

Thomas Gudehus

Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Hans Martin
Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Roland Jochem

Tag der mündlichen Prüfung

12. November 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2008
ISBN print: 978-3-89958-650-3
ISBN online: 978-3-89958-651-0
URN: urn:nbn:de:0002-6514

© 2009, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel
Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	7
1.1 Hintergrund.....	7
1.2 Problemlage.....	8
1.3 Zielsetzung.....	8
1.4 Aufbau der Arbeit.....	9
2 Ergonomische Bewertung und Motion-Capturing – Stand der wissenschaftlichen Diskussion.....	11
2.1 Ergonomische Bewertung.....	11
2.1.1 Körperhaltung beobachtende Verfahren.....	11
2.1.1.1 OWAS.....	11
2.1.1.2 RULA.....	12
2.1.2 Ausgewählte Methode: OWAS.....	14
2.2 Motion Capturing.....	14
2.2.1 Analoge Verfahren.....	15
2.2.2 Optische Erkennung.....	15
2.2.3 Am Körper angebrachte aktive Sensoren.....	18
2.2.3.1 Winkelmesser.....	18
2.2.3.2 Exoskelett.....	19
2.2.3.3 Magnetische Systeme.....	19
2.2.3.4 Gyroskopische Systeme.....	20
2.2.4 Kombinationsvarianten.....	22
2.2.5 Auswahl eines Motion-Capturing-Systems.....	23
3 Die OWAS-Methode.....	25
3.1 Beschreibung.....	25
3.1.1 Beobachtung der Körperhaltung.....	26
3.1.1.1 Zahl der Kodierungen.....	29
3.1.1.2 Fehler.....	29
3.1.1.3 Reliabilität.....	30
3.1.2 Bewertung der Körperhaltungen.....	31
3.1.2.1 Zuordnung einzelner Körperhaltungen zu einer Aktionskategorie.....	31
3.1.2.2 Zuordnung einer Haltungskombination zu einer Aktionskategorie.....	33
3.2 Erweiterung: Lundqvist-Index.....	34
4 Prototyp-Entwicklung.....	35
4.1 Iterative Software-Entwicklung.....	35
4.2 Ziel der Entwicklung.....	36
4.2.1 Verwendete ergonomische Methode.....	37
4.2.2 Szenario.....	37
4.2.3 Motion-Capturing-System.....	37
4.2.4 Dateiformat für die aufgenommenen Daten.....	37
4.2.5 Termin der Fertigstellung.....	38
4.3 Anforderungen an den Prototyp 1.....	38
5 Prototyp 1.....	39
5.1 Anforderungen.....	39
5.2 Implementierung.....	39
5.2.1 Videodaten.....	39
5.2.2 Bewegungsdaten.....	40
5.2.3 Synchronisierung.....	40
5.2.4 Nachbereitung.....	41
5.2.5 Speicherung im XML-Format.....	41

5.2.6 Ableitung der OWAS-Kodierungen.....	42
5.3 Evaluierung.....	42
5.4 Weiteres Vorgehen.....	42
6 Prototyp 2.....	43
6.1 Anforderungen.....	43
6.1.1 Stabile Implementierung für die Aufzeichnung.....	43
6.1.2 OWAS-Kodierung aus Bewegungsdaten ableiten.....	43
6.2 Implementierung.....	43
6.2.1 Stabile Implementierung für die Aufzeichnung.....	43
6.2.2 OWAS-Kodierung aus Bewegungsdaten ableiten.....	44
6.2.2.1 Das Animazoo-Skelett-Modell.....	44
6.2.2.2 Ableitung eines OWAS-Codes aus den Frame-Daten.....	47
6.2.2.3 Rücken.....	47
6.2.2.4 Arme.....	48
6.2.2.5 Beine.....	49
6.2.2.6 Anforderungen an die Aufzeichnung und Einschränkungen.....	51
6.3 Evaluierung.....	51
6.4 Weiteres Vorgehen.....	52
7 Prototyp 3.....	53
7.1 Anforderungen.....	53
7.2 Implementierung.....	53
7.2.1 Erstellung der OWAS-Analyse.....	53
7.2.2 Integration des Lundqvist-Index.....	54
7.2.3 Ausgabe OWAS-Analyse mit Lundqvist-Index.....	54
7.2.4 Mehrsprachigkeit.....	54
7.3 Evaluierung.....	55
7.4 Weiteres Vorgehen.....	56
8 Prototyp 4.....	57
8.1 Anforderungen.....	57
8.1.1 Interaktive Ergebnisdarstellung.....	57
8.1.2 Erläuterungen.....	58
8.1.3 Aufnahme mit einem Programm.....	59
8.1.4 Mehrsprachigkeit.....	59
8.1.5 Endung „.mocap“ für die Bewegungsdaten.....	59
8.1.6 Integration in das CyberManS-Software-Interface.....	59
8.1.6.1 Aufnahme.....	59
8.1.6.2 Wiedergabe und Analyse.....	59
8.1.7 Erkennungsleistung verbessern.....	60
8.2 Implementierung.....	60
8.2.1 Interaktive Ergebnisdarstellung.....	60
8.2.2 Erläuterungen.....	63
8.2.3 Erkennungsleistung verbessern.....	63
8.2.3.1 Rücken.....	63
8.2.3.2 Arme.....	65
8.2.3.3 Beine.....	65
8.2.3.4 Manuelle Korrekturmöglichkeit.....	67
8.3 Evaluierung.....	67
8.4 Vergleich mit den zu erreichenden Zielen.....	68
8.5 Programmstruktur des Prototyp 4.....	68
9 Experimentelle Überprüfung.....	75

9.1 Versuch 1.....	75
9.1.1 Vorüberlegungen.....	75
9.1.1.1 Aufnahme.....	76
9.1.1.2 Prüfung der gewünschten Körperhaltung.....	76
9.1.1.3 Test der Zuordnung.....	76
9.1.2 Erste Staffel.....	76
9.1.2.1 Fehlerhafte Aufzeichnungen.....	82
9.1.2.2 Vom Prototyp 2 falsch kodierte Körperhaltungen.....	83
9.1.3 Zweite Staffel.....	84
9.1.4 Finaler Test mit Prototyp 4.....	86
9.2 Versuch 2.....	86
9.2.1 Ziele des Versuchs.....	87
9.2.2 Vorüberlegungen.....	87
9.2.2.1 Szenario Kofferraummontage.....	87
9.2.2.2 Zahl der Aufzeichnungen.....	88
9.2.3 Umsetzung des Szenarios.....	88
9.2.3.1 Tätigkeitsbeschreibung.....	89
9.2.3.2 Benötigte Teile.....	91
9.2.3.3 Vorbereitung.....	92
9.2.4 Versuchsablauf.....	94
9.2.4.1 Aufzeichnung erstellen.....	94
9.2.4.2 Semi-automatische Analyse erstellen.....	95
9.2.4.3 Manuelle OWAS-Analyse erstellen.....	96
9.2.5 Versuchsdurchführung.....	96
9.2.5.1 Aufzeichnung.....	96
9.2.5.2 Semi-Automatische OWAS-Analyse.....	96
9.2.6 Manuelle OWAS-Analyse.....	97
9.2.6.1 OWAS-Kodierung.....	97
9.2.6.2 Kodierzeiten der manuellen OWAS-Analyse.....	100
9.2.7 Ergebnisse.....	100
9.2.7.1 OWAS-Kodierungen.....	100
9.2.7.2 Zeitbedarf.....	101
9.2.7.3 OWAS-Analysen.....	103
9.2.8 Interpretation der Ergebnisse.....	110
9.2.8.1 Eignung der Methode.....	110
9.2.8.2 Mögliche Verbesserungen.....	111
9.2.8.3 Korrektheit.....	111
9.2.8.4 Aufwand.....	112
9.2.8.5 Framerate.....	112
10 Schlussbetrachtungen.....	113
10.1 Fazit.....	113
10.2 Zukünftige Entwicklung.....	113
Glossar.....	115
Abbildungsverzeichnis.....	117
Verzeichnis der Tabellen.....	119
Quellen.....	121
Anhänge.....	125
Danksagung.....	219

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Automobilindustrie steht heute vor der Herausforderung, auf sich ändernde Marktbedingungen schnell und flexibel reagieren zu können: Eine immer größer werdende Modellvielfalt stellt dabei neue Anforderungen an die Produktion. So stieg die Zahl der PKW-Modelle im Zeitraum von 1985 bis 2008 bei BMW von 4 auf 12, bei Mercedes von 8 auf 20 und bei Volkswagen von 8 auf 15 [1].

Durch die Fortschritte im Bereich der Automatisierung in den letzten Jahrzehnten konnte zwar die Produktivität gesteigert und die Kosten gesenkt werden. Eine vollständige Automatisierung wäre aber in vielen Bereichen durch den hohen Zeit- und Kostenaufwand im Vergleich zur manuellen Produktion nicht sinnvoll; zudem erlaubt die manuelle Produktion eine größere Flexibilität in der Fertigung. So verbleibt ein nicht unerheblicher Anteil an manueller Fertigung am gesamten Produktionsprozess.

Für die Automobilindustrie in Europa ist die sich daraus ergebende Situation gleichermaßen ökonomisch wie ergonomisch unbefriedigend: In manchen Ländern Europas ist es bereits heute schwierig, qualifizierte Mitarbeiter für Montagearbeiten in der Automobilindustrie zu gewinnen, da solche Arbeitsplätze durch schlechte ergonomische und psychosoziale Bedingungen nicht attraktiv sind. Diese Entwicklung wird sich durch die demografische Entwicklung noch weiter verschärfen.

Zusätzlich ist die Zeit bis zur Marktreife für manche Produktionsprozesse zu lang und muss daher verkürzt werden, um weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben. Montageinseln können dabei ein Weg zu mehr Flexibilität sein, bedeuten unter Umständen aber auch mehr Belastungen für die Beschäftigten durch höhere Anforderungen an Lernbereitschaft und schnell wechselnde Aufgaben.

Um dieses Problem zu überwinden, sind neu zu entwickelnde Produktionsmethoden nötig, die den flexiblen und belastungsarmen Einsatz von Beschäftigten ermöglichen. Im Vergleich zu einer maschinellen Produktion müssen bei einem Einsatz von Menschen in der Produktion Faktoren berücksichtigt werden, die sonst keine Rolle spielen würden. So könnte etwa die Entwicklung und der Betrieb von neuen ergonomischen Werkzeugen so teuer sein, dass die durch die Flexibilisierung gewonnenen Vorteile aus ökonomischer Sicht mehr als aufgewogen würden.

Gleichzeitig ergeben sich aus den in der Europäischen Union geltenden Gesetzen zum Arbeitsschutz wichtige Anforderungen an die Ergonomie der zu entwickelnden Prozesse und Werkzeuge, besonders im Bereich von möglichen Schäden im Muskel- und Skelettsystem des Menschen, die durch die Tätigkeit in der Produktion hervorgerufen werden können.

Vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklung sind hierbei nicht nur kurzfristige Schädigungen der Gesundheit im Blick zu behalten. Gerade mit einer alternden Belegschaft sind Maßnahmen zu ergreifen, die auch eine schädigungslose Tätigkeit bis in das hohe Alter hinein ermöglichen.

Eine explizite intensive ergonomische Bewertung eines Arbeitsplatzes wird in der Phase der Produktionsplanung (z. B. bei Daimler) meistens nicht unternommen. Dies wird nachgeholt, wenn der Arbeitsplatz schon existiert und ergonomische Probleme auftreten. Als Ergebnis kann dann -nicht zuletzt durch entsprechende gesetzliche Bestimmungen- davon ausgegangen werden, dass zumindest eine drohende Schädigung der Gesundheit abgestellt wird.

Zu diesem Zeitpunkt ist der Arbeitsplatz bereits in den Ablauf der Produktion eingebunden. Die Kosten für eine Umstellung eines solchen Arbeitsplatzes sind im Vergleich zu den Kosten einer Änderung während der Phase der Planung sehr hoch.

1.2 Problemlage

Besser wäre es, eine ergonomische Bewertung der Arbeitsplätze schon zum Zeitpunkt der (virtuellen) Fabrikplanung vorzunehmen. Damit könnte für einen größeren Teil der Belegschaft eine Gefährdung durch einen ergonomisch mangelhaft gestalteten Arbeitsplatz vermieden werden.

Für die Fabrikplanung sind heute ausgefeilte Programme mit einem großen Aufgabenspektrum im Einsatz (bei Daimler und anderen Automobilherstellern etwa Delmia¹). Diese Werkzeuge bilden die komplette Bandbreite der Planung für die Herstellung eines Produktes ab, vom Entwurf der Werkstücke über Materialflüsse, Kosten- und Zeitplanung, CNC-Integration usw.

Für die ergonomische Simulation eines neuen Arbeitsplatzes sind im Rahmen dieser Werkzeuge allerdings kaum geeignete Lösungen verfügbar. Mit Delmia z. B. ist es zwar möglich, Menschen in die virtuelle Fabrik mit einzubeziehen und auch deren Bewegungsabläufe zu simulieren. Dazu ist es jedoch erforderlich, die Bewegungen einzeln zu modellieren (nach dem Muster „bewege den Arm an eine Position, greife das Werkstück, drehe den Körper, gehe zur Maschine...“). Der Aufwand dafür ist so hoch (Tage bis Wochen pro Arbeitsplatz), dass eine ergonomische Bewertung auf Basis dieses Verfahrens nur für wenige, ausgewählte Arbeitsplätze gemacht wird. Der Schwerpunkt der Simulation liegt dabei auch mehr auf der Beantwortung der Frage, ob bestimmte Montagearbeiten überhaupt möglich sind („passt das zu montierende Werkstück durch die vorhandene Öffnung?“).

1.3 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer rechnergestützten Methode, mit der schnell und einfach (im Sinne einer Screening-Methode) eine ergonomische Beurteilung einer Montagetätigkeit erstellt werden kann. Als Szenario wird dabei die als ergonomisch besonders problematisch bekannte Kofferraummontage verwendet. Die Methode soll sich in erste Linie auf Bewegungsdaten stützen, die mittels Motion Capturing gewonnen werden.

Zur Eingrenzung der Zielsetzung gelten folgende Rahmenbedingungen:

1. Einsatz eines Motion-Capturing-System: Dies ermöglicht die Erfassung von Bewegungsdaten und deren Auswertung durch einen Computer. Die Methode automatisiert die Beobachtung der Bewegungen.
2. Geringer zeitlicher Aufwand: Im Idealfall ließe sich ein System entwickeln, das den zeitlichen Aufwand für den Einsatz der Methode auf die Dauer der zu untersuchenden Tätigkeit beschränkt. Dies erleichtert es, einen neuen Entwurf für eine Tätigkeit ergonomisch abzusichern.
3. Die Methode soll sowohl an bereits existierenden Arbeitsplätzen als auch an Arbeitsplätzen, die in der virtuellen Realität (VR) nachgestellt werden, angewendet werden können. Damit ergibt sich die Möglichkeit, bereits zu einem Zeitpunkt, zu dem ein Arbeitsplatz noch gar nicht physisch implementiert ist, eine ergonomische Beurteilung zu erstellen.
4. Sie muss transparent für andere Motion-Capturing-Systeme sein. Aus der Anforderung, die Methode auch im virtuellen Raum einsetzen zu können, ergibt sich, dass ein störungsfreier Betrieb des Systems zur Aufzeichnung der Bewegungsdaten parallel zu weiteren derartigen Systemen möglich sein muss, da diese auch für den VR-Einsatz erforderlich sind.

¹ Delmia (Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application) ist eine Softwarelösung zur Planung, Visualisierung, Simulation und Absicherung von Produktionsplanungen. Dabei verfolgt Delmia erste Ansätze in Richtung Umsetzung der Digitalen Fabrik. [52]

5. Vergleichbarkeit: Um verschiedene mögliche Varianten einer Tätigkeit mit einander verglichen zu können, muss die Bildung einer Reihenfolge (von „besser“ bis „schlechter“) möglich sein.
6. Es werden zunächst nur Tätigkeiten untersucht, die den ganzen Körper beanspruchen. Eine Beispiel für eine solche Tätigkeit ist die Montage im Kofferraum eines Automobils in der Fertigung.
7. Es soll kein neues Motion-Capturing-System entwickelt werden. Dies würden den Rahmen der Arbeit sprengen.
8. Ebenso soll auf bestehende Methoden zur ergonomischen Beurteilung zurückgegriffen werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung folgt zunächst eine Betrachtung der geeigneten Verfahren zu ergonomischen Analyse sowie der verfügbaren Techniken zur Erfassung von Bewegungsdaten. Dort wird auch die Auswahl der ergonomischen Methode und des verwendeten Motion-Capturing-System erläutert.

