenflexion</p>  | <p>grün: 60° bis 100°</p> <p>rot: < 60° oder > 100°</p> <p style="text-align: right;">[31]</p> |



Tabelle 5, Fortsetzung

| Körperregion/Gelenk | Richtwerte für die Bewertung |
|--|--|
| <p>Unterarm Pronation/Supination</p>  | <p>grün: 0° bis 20° oder 0° bis -30°</p> <p>gelb: 20 bis 40° oder -30° bis -55°</p> <p>rot: > 40° oder < -55°</p> <p>[28]</p> |
| <p>Handgelenk Flexion/Extension</p>  | <p>grün: 0° bis 20° oder 0° - -25°</p> <p>gelb: 20° bis 45° oder -25° bis -50°</p> <p>rot: > 45° oder < -50°</p> <p>[28]</p> |
| <p>Handgelenk Radial-/Ulnarduktion</p>  | <p>grün: 0° bis 10° oder 0° bis -10°</p> <p>gelb: 10° bis 15° oder -10° bis -25°</p> <p>rot: > 15° oder < -25°</p> <p>[28]</p> |



2.5.3 Bewertung von statischen Körperhaltungen

Als statische Haltungen werden nach der europäischen Norm DIN EN 1005-1 [33] Körperhaltungen bezeichnet, die unter gleich bleibendem oder gering veränderlichem Kraftniveau länger als vier Sekunden eingehalten werden. Das Schädigungspotenzial statischer Körperhaltungen wird vorrangig in der Verursachung von Muskelermüdung erkannt. In der Folge treten Veränderungen des Stoffwechsels, der Schmerzempfindung und der Bewegungsmuster auf, die schließlich auch zu einer Überlastung passiver Strukturen des Muskel-Skelett-Systems führen können.

In dieser Untersuchung wurden daher Tätigkeiten in Gelenkwinkelstellungen, die außerhalb der Gelenkneutralstellung länger als vier Sekunden statisch eingenommen wurden, registriert und bezüglich der Häufigkeit ihres Vorkommens bewertet.

2.5.4 Bewertung von repetitiven Bewegungen

Als repetitive Bewegungen werden Bewegungen bzw. Bewegungsabläufe (Zyklen) bezeichnet, die sich gleichförmig in einem bestimmten Zeitraum wiederholen. Um zunächst eine grobe Einschätzung der Repetition vornehmen zu können, wurde die Einteilung von *Silverstein* et al. [34] benutzt. Danach liegt eine hohe Repetitivität vor, wenn eine Zyklusdauer weniger als 30 Sekunden beträgt oder gleiche Aktionsarten während mindestens 50 % der Zyklusdauer wiederholt werden. Nach Auffinden solcher Zyklen in der grafischen Darstellung der Winkeldaten im Verhältnis zurzeit erfolgte in dieser Untersuchung die Überprüfung, ob sich diese Zyklen gleichförmig über einen längeren Zeitraum in ähnlicher Weise wiederholen. Im Anschluss wurde die Zahl von einzelnen Bewegungen für die Gelenkregionen ermittelt, für die aus der oben genannten Darstellung deutliche, rasche Winkelveränderungen sichtbar waren. Die Einstufung, ob eine hohe Repetitivität vorliegt oder nicht, richtete sich nach den Daten, die in der Literaturübersicht von *Kilbom* angegeben werden und in Tabelle 6 (siehe Seite 54) dargestellt sind [35].



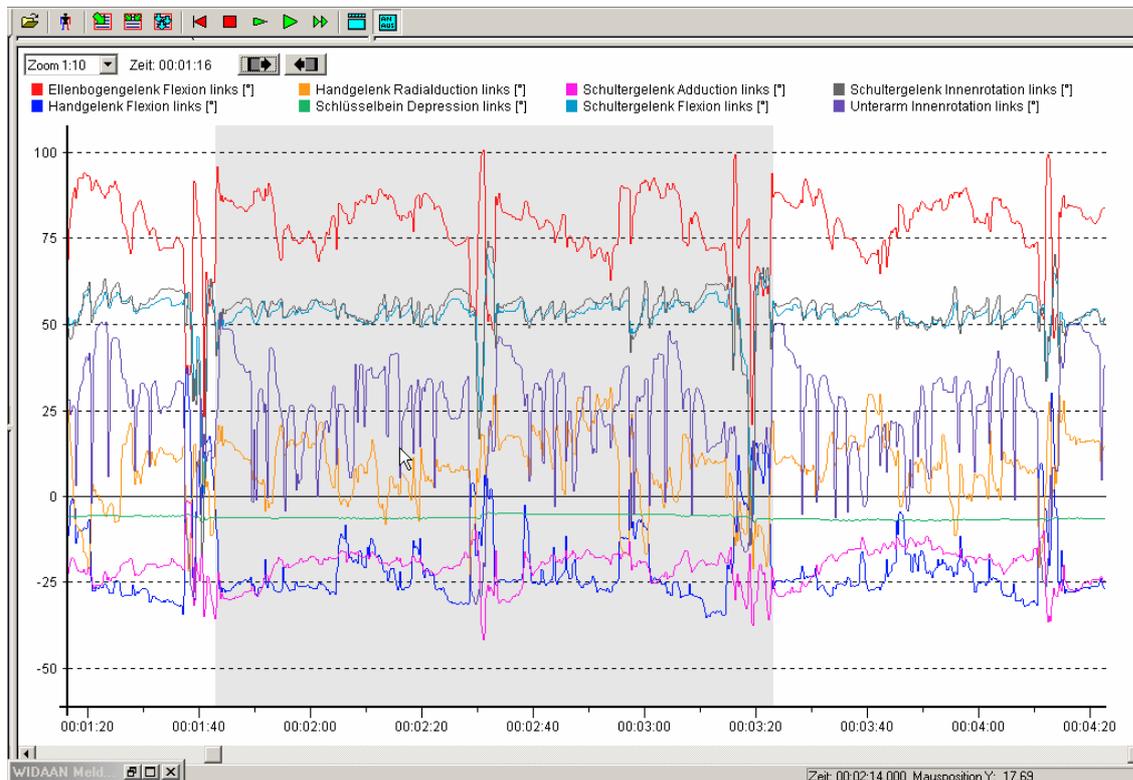
Tabelle 6:

Richtwerte für repetitive Gelenkbewegungen des Schulter-Arm-Hand-Systems, nach [35]

| Gelenk | Richtwert für Repetitivität |
|----------------------|-----------------------------|
| Schulter | > 2,5/Minute |
| Oberarm, Ellenbogen | > 10/Minute |
| Unterarm, Handgelenk | > 10/Minute |

In Abbildung 13 ist ein Beispiel einer Gruppe von Gelenkwinkel-Zeit-Graphen eines Armes, in denen sich wiederholende Bewegungsmuster als Zyklen erkennen lassen, dargestellt. Die Markierung in Abbildung 13 stellt ein Zeitintervall mit immer wiederkehrenden Bewegungsabläufen dar, in dem die einzelnen Bewegungen der Gelenkregionen gezählt werden können.

Abbildung 13:
Beispiel eines Gelenkwinkel-Zeit-Grafen





2.5.5 Bewertung von Tätigkeiten mit hohem Kraftaufwand

Mit den in Abschnitt 2.5.1 beschriebenen Messmethoden konnte der Kraftaufwand, welcher bei den unterschiedlichen Nähtätigkeiten aufgebracht werden muss, nicht erfasst werden. Dies geschah im Rahmen der Untersuchung mithilfe von elektromyografischen Messungen der Muskelaktivität ausgewählter Muskelgruppen (siehe Abschnitt 2.4).

2.5.6 Beurteilung der Rückwirkungsfreiheit

Die Anwendung der CUELA-Messtechnik hat sich als weitgehend rückwirkungsfrei auf die Probanden und ihre Nähtätigkeit erwiesen. Wie bereits in Abschnitt 2.4 beschrieben, wurden die Vorbereitungen der Versuchspersonen mit Unterstützung der Betriebsärzte durchgeführt. Alle Versuchspersonen akzeptierten die Durchführung der Messungen ohne Probleme.

2.5.7 Versuchsdurchführung (CUELA-Messungen) der Ist- und Soll-Zustands-Analyse

Die CUELA-Messungen in der Ist- und der Soll-Zustands-Analyse gliederten sich in mehrere Abschnitte, die in fester zeitlicher Reihenfolge nacheinander durchgeführt wurden:

- Aufbau und Überprüfung der Messgeräte in einem von der Produktion getrennten und für untersuchungsfremde Personen nicht zugänglichen Vorbereitungs-Raum (VR)
- Besichtigung des Arbeitsplatzes, Begrüßung der Arbeitsperson mit erster Einweisung
- Information der Probanden über die Ziele der Untersuchung und die Funktionsweise des CUELA-Messsystems
- Ausrüstung der Versuchsperson mit den CUELA-Messsensoren im VR
- Kalibrierung und Erprobung des CUELA-Messsystems im VR



- Erfassung von persönlichen Daten der Versuchsperson, wie Alter, Körpergröße und -gewicht, im VR
- Start der Messungen, synchroner Videoaufzeichnungsstart
- Ortswechsel zum Arbeitsplatz, Tätigkeitsbeginn, begleitende Videoaufzeichnung ohne Eingriff in den Arbeitsablauf
- Tätigkeitsende, Beendigung der CUELA-Messung, Ende der Videoaufzeichnung
- Ortswechsel in den VR
- Abrüsten des CUELA-Messsystems im VR

Die Gesamtdauer der Belastungsmessungen mit dem CUELA-Messsystem betrug bei einer Arbeitsperson mindestens zwei und maximal drei Stunden. Innerhalb dieses Zeitraumes wurden die Versuchsbedingungen konstant gehalten und die für den jeweiligen Betrieb typische Nähtätigkeit ausgeführt. Bei den späteren Vergleichsuntersuchungen der Soll-Zustands-Analyse wurden die Nähtätigkeiten am ergonomisch neu gestalteten Arbeitsplatz sowohl im Sitzen als auch im Stehen messtechnisch erfasst. Ein gleichzeitiger Einsatz der CUELA-Messtechnik und der Beanspruchungsmesstechnik war aus versuchstechnischen Gründen in den durchgeführten Felduntersuchungen nicht möglich. Deshalb wurden CUELA-Belastungsmessungen und die Beanspruchungsmessungen (Abschnitt 2.4) in der Regel direkt im Anschluss nacheinander durchgeführt.