Die ausgewählte OWAS-Methode wird in einem eigenen Abschnitt vorgestellt. Der Entwicklung der im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Software sind mehrere Abschnitte gewidmet. Zunächst wird dargelegt, warum die Software iterativ entwickelt wurde; danach folgt die Darstellung der vier wesentlichen Schritte der Implementierung, die sich als die Prototypen 1 bis 4 manifestieren.

Die entwickelte Software wurde einer experimentellen Überprüfung auf Praxistauglichkeit und Fehlerfreiheit unterzogen. Die dazu verwendeten zwei Versuche und ihre Ergebnisse finden sich im darauf folgenden Abschnitt.

Schließlich enthalten die Schlussbetrachtungen ein Fazit und einen Ausblick auf eine mögliche weitere Entwicklung. Ein Glossar mit Erklärungen der verwendeten Akronyme und Begriffe befindet sich vor den Anhängen.

2 Ergonomische Bewertung und Motion-Capturing – Stand der wissenschaftlichen Diskussion

2.1 Ergonomische Bewertung

Verfahren zur ergonomischen Bewertung von Tätigkeiten sind in großer Vielfalt vorhanden. Luczak teilt die Untersuchungsmethoden in vier Grundtypen: Beobachtung, Befragung, und physiologische sowie physikalisch-chemische Messverfahren [2]. Im Kontext der vorliegenden Arbeit kommen allerdings nur solche Methoden in Betracht, bei denen ganz überwiegend die beobachtete Körperhaltung in das Ergebnis der Analyse einfließt (Beobachtungsverfahren), da ein Motion-Capturing-System ja gerade (nur) diese Information liefert. Methoden, die auf subjektiver Einschätzung der Arbeitsperson (Befragung) beruhen, entziehen sich einer Unterstützung durch Motion Capturing.

Dies gilt auch für Methoden, die im Wesentlichen auf die Arbeitsperson wirkenden Kräfte abstellen. Zu diesen gehören z. B. die von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) entwickelten Leitmerkmalmethoden LMM-HHT (Leitmerkmalmethode für „Heben, Halten, Tragen“, [3]) und LMM-ZS (Leitmerkmalmethode für „Ziehen und Schieben“, [4]), aber auch das Grenzlastverfahren nach NIOSH, DIN EN 1005-2 und ISO 11228.1. [5].

Problematisch sind zudem Methoden, die sich auf ein bestimmtes Körperteil konzentrieren (z. B. HAL TLVs (Hand Activity Level Threshold Limit Values [6]), wenn diese vom Motion-Capturing-System nicht speziell erfasst werden.

Lawaczeck stellt fest, dass „neben der einseitigen dynamischen Muskelarbeit hauptsächlich die Anteile statischer Haltungs- und Haltearbeit zu Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates führen (...)“ und die „„Krankheiten des Skelettes, der Muskeln und des Bindegewebes‘ größtenteils durch ungünstige Körperhaltungen (...) verursacht werden“. Weiterhin führt er aus, dass es bereits 2001 mehr als 130 Methoden „zur Analyse von Körperhaltungen, Körperstellungen und Körperbewegungen“ gab [7].

2.1.1 Körperhaltung beobachtende Verfahren

Die in diesem Abschnitt enthaltenen zwei Verfahren (OWAS und RULA) zeichnen sich dadurch aus, dass sie die von der Arbeitsperson eingenommenen Körperhaltungen als Grundlage für die Bewertung einer Tätigkeit verwenden. Sie sind damit für die Kombination mit Motion Capturing besonders geeignet.

Die Beobachtung von Körperhaltungen spielt auch im „Automotive Assembly Worksheet“ (AAWS) eine große Rolle. Allerdings fließen dort auch noch in erheblichem Maße andere Faktoren mit ein, die sich durch Motion Capturing nicht messen lassen: „Beim AAWS erfolgt die Beurteilung der Belastung über eine Punktsumme. Diese errechnet sich aus Haltungspunkten, aus Punkten aufgrund besonderer Kräfte und RSI (Rückschläge, Schwingungen und Impulse) sowie aus Lastenhandhabungspunkten und Extrapunkten“ [8]. Es bleibt daher wie das eng verwandte „New Production Worksheet“ (NPW, [9]) an dieser Stelle ohne detailliertere Darstellung.

2.1.1.1 OWAS

OWAS ist ein Akronym für „Ovako Working posture Analysis System“ (übersetzt etwa „Ovako System für die Analyse von Körperhaltungen am Arbeitsplatz“) und wurde ab 1973 von Osmo Karhu und anderen entwickelt und 1977 veröffentlicht [10].

Bei der Entwicklung der Methode standen Einfachheit (die Methode muss auch von Menschen eingesetzt werden können, die keine spezielle ergonomische Ausbildung absolviert haben) und Eindeutigkeit (die Methode muss eindeutige Ergebnisse liefern; dafür wird ein gewisses Maß an Vereinfachung in Kauf genommen) im Vordergrund.

OWAS erfasst systematisch die während einer Tätigkeit auftretenden Körperhaltungen und deren zeitlichen Anteil und bestimmt daraus die entstehenden Belastungen für das Muskel-Skelett-System. Verbunden damit ist eine Einschätzung der Notwendigkeit (und Dringlichkeit) für eine Verbesserung der Situation am Arbeitsplatz in vier Stufen, so genannten Aktionskategorien. Die Aktionskategorien und ihre Bedeutung zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Aktionskategorien der OWAS-Methode

Aktionskategorie	Bedeutung
1	Die einzelnen Körperhaltungen und die Haltungskombinationen der verschiedenen Körperteile sind normal und natürlich. Die Belastung des Muskel-Skelett-Systems ist normal und im akzeptablen Rahmen. Die Körperhaltungen müssen nicht geändert werden.
2	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen können einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System haben. Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden.
3	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten so schnell wie möglich ergriffen werden.
4	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen sehr gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten sofort ergriffen werden.

Die Methode berücksichtigt die Haltung des Rückens (vier Möglichkeiten), der Arme (drei Möglichkeiten) und der Beine (sieben Möglichkeiten). Damit ergeben sich 84 ($4*3*7$) mögliche Kombinationen für die Körperhaltung. Spätere Erweiterungen der Methode berücksichtigen zusätzlich noch (optional) die Haltung des Kopfes (Stoffert [11]).

Neben der Körperhaltung gehen auch noch die Kräfte ein, die insbesondere durch das Gewicht von zu handhabenden Teilen entstehen. OWAS teilt diese in drei Klassen ein (bis 10 kg, 10-20 kg und mehr als 20 kg²).

Die OWAS-Methode wird im Abschnitt „Die OWAS-Methode“ detailliert vorgestellt.

2.1.1.2 RULA

RULA (Rapid Upper Limb Assessment) wurde von McAtamney und Corlett entwickelt und 1993 veröffentlicht [12] und ist „eine Screening-Methode, die für einzelne Tätigkeiten den Handlungsbedarf zur Vermeidung von Muskel-Skelett-Belastung rasch anzeigt“ [6].

² Die OWAS-Methode verwendet die Einheit Kilogramm statt Newton. Als Kraftangabe ergäben sich angenähert: Weniger als 100 N, 100-200 N und mehr als 200 N.

Zur Erfassung wird während der Tätigkeit die Körperhaltung beobachtet und klassifiziert. Die Ergebnisse werden in Arbeitsbögen eingetragen, wobei die Bögen auch das Schema für die Berechnung des Ergebnisses enthalten.

Die Methode betrachtet die Arm- und Handgelenkshaltung (wobei der linke und der rechte Arm jeweils getrennt betrachtet werden), die Haltung des Oberkörpers (Beugung und Drehung des Rückens) und Halses (Kopf geneigt oder verdreht) sowie der Beine. Der Schwerpunkt liegt gemäß dem Namen der Methode auf der Arm- und Handgelenkshaltung; diesen sind vom Umfang her etwa die Hälfte der Erfassung gewidmet. Zur Illustration ist der Bogen zur Analyse der Arm- und Handgelenkshaltung in Abbildung 1 abgebildet.

Der Fokus auf die oberen Gliedmaßen schlägt sich auch in der Zahl der möglichen Kodierungen nieder: Für die Arme und Handgelenke ergeben sich 144 mögliche Kombinationen (pro Arm), für Hals, Oberkörper und Beine dagegen zusammen nur 72. In der Summe ergeben sich 360 ($2 \cdot 144 + 72$) mögliche Haltungskombinationen.

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

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

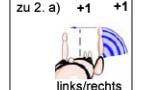
				
-20° bis +20°	> -20°	+20° bis +45°	+45° bis +90°	> +90°

1.a) Addieren Sie
wenn die Schulter angehoben ist
wenn der Oberarm abduziert ist
wenn der Arm unterstützt oder die Person angelehnt ist

2. Bestimmen Sie die Haltung des Unterarms

		
+60° bis +100°	0° bis +60°	>+100°

zu 2. a)

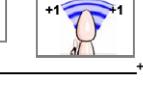
zu 2. a) 

links/rechts

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

3. Bestimmen Sie die Haltung des Handgelenks

		
0° <input type="text" value="+1"/>	0° bis -15° <input type="text" value="+2"/>	>+15° <input type="text" value="+3"/>

zu 3.a) 

+1

3. a) Addieren Sie
wenn das Handgelenk seitlich gekrümmt gehalten wird

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!

Tabelle A:
Wert der
Arm- und Handgelenkshaltung

Oberarm	Handgelenk							
	1	2	3	4				
Unterarm	1	1	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	4	4
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Handgelenk	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Unterarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4
Oberarm	1	2	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	4	5
	3	3	4	4	4	4	4	5
	4	1	2	3	3	3	4	4

Tabelle 2: Gesamtpunktwerte in RULA und daraus 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

Eine gut verständliche (deutsche) Beschreibung der Methode inklusive der drei Arbeitsbögen enthält [6].

2.1.2 Ausgewählte Methode: OWAS

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Verfahren zur ergonomische Beurteilung einer Montagetätigkeit zu entwickeln, das auf von einem Motion-Capturing-System gelieferten Bewegungsdaten basiert. Die Verwendung von Bewegungsdaten ist allerdings nur sinnvoll, wenn die zugrunde liegende Methode zur ergonomischen Beurteilung auch überwiegend auf der Beobachtung von Körperhaltungen aufsetzt.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Verfahren, die primär auf die Körperhaltung zurück greifen.

Tabelle 3: Methoden, die primär die Körperhaltung berücksichtigen

Methode	Mögliche Haltungskombinationen	außerdem geht ein
OWAS	84	Gewicht der zu handhabenden Lasten
RULA	360	Gewicht der zu handhabenden Lasten, Repetition, statische Körperhaltung

OWAS ist mit 84 möglichen Haltungskombinationen im Vergleich zu RULA (360) deutlich einfacher zu implementieren³. Zudem geht nur das Gewicht der zu handhabenden Lasten in die Methode ein. Das Gewicht kann nicht aus den Bewegungsdaten abgeleitet werden und wird daher durch den Nutzer angegeben werden müssen. Dies trifft aber auch auf RULA zu, wobei dort auch noch Repetition und statische Körperhaltung bestimmt werden müssen.

Für die vorliegende Arbeit wird daher zunächst OWAS als Methode zur ergonomischen Beurteilung ausgewählt. Sollte im Rahmen der Bearbeitung noch Raum für die Implementierung weiterer Methoden sein, so könnten diese in einem weiteren Schritt ebenfalls implementiert werden.

2.2 Motion Capturing

„Motion Capturing“ bezeichnet im Zusammenhang dieser Arbeit eine Technik zur Erfassung von menschlichen Bewegungsdaten, bei der die Bewegungsdaten anschließend in einem Format vorliegen, das von einem Computer verarbeitet werden kann.

Im nächsten Abschnitt wird zunächst kurz einführend auf die analogen Vorläufer eingegangen. Es folgt eine Darstellung der aktuell für Motion Capturing in der Praxis verfügbaren Verfahren.

³ Diese Aussage unterstellt, dass Schwierigkeitsgrad und Aufwand der Implementierung pro Körperhaltung zumindest näherungsweise gleich ist.

2.2.1 Analoge Verfahren

Erste Verfahren zur Aufzeichnung von Bewegungsdaten gibt es schon seit mehr als 120 Jahren: Eadweard Muybridge etwa erstellte von 1872 bis 1885 mehr als 100.000 Aufnahmen für sein Werk „Animal Locomotion“, in dem Bewegungsabläufe von Menschen und Tieren dargestellt sind. Muybridge verwendete dazu eine Anzahl fotografischer Kameras, die in kurzem Abstand nacheinander ausgelöst wurden und so jeweils einen Schnappschuss der Bewegung festhielten. Die Bewegung wurde damit in einzelne Schritte zerlegt [13].

Der selbe Effekt konnte später durch den Einsatz von Filmkameras erzielt werden. Für eine zeitlich hohe Auflösung kommen dabei Hochgeschwindigkeitskameras zum Einsatz.

Zu den analogen Verfahren für die Erfassung von Bewegungsdaten gehört auch die Motografie, bei der kleine blinkende Glühlämpchen an den Gelenkpunkten des Körpers angebracht werden. Die Lämpchen erzeugen in der Aufzeichnung jeweils eine Spur, aus der sich Geschwindigkeit und Beschleunigung der Bewegung bestimmen lassen. [14].

Eine neuer Ansatz ergibt sich, wenn die Bewegungsdaten nicht mehr nur in analoger Form vorliegen (etwa auf einem Film), sondern digitalisiert werden und damit in ein von einem Computer lesbares Format überführt werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die Bewegungsdaten selbst durch einen Computer verarbeitet zu lassen.

Einsatzmöglichkeiten wurden schnell in der Medizin, in den Sportwissenschaften und der Unterhaltungsindustrie gefunden. Dort werden die gewonnenen Bewegungsdaten dazu genutzt, um künstlich generierte Figuren (Avatare) zu animieren. Diese Avatare wiederum werden dann mit realen oder virtuellen Hintergründen kombiniert, um die gewünschten Effekte zu erreichen. Der Einsatz von Motion Capturing sorgt hier dafür, dass einerseits die Bewegungen des Avatars als „natürlich“ wahrgenommen werden und andererseits der Aufwand für eine Modellierung der Bewegungen entfällt. So wurden etwa im Spielfilm „Titanic“ die meisten der auf dem Schiffsdeck spazierenden Passagiere auf diese Weise generiert [15].

Nicht zuletzt ist eine echtzeitfähige Motion-Capturing-Technik Voraussetzung, um Techniken der Virtuellen Realität (VR) einsetzen zu können, denn dazu ist es nötig, die aktuelle Position des Kopfes zu erfassen und daraus das für den Nutzer zu generierende Bild zu berechnen.

Das grundsätzliche Problem bei der digitalen Aufnahme von Bewegungsdaten besteht darin, dass es keinen Sensor gibt, mit dem die Position eines Punktes eines Körpers im Raum oder auch nur die Haltung der Körperteile zueinander *direkt* gemessen werden könnte.

Um dieses Problem zu überwinden, gibt es mehrere Ansätze:

2.2.2 Optische Erkennung

Die auf optischer Erkennung basierenden Verfahren werten die durch (eine oder mehrere) Kameras aufgenommenen Bilder aus, um daraus die Position und Körperhaltung eines Menschen abzuleiten. Dabei wird einerseits der Ansatz verfolgt, direkt (ohne weitere Hilfsmittel wie etwa Marker, also nur über die Auswertung der Einzelbilder) über eine Erkennung der Körperteile der aufgenommenen Person die Bewegungsdaten zu erfassen. Gelingt dies für mindestens zwei geeignet positionierte Kameras, so ergibt sich daraus über den stereoskopischen Effekt auch eine Zuordnung zu einer Position im Raum.

Die Erkennung der einzelnen Körperteile, vor allem bei ungünstigen Kontrast zwischen Arbeitsperson und Hintergrund, ist allerdings noch nicht zufriedenstellend gelöst und erfordert zudem einen sehr hohen Rechenaufwand [16]. Beide Probleme führen dazu, dass dieser Ansatz für den praktischen Einsatz derzeit nicht verwendet wird.

Kommerziell verfügbare Produkte lösen das Problem der Erkennung der Körperteile durch an speziellen Punkten des Körpers angebrachte Marker. Diese können entweder selbst aktiv Licht aussenden oder (meist infrarotes) Licht reflektieren, das dann von Kameras aufgenommen wird. Die in den aufgenommenen Einzelbildern der Kameras entstehenden Lichtpunkte sind dann sehr viel einfacher vom Hintergrund zu isolieren, da die Zahl der Marker endlich ist und deren relative Position zueinander bekannt ist.

Die Marker werden an Körperstellen angebracht, die es erlauben, die Position der Gliedmaßen relativ zu einander zu erkennen. In der Regel sind dies Stellen nahe der Gelenke (Schulter, Ellenbogen, Handansatz, Becken, Knie, usw.).



Abbildung 2 (links): Eine zur Aufnahme der Bewegungsdaten mit reflektierenden Markern (weiße Bälle) ausgerüstete Person. Aus [17].

Abbildung 3 (Mitte): Ein Marker für das Motion-Capturing-System „OptiTrack“. Der Durchmesser des Markers beträgt 7/16“ (ca. 1,1 cm). Aus [17].

Abbildung 4 (rechts): Eine der im Motion-Capturing-System „OptiTrack“ verwendeten Kameras. Das Objektiv befindet sich in der Mitte des Kreises; die um das Objektiv herum angeordneten LEDs sorgen für die infrarote Beleuchtung der Marker. Aus [17].

Die Kameras werden so angeordnet, dass möglichst jeder Marker in jeder auftretenden Körperhaltung von mindestens zwei Kameras gesehen wird. Abbildung 5 zeigt eine typische Anordnung für sechs Kameras. Trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein einzelner oder auch mehrere Marker zeitweise von weniger als zwei Kameras erfasst werden. In einem solchen Fall versucht die Software des Erfassungssystems, die fehlende Information zu interpolieren. Je größer allerdings der Zeitraum wird, in dem keine Informationen vorliegen, desto größer wird auch der sich dadurch ergebene Fehler. Gegenstände im Raum, welche die Sicht der Kameras auf die Marker verdecken, sind daher zu vermeiden und können den Einsatz des Systems unmöglich machen. Ebenfalls unmöglich ist die Aufnahme der Bewegungsdaten außerhalb des von den Kameras erfassten Bereiches, wodurch die Fläche, innerhalb der sich die Person bewegen muss, auf wenige Quadratmeter beschränkt ist.

Systembedingt wird für jeden Marker zunächst die Position im Raum bestimmt und daraus die aktuelle Körperhaltung abgeleitet. Die Position des Körpers (bezogen auf einen definierten Punkt auf dem Körper) der Person, deren Bewegungsdaten erfasst werden soll, lässt sich daher ebenfalls immer dann bestimmen, wenn die Körperhaltung ermittelbar ist.

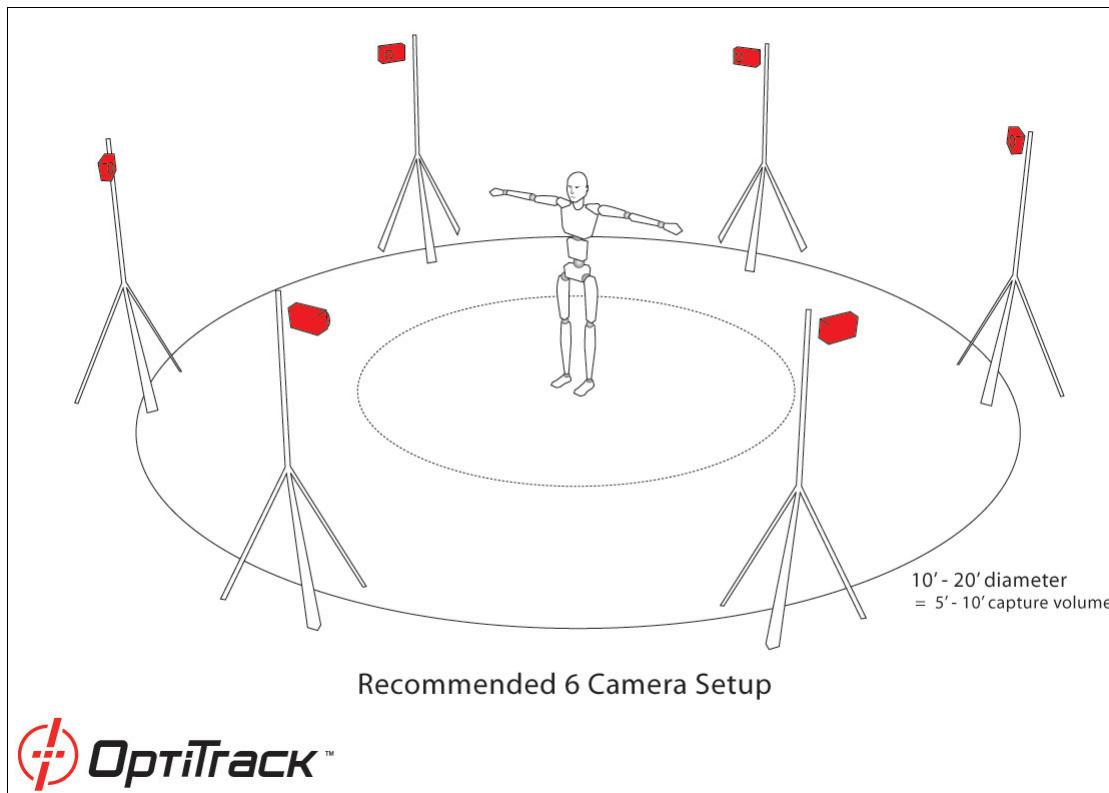


Abbildung 5: Eine vom Hersteller „NaturalPoint“ für das Motion Capturing System „OptiTrack“ empfohlene Anordnung mit sechs Kameras. Der innere Kreis begrenzt den Bereich, in dem die Bewegungsdaten erfasst werden können und hat hier einen Durchmesser von 5-10 Fuß (ca. 1,5-3 m). Aus [17].

Für das auf optischer Erkennung von Markern basierende Verfahren gibt es eine Anzahl kommerziell verfügbarer Produkte, etwa von NaturalPoint [17], SIMI [18] und Vicon [19].

Der Einsatz eines optischen Verfahrens hat jedoch einige Nachteile:

- Hoher Zeitaufwand für die Vorbereitung der Aufnahmen, insbesondere wenn das System portabel eingesetzt werden soll. In diesem Fall müssen die Kameras vor Ort neu aufgebaut und das System neu kalibriert werden, was einige Stunden in Anspruch nehmen kann.
- Verdeckungsproblematik: Wenn Marker für die Kameras nicht sichtbar sind, kann ihnen auch keine Position zugeordnet werden. Bei einem Szenario „Montagetätigkeit im Kofferraum“ ist auf jeden Fall mit längeren Verdeckungen der Marker zu rechnen, da ein Teil der Tätigkeit im Kofferraum selbst ausgeführt werden muss.
- Die Aufzeichnung der Bewegungsdaten ist nur in dem von den Kameras erfassten Raum möglich. Dies beschränkt die Bewegungsfreiheit auf einige wenige Quadratmeter.
- Möglicherweise lassen sich Kameras nur unter großen Schwierigkeiten in einer Werkhalle mit laufender Produktion passend aufbauen, da die Kameras in einem gewissen Abstand zur beobachteten Arbeitsperson platziert werden müssen (siehe dazu auch Abbildung 5).

Beim beschriebenen optischen Verfahren sind die „Sensoren“ (die Kameras) außerhalb des Körpers angebracht. Am Körper selbst werden keine aktiven Elemente benötigt, wobei sich „aktiv“ auf im Sinne von Daten liefernden Sensoren bezieht. Es gibt auch Varianten, bei denen statt passiven (reflektierenden) Markern aktive Lichtquellen eingesetzt werden.

2.2.3 Am Körper angebrachte aktive Sensoren

Im Gegensatz dazu setzen die im Folgenden beschriebenen Verfahren darauf, die Sensoren direkt am Körper zu platzieren. Für die Erfassung der Körperhaltung und werden verschiedene Klassen von Sensoren verwendet. Ein Teil der Sensoren liefert analoge Signale, die noch digitalisiert werden müssen. Andere Sensoren liefern bereits digitale Signale. Abbildung 6 zeigt eine Auswahl von Sensoren, die am Körper anzubringen sind. Aminian und Najafi [20] geben einen guten Überblick über die Funktionsweise der verschiedenen Sensoren.

Die folgenden Abschnitte beschreiben auf verschiedenen Sensor-Technologien basierende Verfahren zur Erfassung von Bewegungsdaten.

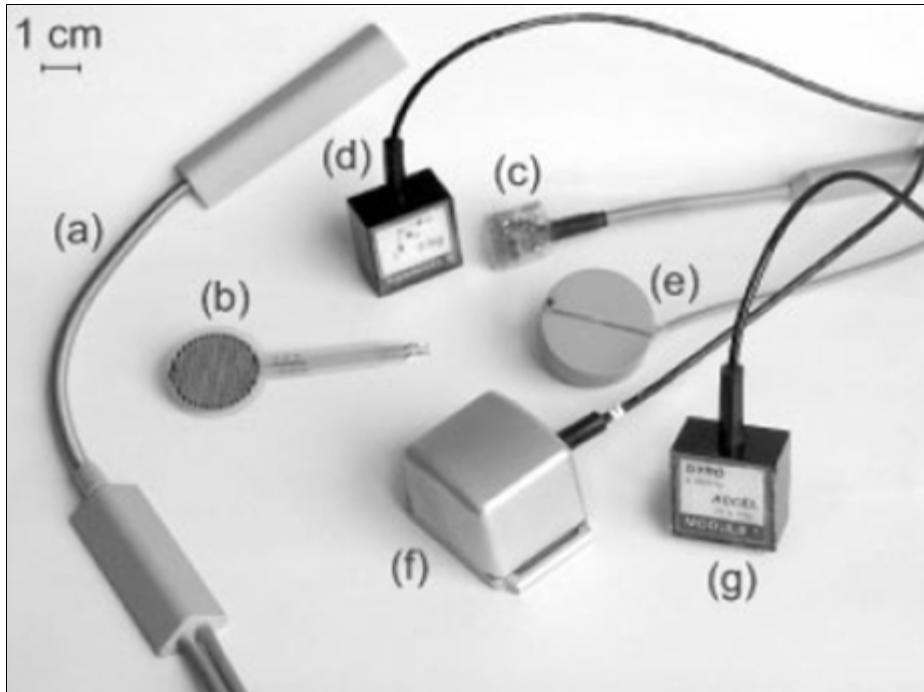


Abbildung 6: Eine Auswahl am Körper anzubringender Sensoren zur Erfassung der Körperhaltung.

(a) Goniometer (Winkelmeister), (b) Fußdrucksensor, (c) eindimensionaler Beschleunigungsmesser, (d) dreidimensionaler Beschleunigungsmesser, (e) eindimensionales Gyroskop, (f) dreidimensionales Gyroskop, (g) Bewegungsmesser aus zwei Beschleunigungsmessern und einem Gyroskop. Aus [20].

2.2.3.1 Winkelmeister

Lassen sich Winkelmeister (siehe Abbildung 6 (a)) geeignet am Körper anbringen, kann die Körperhaltung aus den von den Sensoren gelieferten Winkeln berechnet werden. Allerdings ist die Befestigung am Körper nicht immer unproblematisch, da sie entweder aufgeklebt oder in Kleidung eingearbeitet werden müssten.

Außerdem besteht das Problem, dass sich manche Gelenk-/Knochenstrukturen des Körpers in mehr als eine Richtung bewegen können (z. B. kann das Handgelenk nicht nur nach oben und unten, sondern auch nach links und rechts bewegt werden). Für das Handgelenk müssten dann zwei geeignet angebrachte (um 90° gegeneinander versetzte) Goniometer verwendet werden. Für die Wirbelsäule müsste zusätzlich auch noch die Torsion bestimmt werden.

Eine Recherche nach Anbietern einer Lösung für die Erfassung des ganzen Körpers auf Basis dieser Technik erbrachte keine Ergebnisse.

2.2.3.2 Exoskelett

Eine weitere Variation der Aufnahme der durch den Körper eingenommenen Haltung ist das Exoskelett. Bei diesem Ansatz werden die Winkel der Gelenke aufgenommen, indem parallel zu den Gliedmaßen mechanische Strukturen (z. B. Stangen) befestigt werden, so dass die Mechanik bei jeder Bewegung des Körpers mit bewegt wird. Die Winkel zwischen den an den Gliedmaßen befestigten Stangen können dann recht einfach mit Potentiometern aufgenommen werden. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für ein solches System.



Abbildung 7: Beispiel für ein Motion-Capturing-System auf Basis eines Exoskeletts (Animazoo Gypsy-6). Aus [21].

Für dieses Verfahren müssen keine Kameras eingesetzt werden; daher gibt es auch keine Verdeckungsproblematik. Der Hersteller setzt neben den Potentiometern zusätzlich noch mehrere Sensoren auf Gyroskop-Basis ein, um weitere Winkeldaten zu erhalten.

Nachteilig an diesem Verfahren ist die anzulegende Ausrüstung; die auf dem Körper zu tragende Installation kann kaum sinnvoll unterhalb unter der Arbeitskleidung getragen werden. Die Stangen und Kabel bergen zudem stets die Gefahr, dass die Arbeitsperson mit ihnen „hängen bleibt“ und auf diese Weise die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls oder der Beschädigung des Systems erhöht wird.

2.2.3.3 Magnetische Systeme

Magnetische Systeme zur Erfassung von Bewegungsdaten berechnen Position und Orientierung im Raum durch die Messung des magnetischen Flusses. Der Sender besteht meist aus drei orthogonal zueinander angeordneten Spulen und ist im Raum fest installiert, während am Körper angebrachte Empfänger einen Magnetfeldvektor liefern, aus denen Position und Orientierung eines Körperteils bestimmt werden. [22]

Magnetische Systeme sind sehr anfällig für Störungen des magnetischen und elektrischen Feldes. Solche Störungen können bereits durch Stahlbeton verursacht werden. Noch größeren Störeinfluss haben alle Arten von elektrischen und magnetischen Feldern, wie sie von Kabeln und elektrischen Geräten ausgehen [23].

Der Bewegungsraum ist beschränkt auf den vom Sender abgedeckten Bereich, wobei dieser mit z. B. 3x3 m noch kleiner als bei optischen Systemen ausfallen kann [24].

2.2.3.4 Gyroskopische Systeme

„Ein Drehratensor („Gyroskop“) bestimmt die Geschwindigkeit einer Rotationsbewegung bezüglich seiner sensitiven Achse. Mit Hilfe von drei senkrecht zueinander stehenden Sensoren kann der Vektor der Rotationsgeschwindigkeit und somit die Orientierungsänderung des Systems gemessen werden“ [22]. Die ersten Gyroskope bestanden aus Kreiseln, die beweglich in einem Lager montiert waren. Wird die Orientierung des Lagers geändert, so behält der rotierende Kreisel trotzdem seine Lage im Raum bei. Die Änderung der Orientierung kann dann (für eine Dimension) aus der Winkeländerung zwischen Lager und Kreisel bestimmt werden. Die in Motion-Capturing-Systemen verwendeten Miniatur-Gyroskope (das „Gyroskop“ selbst nimmt nur wenige Quadratmillimeter ein) haben allerdings nur noch das Prinzip der Drehimpulserhaltung mit den „ursprünglichen“ Kreiseln gemein. In ihnen rotiert kein echter Kreisel mehr; vielmehr werden in ihnen kleinste aus einem Chip gefertigte Konstrukte (MEMS⁴-Technologie) in Schwingungen versetzt und deren Reaktion auf die Orientierungsänderung des Sensors ausgewertet [22].

Für den praktischen Einsatz in Motion-Capturing-Systemen kommen Sensoren zum Einsatz, die nicht nur aus Gyroskopen bestehen, sondern zusätzlich zu diesen auch mit Beschleunigungsmessern und einem Kompass kombiniert sind⁵. Die Kombination der verschiedenen Sensortypen erlaubt es, die prinzipiellen Nachteile einzelner Sensortypen durch die zusätzlich von den anderen Sensortypen gewonnenen Daten auszugleichen [23]. So kann z. B. dem durch die Drift eines Gyroskops auftretende Fehler durch die vom Kompass gelieferte Orientierung entgegengewirkt werden. Durch den Einsatz von Signalverarbeitung schon im Bauelement selbst (Kalman-Filter) lassen sich die Eigenschaften noch weiter verbessern [25]. Abbildung 8 zeigt ein solches Bauelement.

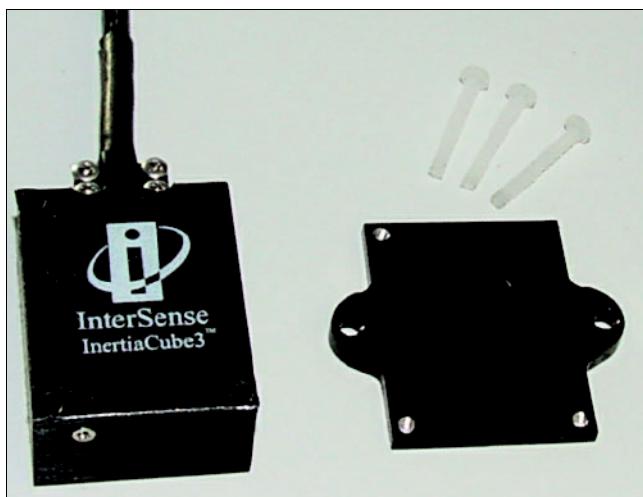


Abbildung 8: InertiaCube3 von InterSense kombiniert neun Sensoren und Kalman-Filter in einem Bauelement. Die Kantenlängen des Bauelements ist 26,2x39,2x14,8 mm. Aus [25].

Zur Erfassung der Bewegungsdaten werden die Gyroskope auf dem Körper befestigt. Praktisch ist dabei ein elastischer Anzug als Träger der Sensoren, so dass nicht jedes Gyroskop einzeln angebracht werden muss, sondern gleich alle Gyroskope am richtigen Platz sind. Die Daten aller Gyroskope werden noch am Körper durch eine ebenfalls zu befestigende Zentraleinheit gesammelt und in Echtzeit drahtlos zu einem Empfänger übertragen. Der Empfänger wiederum ist mit einem PC verbunden, der die übertragenden Daten weiter verarbeitet. Abbildung 9 zeigt ein Beispiel für einen Anzug und kennzeichnet die Lage der Sensoren.

Im PC wird schließlich über eine zum System gehörende Software aus den von den Gyroskopen gelieferten Daten die Körperhaltung abgeleitet. Dazu muss der Software bekannt sein, welcher Gyros-

4 MEMS: Micro-Electro-Mechanical System

5 Trotzdem ist im Zusammenhang mit Motion-Capturing-Systemen die Bezeichnung „Gyroskop“ (bzw. im Englischen „Gyroscope“) üblich. Dies wird in der vorliegenden Arbeit im Folgenden ebenso gehandhabt.

kop welchem Körperteil zugeordnet ist. Ausgehend von einem (meistens an der Hüfte oder am Kopf angebrachten) zentralen Gyroskop („Root-Sensor“) kann die Software dann die Orientierung der anderen Körperteile bestimmen, wobei ein einfaches hierarchisches Skelett-Modell zum Einsatz kommt. Abbildung 10 zeigt eine Darstellung des zum Anzug in Abbildung 9 gehörenden Skelett-Modells.

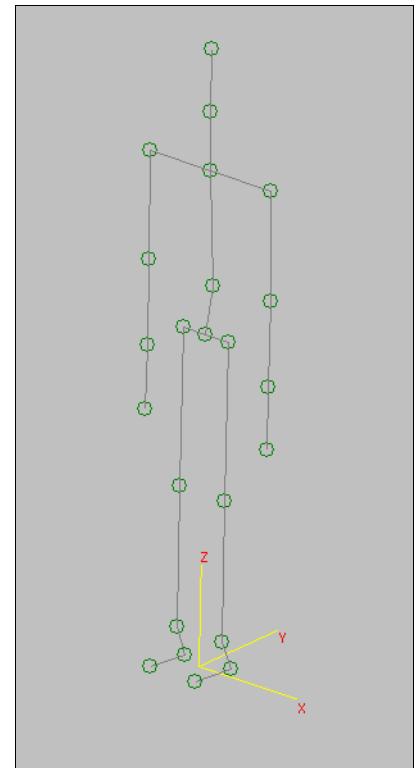
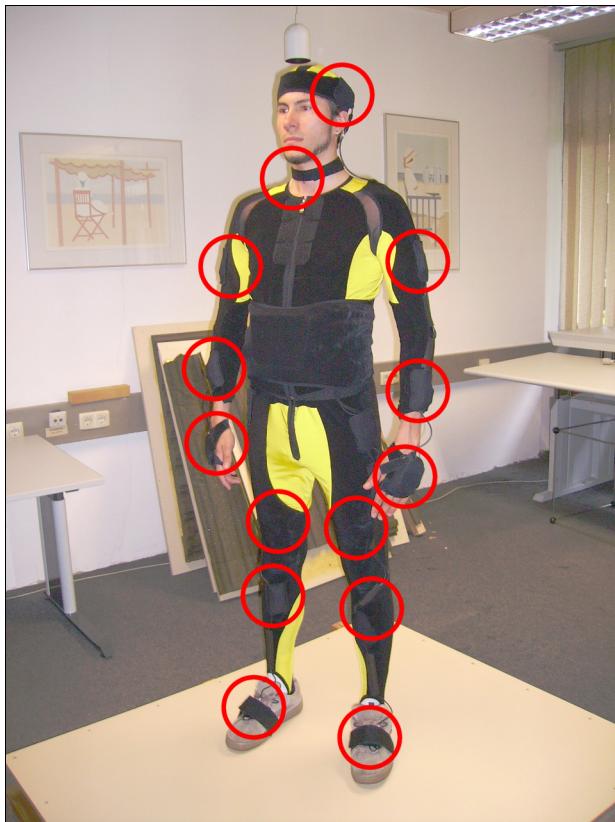


Abbildung 9 (links): Motion-Capturing-System „GypsyGyro18“ von Animazoo. Das System verwendet 18 Gyroskope (Position im Bild rot markiert) für die Erfassung der Körperhaltung. Einige Gyroskope sind nicht sichtbar, da sie auf der Rückseite des Körpers angebracht sind.

Abbildung 10 (rechts): Skelett-Modell für das Motion-Capturing-System „GypsyGyro18“ von Animazoo. Die grünen Kreise kennzeichnen Beginn und Ende eines Knochens (Linie) und korrespondieren nicht mit den roten Kreisen aus Abbildung 9. Ein Kreis zwischen zwei oder mehr Linien kann als Gelenk verstanden werden.

Die Vorteile eines gyroskopischen Systems sind:

- Es gibt keine Verdeckungsproblematik. Die Gyroskope können auch unter der Kleidung getragen werden (etwa unter Arbeits- oder Schutzkleidung). Auch das gleichzeitige Aufnehmen der Bewegungsdaten mehrerer Personen (jede Person trägt einen Anzug) ist möglich. Auch Beleuchtungsverhältnisse haben auf das System keinen Einfluss.
- Der Raum für die Messung kann sehr groß sein, da er nur von der Reichweite der drahtlosen Übertragung abhängt: In Gebäuden werden bis 100 m erreicht, im Freien bis zu 300 m.
- Die Zeit für den Aufbau des Systems ist immer gleich kurz (einige Minuten), auch wenn das System im portablen Einsatz verwendet wird.
- Das System ist für andere Motion-Capturing-Systeme transparent, d. h. es lässt sich gleichzeitig mit weiteren Motion-Capturing-Systemen betreiben. Dies ist z. B. für den Einsatz in einer VR (Virtual Reality)-Umgebung wichtig, da die Technik der VR-Umgebung mit einem eigenen Tracking-System arbeitet.

Es gibt allerdings auch Nachteile:

- Das System liefert nur die Daten über die aktuelle Körperhaltung, aber keine verlässlichen Informationen über die Position des Körpers im Raum. Für den Einsatz z. B. als Tracking-System in einer VR-Umgebung kommt es damit nicht in Frage.
- Das System lässt sich unter ungünstigen Umständen durch starke Verzerrungen des Erdmagnetfelds (z. B. durch große Objekte aus ferromagnetischen Material) stören. Dies wird durch die zur Kompensation der Gyroskope in den Sensoren eingebauten Kompassen verursacht.

Mehrere Hersteller bieten kommerzielle Motion-Capturing-Systeme auf Basis von Gyroskopen an.

2.2.4 Kombinationsvarianten

Motion-Capturing-Systeme können auch aus verschiedenen Sensortypen aufgebaut sein. Das CUELA-System (Computer unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) verwendet zur Aufnahme der Körperhaltung Gyroskope, Inklinometer (Neigungsmesser), Goniometer und Fußdruckmesssohlen. Die erfassten Daten werden von einem Datenlogger gespeichert und nach der Messung an einen PC übertragen. Eine Stärke des CUELA-Systems liegt in der Langzeiterfassung; über 12 Stunden Messdaten können gespeichert werden [26]. Abbildung 11 zeigt das CUELA-System an einem Probanden.

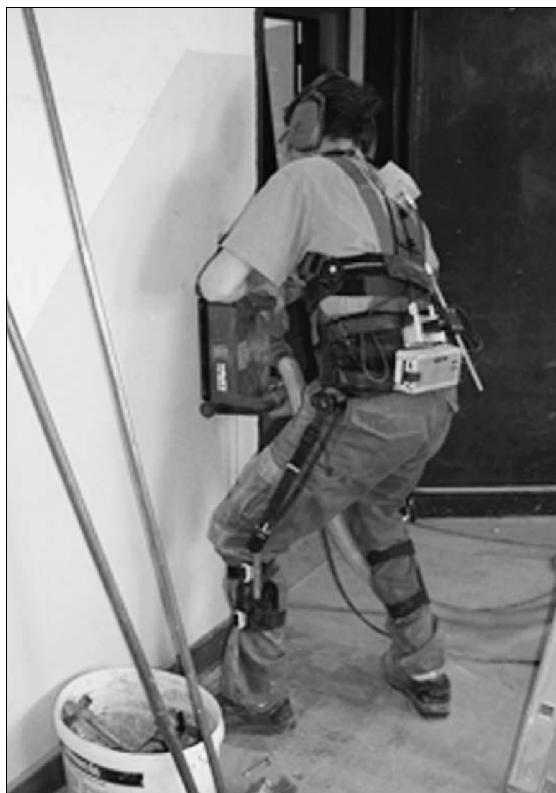


Abbildung 11: Am Proband angelegtes CUELA-System. Aus [26].

Ein anderer Ansatz ist die Kombination eines Motion-Capturing-System auf Basis von Gyroskopen mit einem System zur Erfassung der Position des Körpers im Raum auf Ultraschall-Basis (Animazoo IGS-190H). Als Nachteile ergeben sich jedoch eine ähnlich wie beim optischen System begrenzten Fläche und die Verdeckungsproblematik beim Ultraschall-Ortungssystem.

2.2.5 Auswahl eines Motion-Capturing-Systems

Durch die Verdeckungsproblematik scheiden Systeme auf optischer Basis aus: Diese werden in einem Szenario „Kofferraummontage“ nicht einsetzbar sein, weil dort ein erheblicher Teil des Körpers im Kofferraum und damit von außen nicht zu sehen sein wird. Zusätzlich ergibt sich bei optischen Systemen der Nachteil eines eingeschränkten Bewegungsraums, verbunden mit einem recht hohen Aufwand für den Aufbau. Ein portabler Betrieb ist allein schon durch die Menge der Ausrüstung problematisch.

Für Systeme auf Basis von Winkelmessern ließ sich kein kommerzieller Anbieter finden. Die Entwicklung eines eigenen Motion-Capturing-System kam im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht in Betracht.

Magnetische Systeme teilen mit den optischen Systemen den Nachteil eines sehr eingeschränkten Bewegungsraums. Zudem reagieren sie auf ferromagnetische Materialien in der Nähe sehr empfindlich. Dies kann aber -besonders in einem Szenario aus der Automobilfertigung- nicht ausgeschlossen werden.

Systeme auf Basis eines Exoskeletts wären eine Alternative. Zu diesen wird an dieser Stelle auch das CUELA-System gezählt, da dort Elemente eines Exoskeletts eingesetzt werden. Solche Systeme benötigen jedoch eine recht lange Zeit (20 bis 40 Minuten beim CUELA-System [26]) zum Anlegen und Kalibrieren. Schließlich speichert das CUELA-System die aufgenommenen Bewegungsdaten „offline“ auf einer Speicherplatte, die erst nach der Aufnahme ausgelesen wird. Dies erschwert die Synchronisation mit einer Videoaufnahme. Während die Komponenten des Exoskeletts beim CUELA-System einen robusten Eindruck machen und ihre Tauglichkeit in der Praxis auch unter ungünstigen Bedingungen gezeigt haben, erweckten andere Exoskelett-Systeme zudem die Befürchtung, dass sie einem längeren Einsatz in rauen Bedingungen mechanisch nicht gewachsen sein könnten.

Als Lösung bot sich ein System auf Basis von Gyroskopen an. Nach einer Marktrecherche zu Beginn der Arbeiten am Forschungsprojekt CyberManS erwies sich das System „GypsyGyro18“ als mögliche Lösung. Es teilt die oben bereits beschriebenen allgemeinen Vorteile der gyroskopischen Systeme. Zusätzlich bietet es weitere Vorteile:

- Das System hat eine Programm-Schnittstelle (Software Development Kit, SDK), über die eigene zu entwickelnde Software mit dem Motion-Capturing-System kommunizieren kann.
- Die Daten werden in Echtzeit übertragen, so dass eine Kontrolle über die Qualität der erfassten Daten zu jeder Zeit der Aufnahme möglich ist.
- Es lag preislich mit unter 100.000 € im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel.
- Die Zeit vom Start des Systems bis zum Beginn der Aufnahme beträgt weniger als zehn Minuten.
- Das System eignet sich für den portablen Einsatz (das System wird bereits in einem Koffer mit Rollen geliefert, um es einfach transportieren zu können). Der Betrieb an einem Laptop ist unproblematisch.

Auf dieser Grundlage wurde das System „GypsyGyro18“ als System zur Erfassung der Bewegungsdaten ausgewählt.

3 Die OWAS-Methode

Dieser Abschnitt erläutert die OWAS-Methode. Die Abkürzung OWAS steht für „Ovako Working posture Analysis System“ (übersetzt etwa „Ovako System für die Analyse von Körperhaltungen am Arbeitsplatz“). Ovako ist der Name des finnischen Unternehmens in der Stahlbranche, bei der die Methode entwickelt wurde.

3.1 Beschreibung

Die OWAS-Methode wurde ab 1973 von Osmo Karhu und anderen entwickelt und 1977 veröffentlicht [10].

Zwei Ziele standen bei der Entwicklung im Vordergrund:

- Einfachheit: Die Methode muss auch von Menschen eingesetzt werden können, die (abgesehen von der Vermittlung der OWAS-Methode) keine spezielle ergonomische Ausbildung absolviert haben.
- Eindeutigkeit: Die Methode muss eindeutige Ergebnisse liefern; dafür wird ein gewisses Maß an Vereinfachung in Kauf genommen.

Das „Centre for Occupational Safety“ (Zentrum für Arbeitssicherheit) in Finnland unterstützt und verbreitet die OWAS-Methode seit 1985 durch Veröffentlichungen und Trainingsmaßnahmen. Eine dieser Veröffentlichungen, ein Trainingshandbuch für die OWAS-Methode (Louhevaara und Suurnäkki, 1992 [27]), ist die Grundlage für die folgende Beschreibung.

Die OWAS-Methode wurde entwickelt, um eine verlässliche Information über die auftretenden Körperhaltungen und deren zeitlichen Anteil an der Tätigkeit am Arbeitsplatz zu gewinnen. Mit ihr können die Körperhaltungen systematisch erfasst und klassifiziert sowie die daraus entstehenden Belastungen für das Muskel-Skelett-System bestimmt werden. Aus den ermittelten Belastungen kann dann die Notwendigkeit (und Dringlichkeit) für eine Verbesserung der Situation am Arbeitsplatz abgeleitet werden. Ziel ist es dabei, ein Maß der physischen Belastung zu erreichen, das den Fähigkeiten der Arbeitsperson entspricht sowie ihre Gesundheit erhält – in anderen Worten: eine menschengerechte Arbeitsgestaltung [14].

Louhevaara und Suurnäkki [27] nennen folgende Anwendungsbereiche für die OWAS-Methode:

- Verbesserung eines Arbeitsplatzes oder einer Tätigkeit mit dem Ziel, die Belastung für das Muskel-Skelett-System zu verringern
- Planung neuer Arbeitsplätze oder Arbeitsabläufe
- Ergonomische Untersuchungen
- Untersuchungen im Rahmen der Arbeitssicherheit
- Forschung und Entwicklung

Die Anwendung der OWAS-Methode gliedert sich in zwei Teile:

1. eine einfache Methode zur systematischen Beobachtung von Körperhaltungen bei der Ausführung einer Tätigkeit und
2. einer Bewertung der im ersten Schritt erhobenen Körperhaltungen.

3.1.1 Beobachtung der Körperhaltung

Die Ermittlung der Körperhaltungen wird durch einen Beobachter vorgenommen, der (am Besten anhand einer Aufzeichnung auf Video) die Art und den zeitlichen Anteil der durch die Arbeitsperson eingenommenen Körperhaltungen festhält.

Berücksichtigt werden die Haltung des Rückens, der Arme und der Beine, wobei für den Rücken vier, für die Arme drei, für die Haltung der Beine sieben sowie für das momentan zu handhabende Gewicht (bzw. die momentane Krafteinwirkung, z. B. durch Schieben oder Ziehen) drei Klassen vorgesehen sind. Jede der Klassen wird mit einer Nummer kodiert, aus den vier Ziffern ergibt sich die so genannten OWAS-Kodierung einer Körperhaltung.

Die Zuordnung der Körperhaltung zu den möglichen Klassen und ihre Kodierung zeigt Tabelle 4 für den Rücken, Tabelle 5 für die Arme, Tabelle 6 für die Beine sowie Tabelle 7 für die zu handhabenden Lasten.⁶

In späteren Veröffentlichungen wurde z. B. die Haltung des Kopfes zusätzlich erhoben und als weitere Ziffer kodiert, etwa von Kant u. a. [28].

Die vorliegende Arbeit wird im Folgenden jedoch nur die Haltung des Rückens, der Arme und der Beine sowie die zu handhabenden Lasten berücksichtigen, denn nach Louhevaara und Suurnäkki [27] fehlen für diese Erweiterungen die Zuordnung zu Aktionskategorien (siehe dazu den nächsten Abschnitt).

Aus den in den Tabellen gezeigten Körperhaltungen ergeben sich 84 ($4*3*7$) mögliche Haltungskombinationen. Bei Berücksichtigung der drei Klassen für die Lasten ergeben sich 252 ($84*3$) mögliche Kombinationen für eine OWAS-Kodierung.

Eine OWAS-Kodierung besteht aus vier Ziffern, in denen nacheinander die Kodierung für den Rücken, der Arme, der Beine sowie der Last angegeben wird. Abbildung 12 zeigt ein Beispiel.

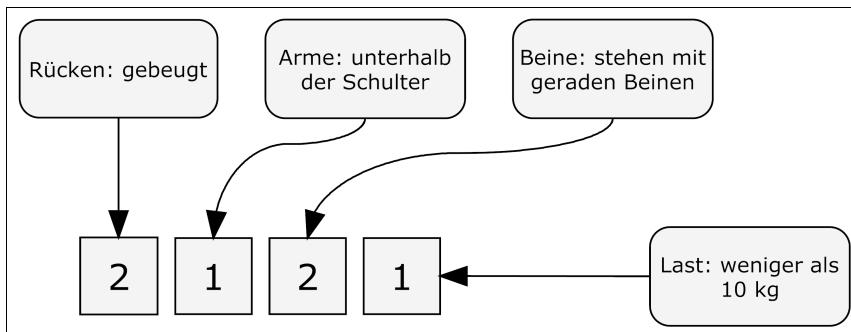


Abbildung 12: Zusammensetzung einer OWAS-Kodierung, nach [27]

Für die Beobachtung der Tätigkeit benötigt ein Beobachter theoretisch nur Papier und einen Stift. In der Praxis empfiehlt sich allerdings die Verwendung einer Videoaufnahme der Tätigkeit. Die Verwendung von Computer-Programmen (etwa WinOWAS [29]) kann zudem die Kodierung erleichtern.

Die Videoaufnahme ist durch die Darstellung des Kontextes der Tätigkeit auch nützlich, um herauszufinden, warum eine Körperhaltung eingenommen wird, die besser vermieden werden sollte.

Zusätzlich kann die Aufzeichnung als Grundlage für Diskussionen mit den Arbeitspersonen dienen, um Vorschläge für eine bessere Gestaltung des Arbeitsplatzes zu erarbeiten.

6 Interessanterweise gibt Karhu in seinen Veröffentlichungen von 1977 [10] und 1981[28] für die Beine eine abweichende Reihenfolge der Kodierung an: Sitzen wird dort mit „7“ kodiert, während das Trainingshandbuch für die OWAS-Methode vom Centre for Occupational Safety in Finnland [27] Sitzen mit „1“ kodiert und alle weiteren Kodierungen daher um eine Ziffer höher sind als bei Karhu. Da alle anderen Veröffentlichungen ebenfalls die Kodierung aus dem Trainingshandbuch verwenden, wird dies in der vorliegenden Arbeit ebenso gehandhabt.

Tabelle 4: Kodierungen der Körperhaltungen für den Rücken in der OWAS-Methode

Kodierung	Bild	Körperhaltung
1		Gerade
2		Gebeugt (nach vorne oder hinten)
3		Gedreht oder zur Seite gebeugt (nach links oder rechts)
4		(Gebeugt und Gedreht) oder (nach vorn und zur Seite gebeugt)

Tabelle 5: Kodierungen der Körperhaltungen für die Arme in der OWAS-Methode

Kodierung	Bild	Körperhaltung
1		Beide Arme unterhalb Schulterhöhe
2		Ein Arm mindestens auf Schulterhöhe oder darüber
3		Beide Arme mindestens auf Schulterhöhe oder darüber

Tabelle 6: Kodierungen der Körperhaltungen für die Beine in der OWAS-Methode

Kodierung	Bild	Körperhaltung
1		Sitzen
2		Stehen, beide Beine gerade
3		Stehen auf einem Bein
4		Stehen oder kauern, beide Knie gebeugt
5		Stehen oder kauern, ein Knie gebeugt
6		Knien auf einem oder beiden Knien
7		Gehen oder bewegen

Tabelle 7: Kodierungen der Körperhaltungen für die Lasten in der OWAS-Methode

Umgangssprachlich wird oft „Gewicht“ synonym für die Summe aller Kräfte verwendet, die auf einen Körper wirken; trotzdem wird „Gewicht“ gern in der Einheit der Masse (Kilogramm) statt der für die Kräfte korrekten Einheit Newton angegeben [30]. Die OWAS-Methode verwendet ebenfalls die Einheit Kilogramm statt Newton. Der entsprechende Wert für die Kraft ist hier zusätzlich mit angegeben.

Kodierung	Last bzw. Gewicht
1	Weniger als 10 kg (entspricht etwa 100 N)
2	Zwischen 10 und 20 kg (etwa 100-200 N)
3	Mehr als 20 kg (ca. 200 N)

3.1.1.1 Zahl der Kodierungen

Louhevaara und Suurnäkki empfehlen ein System von gleichen Intervallen von 30 oder 60 Sekunden; alle 30 (bzw. 60) Sekunden wird also die aktuelle Körperhaltung kodiert. Für eine Tätigkeit von fünf Minuten Dauer ergeben sich damit bei einem Intervall von 30 Sekunden 10 Kodierungen (nämlich bei 0:30, 1:00, 1:30, 2:00, 2:30, 3:00, 3:30, 4:00, 4:30 und 5:00 Minuten).

Abweichend davon ist es prinzipiell aber auch möglich, jede Körperhaltung zusammen mit ihrer Dauer zu kodieren. Dies empfiehlt sich immer dann, wenn die Körperhaltung über lange Zeit (sehr viel länger als das Beobachtungsintervall) unverändert bleibt.

Das von Louhevaara und Suurnäkki empfohlene Verfahren der Intervalle von 30 oder 60 Sekunden ist ein Kompromiss zwischen einem möglichst geringem Aufwand für die Kodierung einerseits und einem möglichst kleinen Fehler andererseits. Der Fehler bleibt dabei klein unter der Annahme, dass eine einmal eingenommene Körperhaltung nur selten verändert wird und zwischen den Beobachtungsintervallen keine Körperhaltungen „übersehen“ werden.

Bei Tätigkeiten mit häufig wechselnden Körperhaltungen muss die Zahl der Kodierungen soweit erhöht werden, dass alle Körperhaltungen noch erfasst werden; das Zeitintervall wird dazu entsprechend reduziert.

3.1.1.2 Fehler

Aus den Kodierungen ermittelt die OWAS-Methode später die Häufigkeit von Haltungskombinationen und den zeitlichen Anteil der einzelnen Körperhaltungen. Durch die Verwendung von festen Intervallen, zu denen jeweils eine Beobachtung vorgenommen wird, ergibt sich ein Fehler, wenn der Wechsel von einer Körperhaltung zu nächsten nicht unmittelbar vor einer Beobachtung erfolgt.

Tabelle 8 illustriert das Problem an einer sehr kurzen Tätigkeit (90 Sekunden), bei nur zwei Körperhaltungen eingenommen werden. Das Ergebnis der Auswertung liefert für die Körperhaltung „1111“ eine Zeit von 30 Sekunden, während für die Körperhaltung „1171“ eine Zeit von 60 Sekunden ermittelt wird. Die korrekten Werte sind für „1111“ eine Zeit von 50 Sekunden und für „1171“ eine Zeit von 40 Sekunden.

Tabelle 8: Fehlerquelle bei äquidistanten Beobachtungsintervallen

Die Tabelle zeigt zwei für eine bestimmte Zeit eingenommene Körperhaltungen (1111 und 1171) während einer Tätigkeit mit einer Dauer von 1:30 Minuten. Zu den mit „X“ gekennzeichneten Zeitpunkten wird eine Beobachtung der aktuellen Körperhaltung vorgenommen.

Zum Zeitpunkt 0:50 wird die Körperhaltung von „1111“ zu „1171“ geändert.

Zeit	Körperhaltung	Beobachtung	Kodierung
0:10	1111		
0:20	1111		
0:30	1111	X	0:00-0:30: 1111
0:40	1111		
0:50	1171		
1:00	1171	X	0:30-1:00: 1171
1:10	1171		
1:20	1171		
1:30	1171	X	1:00-1:30: 1171

Nach Louhevaara und Suurnäkki lässt der sich auf diese Weise ergebene Fehler durch die Zahl der Kodierungen unterhalb einer bestimmten Grenze halten. Tabelle 9 zeigt die Zuordnung der Zahl der Beobachtungen zur Grenze des Fehlers.

Tabelle 9: Zuordnung der Zahl der Beobachtungen zur Grenze des Fehlers. Aus [27].

Beispiel: Bei 200 Beobachtungen liegt der Fehler durch die Verwendung der äquidistanten Intervalle bei höchstens 7%.

Zahl der Beobachtungen	Obergrenze des Fehlers
100	10%
200	7%
300	6%
400	5%

3.1.1.3 Reliabilität

Louhevaara und Suurnäkki geben in [27] auch die Reliabilität der OWAS-Methode an. Dabei handelt es sich um die so genannten „Inter-Observer“ Reliabilität. Sie gibt an, wie hoch die Übereinstimmung der Ergebnisse der OWAS-Methode ist, wenn sie von zwei verschiedenen Beobachtern angewendet wird. Sie liegt bei 93 %, wobei die Haltungen des Rückens am schwersten zu unterscheiden sind. Andere Quellen (Li und Lee [31], Kivi und Mattila [32]) bestätigen diese Größenordnung.

3.1.2 Bewertung der Körperhaltungen

Während der Entwicklung der OWAS-Methode arbeiteten Wissenschaftler und Praktiker mehrerer Disziplinen zusammen. Das Ergebnis war neben dem systematischen Verfahren zur Erfassung der Körperhaltungen deren Zuordnung zu einer so genannten Aktionskategorie [10].

Die OWAS-Methode stützt die Bewertung der beobachteten Körperhaltungen einerseits auf die zeitlichen Anteile der *einzelnen Körperhaltungen* und andererseits auf die Häufigkeit von *Haltungskombinationen*.

Eine einzelne Körperhaltung bezeichnet die *isoliert vom Rest des Körpers* beobachtete Haltung des Rückens, der Arme und der Beine.

Im Gegensatz dazu bezieht sich eine Haltungskombination auf die Kombination der Haltung von Rücken, Armen und Beinen sowie der zu handhabenden Last.

Ergebnis der Bewertung ist in beiden Fällen eine Zuordnung zu einer Aktionskategorie. Die OWAS-Methode verwendet vier Aktionskategorien, die in Tabelle 10 dargestellt sind.

Tabelle 10: Aktionskategorien der OWAS-Methode

Aktionskategorie	Bedeutung
1	Die einzelnen Körperhaltungen und die Haltungskombinationen der verschiedenen Körperteile sind normal und natürlich. Die Belastung des Muskel-Skelett-Systems ist normal und im akzeptablen Rahmen. Die Körperhaltungen müssen nicht geändert werden.
2	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen können einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System haben. Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden.
3	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten so schnell wie möglich ergriffen werden.
4	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen sehr gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten sofort ergriffen werden.

3.1.2.1 Zuordnung einzelner Körperhaltungen zu einer Aktionskategorie

Für die Zuordnung einer einzelnen Körperhaltung zu einer Aktionskategorie muss die Zeit bekannt sein, in der diese Körperhaltung eingenommen wird. Bei der Haltung der Arme wird z. B. die Haltung „2“ („ein Arm mindestens auf Schulterhöhe“) bei einem zeitlichen Anteil an der Gesamttätigkeit von 20 % der Aktionskategorie „1“ („keine Änderungen nötig“) zugeordnet, bei einem Anteil von 50 % der Aktionskategorie „2“ („Änderungen in naher Zukunft nötig“) und bei 90 % der Aktionskategorie „3“ („Änderungen so schnell wie möglich“).

Die Abbildungen 13 bis 15 zeigen die Zuordnung der Kodierungen zu Aktionskategorie für den Rücken, die Arme und die Beine.

Zwischen den Aktionskategorien gibt es Übergänge, die durch die Verwendung von zwei Farben gekennzeichnet sind, so z. B. in Abbildung 13 bei der Kodierung „2“ zwischen 25 und 35 %. Die

Übergänge sollen dafür sorgen, dass eine kleine Änderung eines Zeitanteils bei an der Grenze liegenden Werten nicht zu einem abrupten Wechsel der Aktionskategorie führt. Für in einem Übergang liegenden Wert verwendet etwa Kant u. a. [28] die Notation „1-2“.

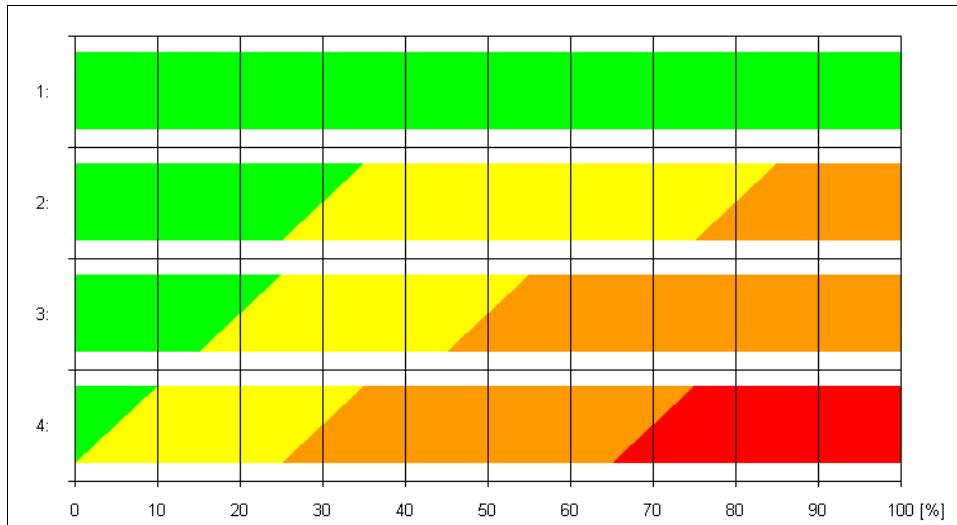


Abbildung 13: Zuordnung der Haltung des Rückens (Y-Achse) zu einer Aktionskategorie (Farbe), abhängig von der Zeit (X-Achse).

Bedeutung der Kodierung für den Rücken (Kurzform): 1: gerade, 2: gebeugt, 3: verdreht oder seitlich gebeugt, 4: 2 und 3 gleichzeitig.

Bedeutung der Farben: Grün: Aktionskategorie 1, Gelb: Aktionskategorie 2, Orange: Aktionskategorie 3, Rot: Aktionskategorie 4.

Für die Arme ist die Zuordnung in Abbildung 14 dargestellt.

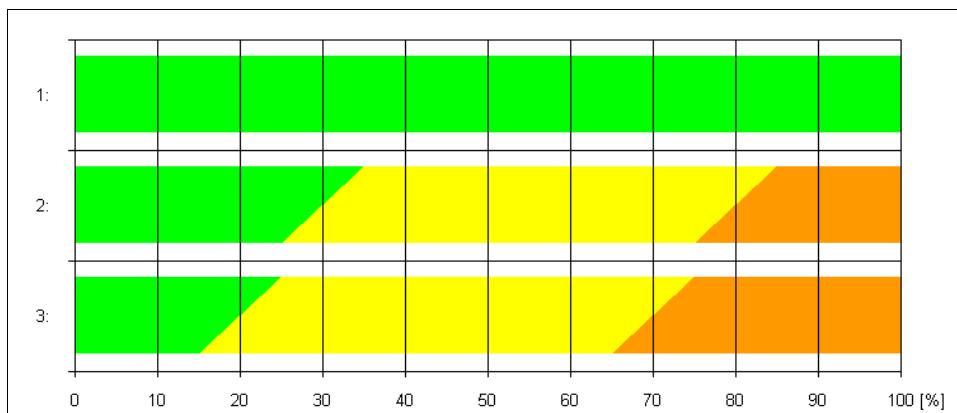


Abbildung 14: Zuordnung der Haltung der Arme (Y-Achse) zu einer Aktionskategorie (Farbe), abhängig von der Zeit (X-Achse).

Bedeutung der Kodierung für die Arme: 1: Arme unterhalb Schulterhöhe, 2: ein Arm auf Schulterhöhe oder höher, 3: beide Arme auf Schulterhöhe oder höher

Bedeutung der Farben: Grün: Aktionskategorie 1, Gelb: Aktionskategorie 2, Orange: Aktionskategorie 3, Rot: Aktionskategorie 4.

Schließlich zeigt Abbildung 15 die Zuordnung der Haltung der Beine zu den Aktionskategorien. Im Gegensatz zu den Zuordnungen für Rücken und Arme gibt es bei den Beinen keine Haltung, die über den ganzen Zeitraum der Tätigkeit eingenommen werden könnte und dabei noch eine Zuordnung zur Aktionskategorie „1“ („Die Körperhaltungen müssen nicht geändert werden“) liefern würde.

Eine Tätigkeit, die zu 100 % im Stehen oder im Sitzen ausgeführt wird, liefert damit immer die Aktionskategorie „2“ („Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden“).

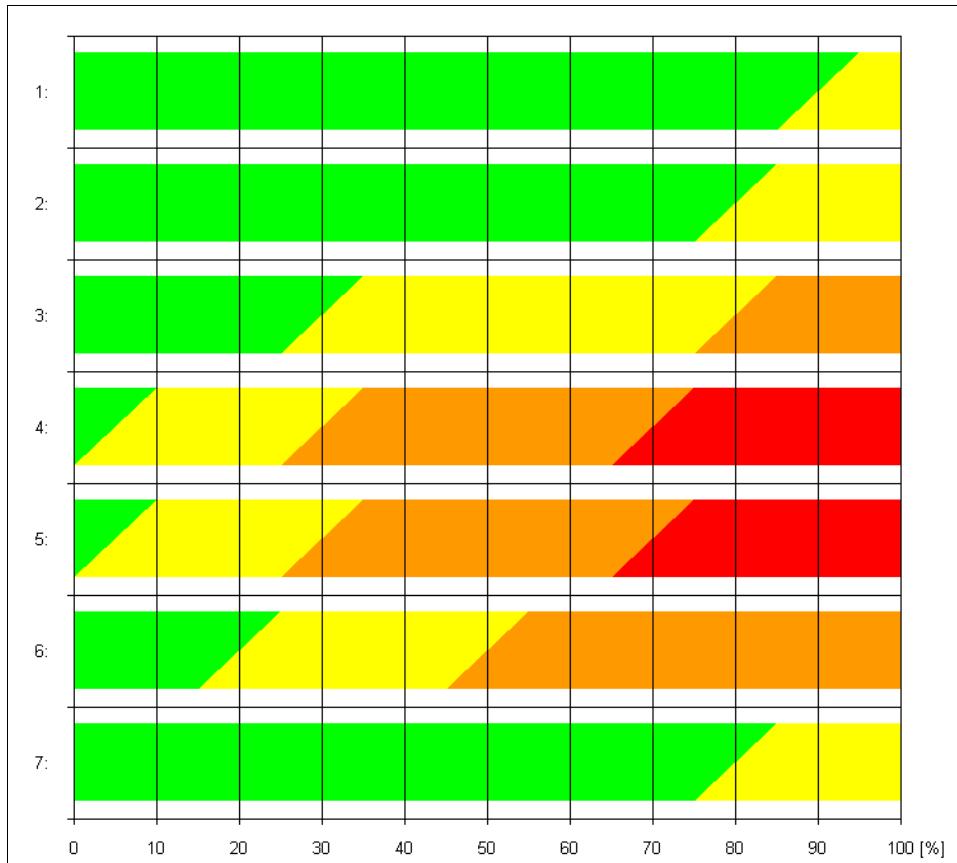


Abbildung 15: Zuordnung der Haltung der Beine (Y-Achse) zu einer Aktionskategorie (Farbe), abhängig von der Zeit (X-Achse).

Bedeutung der Kodierung für die Beine: 1: Sitzen, 2: Stehen, beide Beine gerade, 3: Stehen auf einem Bein, 4: Stehen oder Kauern, beide Knie gebeugt, 5: Stehen oder Kauern, ein Knie gebeugt, 6: Knien auf einem oder beiden Knien, 7: Gehen oder bewegen

Bedeutung der Farben: Grün: Aktionskategorie 1, Gelb: Aktionskategorie 2, Orange: Aktionskategorie 3, Rot: Aktionskategorie 4.

3.1.2.2 Zuordnung einer Haltungskombination zu einer Aktionskategorie

Im Gegensatz zu den einzelnen Körperhaltungen ist die Zuordnung jeder Haltungskombination zu genau einer Aktionskategorie stets festgelegt. Die Zuordnung für jede mögliche OWAS-Kodierung zeigt Abbildung 16.

Daraus folgt, dass im Gegensatz zur Bestimmung der Aktionskategorie bei den einzelnen Körperhaltungen die Zeit keinen Einfluss auf die Zuordnung zu einer Aktionskategorie nimmt.

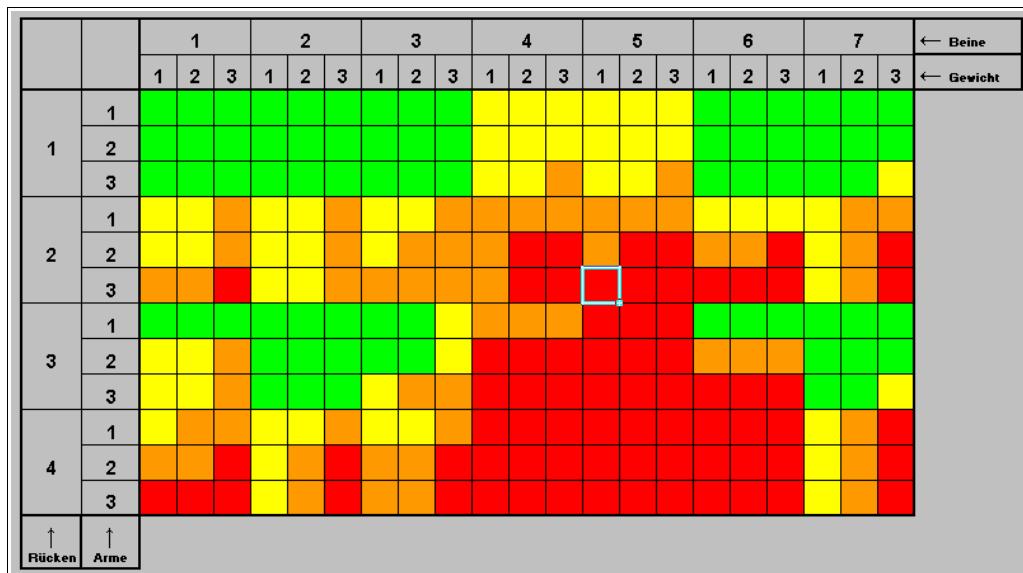


Abbildung 16: Zuordnung von Haltungskombinationen zu einer Aktionskategorie.

Bedeutung der Farben: Grün: Aktionskategorie 1, Gelb: Aktionskategorie 2, Orange: Aktionskategorie 3, Rot: Aktionskategorie 4.

Die markierte Haltung „2351“ ist der Aktionskategorie „4“ zugeordnet.

Grafische Darstellung von Dirk Urban.

3.2 Erweiterung: Lundqvist-Index

Der Belastungsindex L („Lundqvist-Index“ nach Lundqvist, 1988 [33]) verrechnet die prozentualen Anteile der Aktionskategorien (PAA1 bis PAA4) nach der Formel

$$L = PAA1 + 2 PAA2 + 3 PAA3 + 4 PAA4$$

Der Wertebereich von PAA1, PAA2, PAA3 und PAA4 ist jeweils 0 bis 100. Die Summe von

$$PAA1 + PAA2 + PAA3 + PAA4$$

ergibt stets 100.

Für L ergibt sich damit ein Wertebereich von 100 bis 400.

Höhere Werte stehen für eine höhere Belastung; niedrigere Werte für eine geringere Belastung.

Die OWAS-Analyse liefert prozentuale Anteile der Aktionskategorien jeweils für die einzelnen Körperhaltungen (Rücken, Arme, Beine) und für die Haltungskombinationen. Damit lassen sich entsprechend vier Belastungsindizes bilden.

Um nur *einen* Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen zu ermitteln, wird der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine gebildet.

Analog dazu wird schließlich ein Gesamt-Belastungsindex bestimmt, der sich aus dem Mittelwert aus dem Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen und dem Belastungsindex für die Haltungskombinationen errechnet.

Mit der Verwendung des Lundqvist-Index lassen sich die Ergebnisse zweier OWAS-Analysen direkt mit einander vergleichen. L ist allerdings eine Ordinalskala (vgl. Bortz, [34]): Eine Aussage „L=200 ist im Vergleich zu L=100 zweifach belastend“ ist nicht zulässig; die richtige Interpretation ist vielmehr „L=200 ist belastender als L=100“.

4 Prototyp-Entwicklung

4.1 Iterative Software-Entwicklung

Barry W. Boehm beschrieb 1988 das Spiralmodell als ein Vorgehensmodell in der Softwareentwicklung [35]. Ein wesentliches Merkmal des Spiralmodells ist sein iteratives Vorgehen, wobei jede Iteration einen Prototyp erzeugt. Abbildung 17 zeigt eine mögliche Ausprägung des Spiralmodells (für ein sehr komplexes Projekt). Boehm versteht das Spiralmodell als ein Framework, das jeweils den Gegebenheiten eines Projektes anzupassen ist. Damit ist es skalierbar, also für eine große Bandbreite von Komplexität einsetzbar.

Wichtiges Element am Ende jeder Iteration ist die Evaluierung des erzeugten Prototypen und die Planung des weiteren Vorgehens. An dieser Stelle kann auch in einem laufenden Projekt das weitere Vorgehen angepasst werden, um aufgetretenen Problemen oder Risiken für den Projekterfolg zu begegnen.

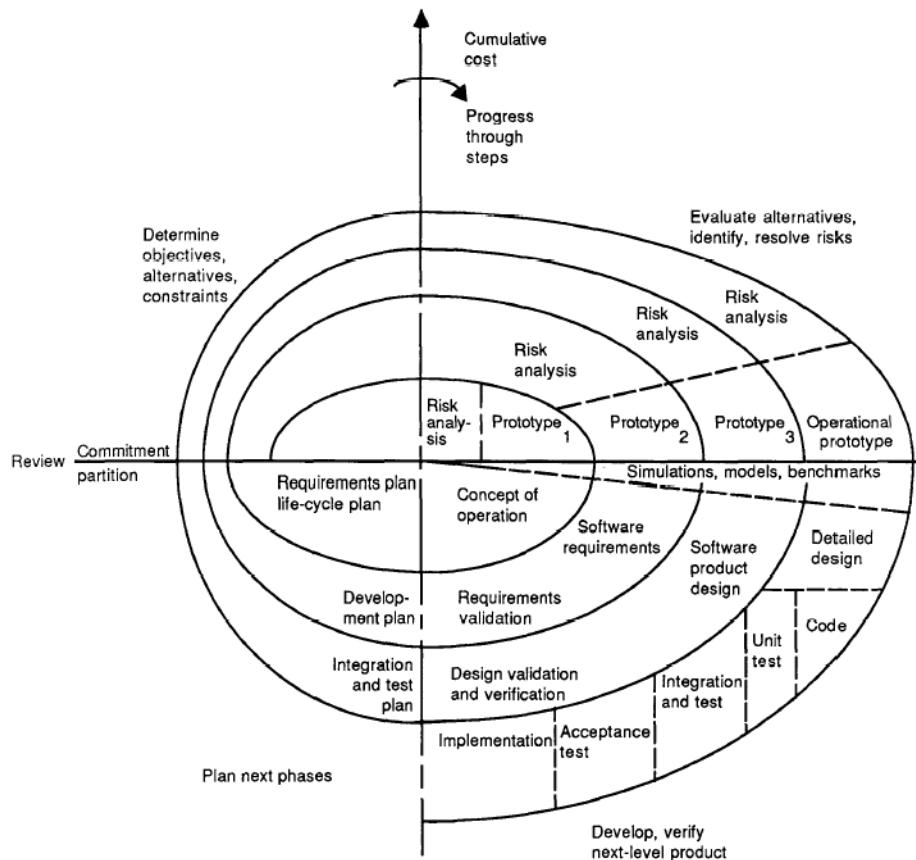


Abbildung 17: Spiralmodell nach Boehm. Aus [35].

Durch das iterative Vorgehen nähert sich das Projekt Schritt für Schritt dem finalen Projektziel an, wobei auch Änderungen des Projektziels noch berücksichtigt werden können. Sichtbares Zeichen für den Projektfortschritt sind die erzeugten Prototypen, deren Funktionalität und Fehlerfreiheit mit jeder Iteration zunehmen. Stellt sich ein Ansatz zur Lösung eines Problems in einer Iteration als unmöglich heraus, kann in der nächsten Iteration ein anderer gewählt werden. Der verlorene Aufwand beschränkt sich dann nur auf eine Iteration. Für das Projekt kritische Lösungsansätze sollen sinnvollerweise bereits in einer frühen Iteration auf ihre Machbarkeit hin untersucht werden: Stellt sich da-

bei heraus, dass das Projekt sich überhaupt nicht realisieren lässt, ist der verlorene Aufwand damit begrenzt.

Schließlich kann durch das iterative Vorgehen bereits mit den Arbeiten am Projekt begonnen werden, obwohl nicht alle Voraussetzungen und Randbedingungen sicher bekannt sind. Ebenso kann auch während des laufenden Projektes auf sich ändernde Bedingungen reagiert werden. Dies ist ein erheblicher Unterschied zum Vorgehen nach dem Wasserfall-Modell, bei dem die Phasen eines Projektes linear auf einander folgen. Stellt sich dabei heraus, dass von falschen Voraussetzungen ausgegangen wurde oder diese sich zwischenzeitlich geändert haben, müssen die Phasen der Entwicklung erneut durchlaufen werden.

In der vorliegenden Arbeit wird für das Projekt „Entwicklung einer Software zur (semi-)automatischen OWAS-Analyse auf Basis von Bewegungsdaten“ ein iteratives Vorgehen gewählt, um das Risiko eines Scheiterns zu minimieren und auf sich ändernde Bedingungen reagieren zu können. Einige wichtige Randbedingungen standen zu Beginn des Projektes noch nicht fest, dazu gehörten unter anderen:

- Ob und wie sich das Motion-Capturing-System in die zu entwickelnde Software einbetten lässt, war zu Projektbeginn unklar.
- Die Art der Speicherung der Bewegungsdaten stand noch nicht fest. Sicher war aber schon, dass die zu speichernden Bewegungsdaten später noch in einem anderen Kontext des Projektes CyberManS benötigt werden würden.

Für die vorliegende Arbeit wird das sehr detaillierte Modell von Boehm angepasst. Dem noch überschaubaren Umfang entsprechend, wird das Modell dabei vereinfacht. Jede Iteration besteht aus vier Schritten:

1. Festlegung der Anforderungen: Was soll mit dem Prototyp n implementiert werden?
2. Implementierung des Prototyps n . Ergebnis dieses Schrittes ist ein lauffähiger Prototyp der Software mit gegenüber dem Prototyp $n-1$ erweiterter Funktionalität (bzw. Korrektheit, wenn im Prototyp $n-1$ Fehler gefunden wurden).
3. Evaluierung des Prototyps n . Wurden die Anforderungen aus Schritt 1 erfüllt?
4. Planung des weiteren Vorgehens: Werden weitere Prototypen erforderlich sein, um das Ziel zu erreichen? Welche Anforderungen sollen vom Prototyp $n+1$, welche von späteren Prototypen erfüllt werden? Gibt es möglicherweise Anforderungen, die gar nicht erreicht werden können?

Zu Beginn des Projektes wird von etwa drei Iterationen ausgegangen. Der erste Prototyp soll zeigen, dass sich das Motion-Capturing-System einbinden lässt und dem Vorhaben, aus den gewonnenen Bewegungsdaten eine ergonomische Analyse zu erstellen, keine prinzipiellen Hindernisse entgegenstehen. Der zweite Prototyp implementiert die weitgehend korrekte ergonomische Analyse und der dritte Prototyp schließlich verbessert die Gebrauchstauglichkeit und Fehlerfreiheit.

4.2 Ziel der Entwicklung

Ziel der Entwicklung ist eine Software, mit der Bewegungsdaten während einer Tätigkeit aufgenommen werden können. In einem zweiten Schritt kann dann aus den Bewegungsdaten semi-automatisch eine ergonomische Analyse erstellt werden. Semi-automatisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass zwar eine vollautomatische Analyse angestrebt wird, jedoch manuelle Korrekturen und Eingaben in kleinem Umfang zulässig sind.

Zu Dokumentationszwecken wird parallel zur Aufnahme der Bewegungsdaten auch eine (digitale) Videoaufnahme angefertigt. Aus dieser ist später der Kontext der Bewegungsdaten ersichtlich. Die

Software kann zu diesem Zweck nach der Aufnahme Bewegungsdaten und Videodaten synchron wiedergeben.

Durch den Einsatz der Software muss sich ein deutlicher zeitlicher Vorteil ergeben. Als Vergleichsmaßstab dient die Verwendung der gewählten Beurteilungsmethode ohne Erfassung der Bewegungsdaten (konventionelle Einsatz der Methode).

Fehler in der Beurteilung durch die Software müssen durch den Nutzer korrigierbar sein. Im Vergleich zum konventionellem Einsatz darf die Software nicht mehr Fehler verursachen, als durch den konventionellen Einsatz bei Beurteilung durch mehrere Personen (Inter-Observer-Reliabilität) zu erwarten wäre.

4.2.1 Verwendete ergonomische Methode

Die Entscheidung für OWAS als zunächst zu verwendender Methode zur ergonomischen Beurteilung der Tätigkeit wurde bereits in einem vorangegangenen Abschnitt dargestellt.

Ziel 1: Der finale Prototyp verwendet OWAS als Methode der ergonomischen Beurteilung.

4.2.2 Szenario

Wie bereits erwähnt, entstand die vorliegenden Arbeit parallel zu den Arbeiten am Forschungsprojekt „CyberManS“. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das Szenario „Montagetätigkeit im Kofferraum“ ausgewählt, da dieses bereits zu einem frühen Zeitpunkt vom Industriepartner Daimler als ergonomisch besonders problematisch identifiziert wurde.

Ziel 2: Der finale Prototyp muss in der Lage sein, die Bewegungsdaten in einem solchen Szenario zu erfassen und aus ihnen eine OWAS-Analyse zu erstellen.

4.2.3 Motion-Capturing-System

Die Entscheidung für das Motion-Capturing-System wurde bereits in einem vorangegangenen Abschnitt erläutert.

Ziel 3: Der finale Prototyp gewinnt seine Bewegungsdaten aus dem Motion-Capturing-System „GypsyGyro18“ von Animazoo.

4.2.4 Dateiformat für die aufgenommenen Daten

Das Animazoo-System liefert, wenn die mitgelieferte Software verwendet wird, die aufgenommenen Bewegungsdaten im BVH-Format. „BVH“ ist ein Akronym für „Biovision Hierarchy“. Biovision ist der Name der Firma, die das Format ursprünglich entwickelt hat. Das Format besteht aus zwei Teilen: Zunächst wird der (hierarchische, daher der Name) Aufbau eines Skelettes beschrieben. Im zweiten Teil stehen dann die eigentlichen Bewegungsdaten. [36] enthält eine kurze Beschreibung des Formates.

Für die Speicherung von Bewegungsdaten, die mit den selbst entwickelten Prototypen erzeugt wurden, könnte nun ebenfalls das BVH-Format verwendet werden, wenn nur die reinen Bewegungsdaten gespeichert werden würden. Da diese allerdings mit weiteren Daten (z. B. Videodaten und Zeitinformationen) verbunden werden sollen, scheidet diese Möglichkeit aus. Eine Erweiterung des BVH-Formates ist ebenfalls nicht sinnvoll, da dieses neue Format nur von passend dazu entwickelten Programmen verarbeitet werden könnte. Existierende Programme, die BVH-Daten einlesen können, wären mit dem neuen Format nicht kompatibel.

Als Ausweg bietet sich eine Speicherung der Daten in der Extensible Markup Language (XML) an. XML ist eine Auszeichnungssprache zur Darstellung hierarchisch strukturierter Daten in Form von Textdateien [37]. Sie ist durch die vom World Wide Web Consortium (W3C) herausgegebene XML-Spezifikation [38] definiert. Bei geschickter Gestaltung des inneren Aufbaus der XML-Datei und der sie erzeugenden bzw. verarbeitenden Programme lässt sich eine solche XML-Datei praktisch unbegrenzt um weitere Elemente erweitern. Ein solches XML-Format wird zusammen mit den Prototypen entwickelt und dient dabei auch als Schnittstelle zum „CyberManS-Software-Interface“.

Ziel 4: Der finale Prototyp speichert die Bewegungsdaten einer Datei im XML-Format.

4.2.5 Termin der Fertigstellung

Bedingt durch die Einbettung in das Forschungsprojekt CyberManS gibt es eine zeitliche Begrenzung für die Fertigstellung.

Ziel 5: Der finale Prototyp muss bis Ende März 2008 fertig gestellt und mit positivem Ergebnis evaluiert worden sein.

4.3 Anforderungen an den Prototyp 1

Die folgende Abschnitte stellen jeweils die einzelnen Iterationen der Entwicklung dar. Sie sind alle in die Punkte „Anforderungen“, „Implementierung“, „Evaluation“ und „Weiteres Vorgehen“ gegliedert. Eine Ausnahme ist der Prototyp 4. Dort wird neben der Programmstruktur des finalen Prototypen auch dargestellt, ob alle oben definierten Ziel erreicht wurden.

Da es keinen „Prototyp 0“ gibt, in dessen Abschnitt „Weiteres Vorgehen“ die Anforderungen an den Prototyp 1 dargestellt werden könnten, folgen diese hier:

Der Prototyp 1 beherrscht das synchrone Aufnehmen von Bewegungsdaten und Videodaten sowie das anschließende synchrone Wiedergeben der Aufnahme mit Pausefunktion und Einzelbild-Darstellung. Die aufgenommenen Bewegungsdaten werden zusammen mit allen weiteren erhobenen oder abgeleiteten Daten in einer XML-Datei gespeichert. Wegen des zu erwartenden Umfangs der Videodaten (mehrere MByte pro Aufnahme) und der Möglichkeit, diese mit Standard-Software getrennt von den Bewegungsdaten anzuzeigen, werden die Videodaten getrennt von den Bewegungsdaten in einer separaten Datei gespeichert.

Der Prototyp 1 kann außerdem aus den Bewegungsdaten OWAS-Kodierungen ableiten und diese synchron zu Bewegungsdaten und Videodaten anzeigen.

Während der Evaluierung des Prototyp 1 werden von den 84 möglichen OWAS-Kodierungen für die Körperhaltung Aufnahmen erstellt (es gibt vier mögliche Kodierungen für den Rücken, drei für die Arme und sieben für die Beine; die Gewichtskodierung wird nicht berücksichtigt).

5 Prototyp 1

5.1 Anforderungen

Dieser Abschnitt beschreibt die Anforderungen, die an die Implementierung des Prototyp 1 gestellt werden. Tabelle 11 gibt einen Überblick.

Tabelle 11: Anforderungen an den Prototyp 1

Nr.	Text
1	Bewegungsdaten und Videodaten können gleichzeitig aufgenommen werden. Die für die spätere Wiedergabe erforderlichen Daten für die Synchronisierung werden gespeichert.
2	Die Bewegungsdaten werden in einer ersten Version des XML-Formates gespeichert.
3	Aus den aufgezeichneten Bewegungsdaten können OWAS-Kodierungen abgeleitet werden.

Nachfolgend werden die Anforderungen erläutert.

Hinweis: Bezeichner, die sich auf den Quelltext beziehen, sind im Folgenden besonders ausgewiesen.

5.2 Implementierung

5.2.1 Videodaten

Für die Videodaten gibt es ein Fenster mit einer Vorschau der aktuell von der Kamera aufgenommenen Szene (Unit `FVideoRecorder`). `FVideoRecorder` enthält auch die Logik für die Aufzeichnung der Videodaten und für die Verarbeitung der Informationen für die Synchronisierung.



Abbildung 18: Screenshot des Fensters mit der Ansicht der von der Kamera aufgenommenen Szene.

Bei einer Videoaufzeichnung entsteht eine große Datenmenge, die in Echtzeit verarbeitet werden muss. Bei einer Bildgröße von 640x480 Punkten und einer 24-Bit-Darstellung (8 Bit je Farbkanal) werden pro Bild 921.600 Bytes erzeugt. Bei einer Framerate von 15 Bildern pro Sekunde ergibt sich damit ein Datenstrom von mindestens 13,5 MByte/s (das sind die reinen Nutzdaten). Eine solche

Bandbreite erzeugt einerseits sehr große Dateien (pro Minute 829 MByte) und belastet andererseits den Rechner, spezielle die Festplatte sehr stark. Kann der Rechner die Anforderungen nicht erfüllen, gehen Videodaten verloren („verlorene Frames“). Als Abhilfe wird der Datenstrom noch vor dem Speichern komprimiert, so dass Dateigröße und Belastung der Festplatte deutlich reduziert werden. Für die Komprimierung ist ein so genannter Codec verantwortlich; Windows stellt mehrere Codecs zur Verfügung. Für die Komprimierung wird Rechenzeit des Prozessors (CPU) benötigt. Eine zu hohe Belastung der CPU führt dazu, dass andere Prozesse (z. B. der für die Aufnahme der Bewegungsdaten verantwortliche Prozess) ihre Aufgaben nicht mehr rechtzeitig erfüllen.

Während der Implementierung zeigte sich, dass der für die Aufzeichnung gewählte Codec entscheidenden Einfluss auf die Zahl der verlorenen Frames, auf die Belastung der CPU und auf die Größe der Datei mit der Videoaufnahme hat. Mit dem Codec „Intel Indeo 5.1“ konnten gute Ergebnisse erreicht werden, so dass keine Frames verloren gehen. Die für die Komprimierung nötige Rechenzeit lässt die Auslastung der CPU nur um wenige Prozent ansteigen. Eine 298 Sekunden lange Datei hat mit diesem Codec eine Größe von 73,3 MByte (rund 252 kByte/s).

Die Videodaten werden vom „Video for Windows“ Subsystem in einer (vorher anzugebende) Datei gespeichert. Um Verzögerungen und in der Folge verlorene Frames zu vermeiden, muss diese Datei auf einer lokalen Festplatte liegen (nicht etwa auf einem Netzlaufwerk, denn dort kommt noch die Verzögerung durch das Netzwerk und den möglichen Zugriff anderer Benutzer auf den Server hinzu).

5.2.2 Bewegungsdaten

Die Aufzeichnung der Bewegungsdaten wird von der Unit `FMocapRecorder` gesteuert. Analog zum Fenster mit der Ansicht der Videoaufzeichnung zeigt `FMocapRecorder` einen Avatar mit den aktuellen Bewegungsdaten an. Abbildung 19 zeigt einen Screenshot des Fensters.

`FMocapRecorder` kommuniziert mit der Schnittstelle zum Motion-Capturing-System „GypsyGyro18“. Die Schnittstelle übernimmt auch das Sammeln der Bewegungsdaten während der Aufnahme und das anschließende Speichern. Zum Speichern verwendet die Schnittstelle das BVH-Format. Daraus folgt, dass die Bewegungsdaten nach der Aufnahme noch in das gewünschte Format umgewandelt werden müssen.

5.2.3 Synchronisierung

Während der Synchronisierung wird sowohl jedem aufgenommenen Frame der Bewegungsdaten als auch jedem Frame der Videodaten eine eindeutige Nummer zugewiesen. Die Klasse `TSynchronizer` aus der Unit `USynchronizer` ordnet jedem neuen eingehenden Frame einer Quelle (egal ob Bewegungs- oder Videodaten) die jeweils aktuelle Nummer der anderen Quelle zu. So ergeben sich Nummernpaare, über die später (beim Abspielen der Daten) der zu einem bestimmten Frame der Videodaten gehörende Frame der Bewegungsdaten bestimmt und angezeigt werden kann.

Die beiden Units `FVideoRecorder` und `FMocapRecorder` melden neu eingegangene Frames jeweils dem Hauptfenster (`FMocapRecorderMain`), das dann die Synchronisierung veranlasst.

Nach dem Ende der Aufzeichnung müssen die für die Synchronisierung gesammelten Daten noch gespeichert werden. Hierfür genügt zunächst eine einfache Textdatei.

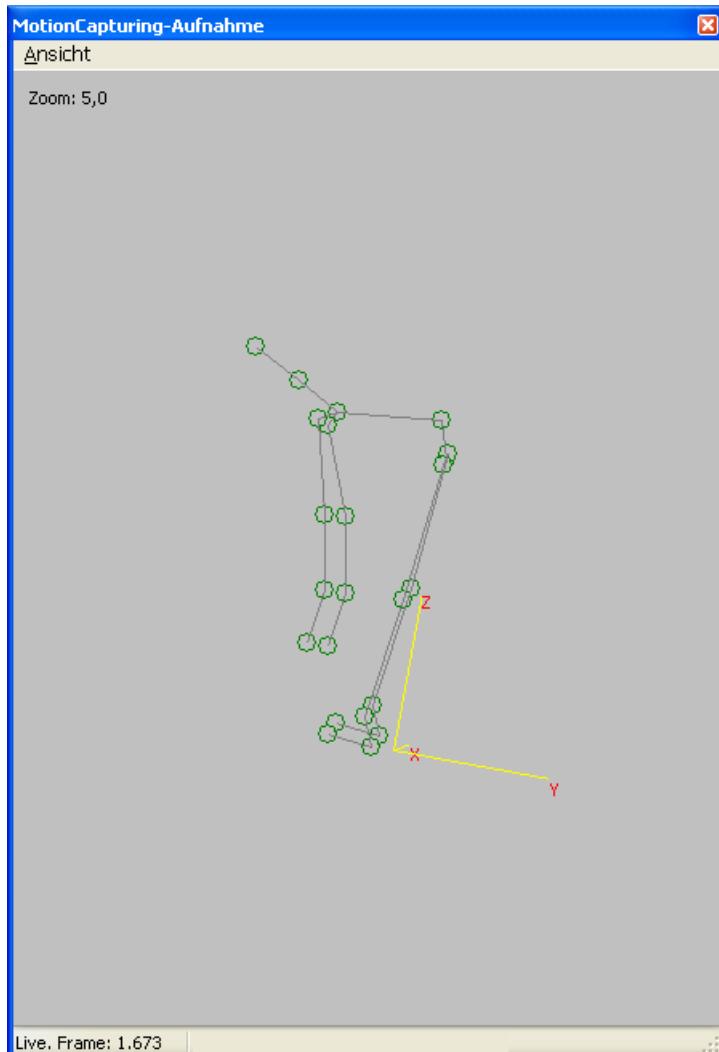


Abbildung 19: Screenshot des Fensters mit der Ansicht der aufgenommenen Bewegungsdaten⁷.

5.2.4 Nachbereitung

Direkt nach dem Ende der Aufzeichnung liegen die Synchronisierungsdaten im Hauptspeicher und die Bewegungsdaten im BVH-Format in einer Datei auf der lokalen Festplatte (genauer: im temporären Verzeichnis des aktuellen Benutzers). Dort steht auch die Datei mit den aufgezeichneten Videodaten. Die Nachbereitung fasst die Bewegungsdaten und die Synchronisierungsdaten in der zu erzeugenden XML-Datei zusammen und speichert sie zusammen mit einer Kopie der Videodaten am gewünschten Ort.

5.2.5 Speicherung im XML-Format

Im Zusammenhang mit der späteren Einbettung der aufgenommenen Daten im Forschungsprojekt CyberManS wurde eine Speicherung der Daten als XML-Datei beschlossen, damit die Bewegungsdaten auch von anderen Programmen verwendet werden können.

Es wurde daher ein XML-Format entwickelt, in dem die Bewegungsdaten gespeichert werden. Dieses Format ist offen für Erweiterungen, die im Laufe der Entwicklung möglicherweise noch ergänzt werden müssen. So werden die Daten der Synchronisierung ebenfalls innerhalb des Formats abgelegt.

⁷ Eine Erläuterung der Achsen findet sich im Abschnitt „Das Animazoo-Skelett-Modell“ auf Seite 47.

Aus Performance-Gründen erzeugt die Routine `FMocapRecorderMain.XmlDateiErzeugen` die XML-Datei direkt, ohne Rückgriff auf die XML-Hilfsmittel des Betriebssystems, denn während einer Aufzeichnung kommt eine erhebliche Datenmenge zusammen. (Für jeden Frame der Bewegungsdaten werden im XML-Format ca. 645 Bytes benötigt. Bei 45 Minuten Aufzeichnungsdauer und 60 Hz ergeben sich daraus für die reinen Bewegungsdaten rund 102 MByte.)

5.2.6 Ableitung der OWAS-Kodierungen

Durch die unerwarteten Probleme bei der Aufzeichnung konnte die Ableitung der OWAS-Kodierungen aus den Bewegungsdaten noch nicht implementiert werden.

5.3 Evaluierung

Die synchrone Aufzeichnung von Bewegungsdaten und Videodaten gelang prinzipiell. Allerdings kam es noch oft zu Programmabstürzen und fehlgeschlagenen Aufzeichnungen. Die Ursache war zunächst noch unklar, die Abstürze passieren aber während der Nachbereitung, also nach dem Ende der eigentlichen Aufzeichnung. Die aufgezeichneten Daten gingen dabei verloren.

Die Speicherung der Bewegungsdaten im XML-Format gelang korrekt. Neben den eigentlichen Bewegungsdaten sind auch die Daten der Synchronisierung mit in der XML-Datei gespeichert.

Die Videodaten werden aus Platzgründen (ca. Faktor sieben größer als die Bewegungsdaten) in einer eigenen Datei gespeichert.

5.4 Weiteres Vorgehen

Der nächste Prototyp muss Bewegungsdaten und Videodaten störungsfrei und synchron aufnehmen und speichern können.

Die korrekte Ableitung der OWAS-Kodierungen aus den aufgenommenen Bewegungsdaten ist kritisch für die anschließende OWAS-Analyse, da diese auf einer Zuordnung von OWAS-Kodierungen und deren zeitlichen Anteil an der auszuwertenden Tätigkeit beruhen. Gleichzeitig ist die Ableitung nicht trivial zu implementieren; die Wahrscheinlichkeit, dass die korrekte Ableitung bereits im nächsten Prototyp gelingt, ist also gering.

Daher steht für den Prototyp 2 die korrekte Ableitung der OWAS-Kodierungen aus den aufgenommenen Bewegungsdaten an erster Stelle. Die Erstellung der OWAS-Analyse aus den abgeleiteten Körperhaltungen und die Zuordnung von Aktionskategorien kann nötigenfalls auf den übernächsten Prototyp (3) verschoben werden. Der finale Prototyp würde dann ebenfalls um eine Iteration verschoben werden (auf dann Prototyp 4). Für Prototyp 2 genügt eine Ausgabe der ermittelten OWAS-Kodierung.

6 Prototyp 2

6.1 Anforderungen

Dieser Abschnitt beschreibt die Anforderungen, die an die Implementierung des Prototyp 2 gestellt werden. Nach den in der Evaluierung des Prototyp 1 beschriebenen Problemen behandelt der Prototyp 2 nur zwei Punkte:

Tabelle 12: Anforderungen an den Prototyp 2

Nr.	Text
1	Stabil einsetzbare Implementierung für die Aufzeichnung von Bewegungs- und Videodaten.
2	Aus den aufgezeichneten Bewegungsdaten können OWAS-Kodierungen abgeleitet werden.

Nachfolgend werden die Anforderungen erläutert.

6.1.1 Stabile Implementierung für die Aufzeichnung

Die eigentliche Aufzeichnung läuft schon in Prototyp 1 stabil. Während der Nachbereitung hingegen kommt es zu Programmabstürzen, wobei dann auch die aufgezeichneten Daten verloren gehen. Der Verlust der Daten muss unbedingt vermieden werden.

Ziel ist es, dass eine größere Anzahl (einige Dutzend) von Aufnahmen erstellt werden kann. Diese Aufnahmen werden zur Erfüllung der im nächsten Abschnitt beschriebenen Anforderung benötigt.

6.1.2 OWAS-Kodierung aus Bewegungsdaten ableiten

Eine OWAS-Analyse setzt auf einer systematischen Kodierung der beobachteten Körperhaltungen auf. Liegt die Kodierung vor, ist die Erstellung der eigentlichen OWAS-Analyse recht einfach zu implementieren.

Im Prototyp 2 muss eine erste Version der Erkennung der Körperhaltung und ihrer anschließenden Zuordnung zu einer OWAS-Kodierung implementiert werden.

Außerdem muss mit Prototyp 2 gezeigt werden, dass der geplante Ablauf „Aufzeichnung“–„Nachbereitung“–„Erkennung der Körperhaltung“ prinzipiell tragfähig ist. „Prinzipiell“ bedeutet hier, dass

- positive Beispiele für eine richtige Erkennung produziert werden können und sich
- keine Hinweise auf eine Unmöglichkeit des Vorhabens ergeben dürfen.

Fehler bei der Erkennung der Körperhaltung dürfen im Prototyp 2 noch auftreten; diese müssen dann in späteren Prototypen beseitigt werden.

6.2 Implementierung

6.2.1 Stabile Implementierung für die Aufzeichnung

Prototyp 1 enthält nur Funktionen für die Aufzeichnung, nicht aber für die spätere Auswertung, also die noch zu implementierende OWAS-Analyse. Die für die Aufzeichnung benötigten Funktionen

werden bei der Analyse ohnehin nicht benötigt; dies gilt auch umgekehrt, da während einer laufenden Aufzeichnung ohnehin keine OWAS-Analyse angefertigt werden kann.

Aufnahme und Auswertung werden daher in zwei eigenständigen Programmen implementiert. Das Auswerteprogramm (genannt „OwasEvaluator“) verwendet dabei die von der Aufnahme erzeugten Dateien, um die OWAS-Analyse zu erstellen.

Intensivere Untersuchungen der Programmabstürze in Prototyp 1 ließen vermuten, dass die Abstürze ein Seiteneffekt einer nicht ganz fehlerfrei implementierten Kommunikation mit der Animazoo-Schnittstelle sind. Sie treten allerdings erst nach dem Ende der Kommunikation mit der Schnittstelle im Zusammenhang mit dem erhöhten Speicherplatzbedarf durch die Nachbereitung auf. Wurden die Algorithmen der Nachbereitung ohne vorherige Kommunikation mit der Animazoo-Schnittstelle ausgeführt, trat nie ein Problem auf.

Um das Problem der instabilen Nachbereitung anzugehen, werden im Prototyp 2 die eigentliche Aufzeichnung und die Nachbereitung daher ebenfalls in zwei eigenständige Programme geteilt. Damit entsteht für die Aufzeichnung das Programm MocapRecorder, für die Nachbereitung das Programm MocapNachbereitung und für die Auswertung das Programm OwasEvaluator.

MocapRecorder erzeugt direkt nach der eigentlichen Aufzeichnung eine Datei in einem Zwischenformat, das die Daten der Synchronisierung enthält. Die Bewegungsdaten stehen in der über die Schnittstelle zum Animazoo-System erzeugten Datei im BVH-Format; die Datei mit den Videodaten ist nach der Aufzeichnung bereits vollständig gespeichert und muss nicht mehr verändert werden.

MocapNachbereitung übernimmt nun die Aufgabe, die von MocapRecorder erzeugten Bewegungsdaten mit den Daten der Synchronisierung zu kombinieren und daraus die Datei im XML-Format zu generieren, die dann von OwasEvaluator ausgewertet werden kann.

6.2.2 OWAS-Kodierung aus Bewegungsdaten ableiten

Dieser Abschnitt erläutert einige für die Implementierung des Prototypen wichtige Hintergründe und Design-Entscheidungen. Dazu gehört die Beschreibung des Algorithmus, der aus den während der Aufzeichnung gewonnenen Bewegungsdaten die zugehörige OWAS-Kodierung ableitet. Da der Algorithmus auf dem vom Animazoo-System verwendeten Skelett-Modell aufsetzt, wird dieses vorab beschrieben.

6.2.2.1 Das Animazoo-Skelett-Modell

Das Animazoo-Skelett-Modell ist eine Vereinfachung eines menschlichen Skelettes. Die Zahl der Knochen und Gelenke orientiert sich an der Zahl der verwendeten Gyroskope (18). Die Hüfte ist dabei der höchste Punkt der Skelett-Hierarchie; dort ist das zentrale Gyroskop („Root-Sensor“) angebracht.

Das Skelett-Modell besteht aus Knochen und Gelenken. Abbildung 20 zeigt die Lage und den Namen der verwendeten Knoten (Nodes): Die Kreise kennzeichnen jeweils einen Knoten; dessen Name steht rechts bzw. links daneben.

Aus der Grafik ist der hierarchische Aufbau des Skelett-Modells zu erkennen. Ursprung (Root) des Systems ist der Knoten `Hips`. Mit diesem sind die Knoten `Chest`, `RightHip` und `LeftHip` verbunden; mit `LeftHip` wiederum der Knoten `LeftKnee`, usw. Insgesamt gibt es 25 Knoten; diese sind in der Unit `UCobraTools` definiert (`GyroNodeHips`, `GyroNodeLeftHip`, usw.).

Die Verbindung zwischen zwei Knoten wird Knochen genannt. In der Abbildung 21 ist jeder Knochen durch einen Strich dargestellt. Das Skelett-Modell besteht aus 24 Knochen.

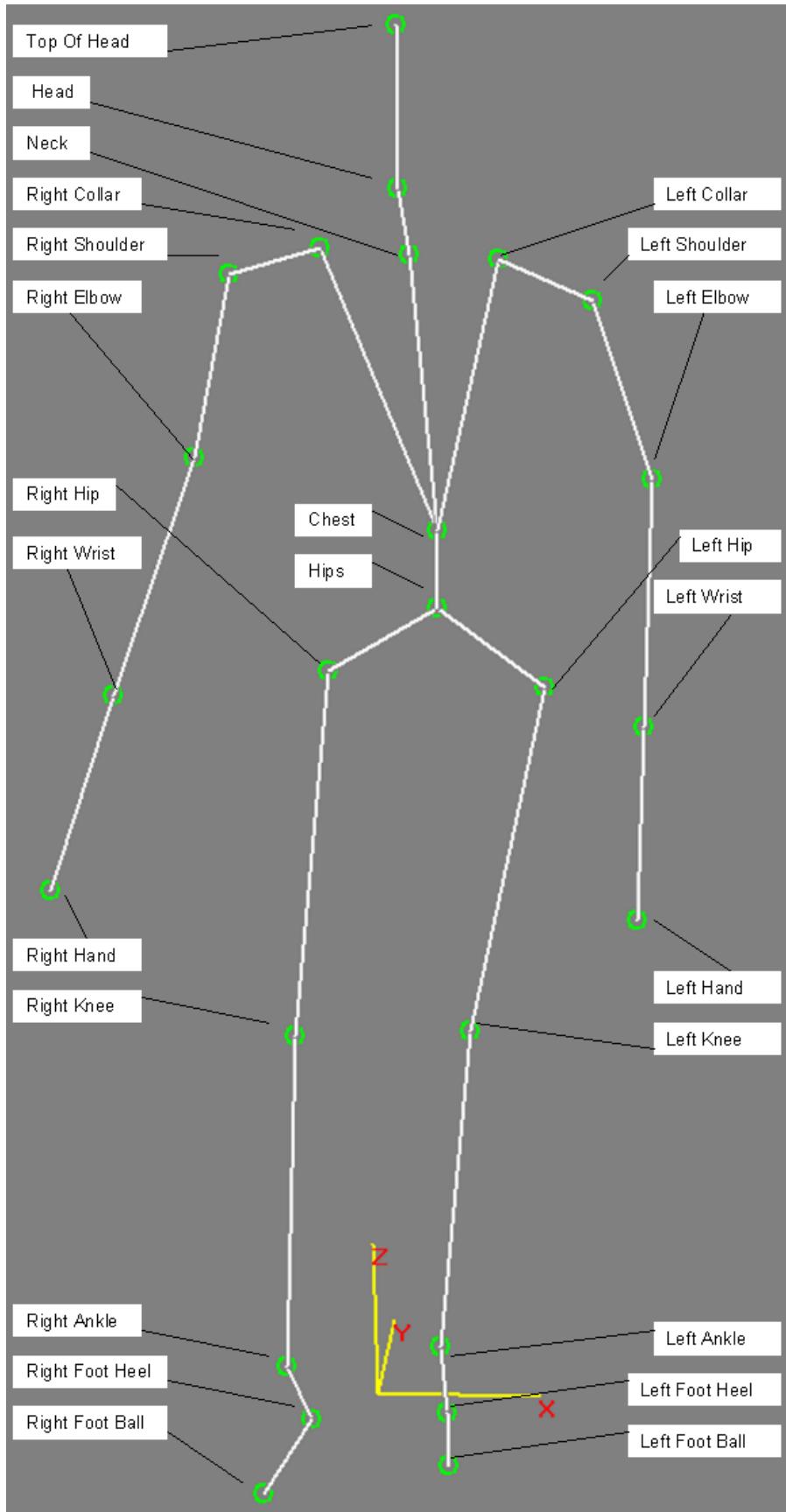


Abbildung 20: Namen der Knoten im Animazoo-Skelett-Modell. Screenshot aus dem Programm „CobraView.exe“ bei der Darstellung von Frame 156 der Datei „StandKneelUpWalk.bvh“. Die Seiten (z. B. „Left Knee“ oder „Right Ankle“) sind jeweils aus Sicht der aufgenommenen Person bezeichnet.

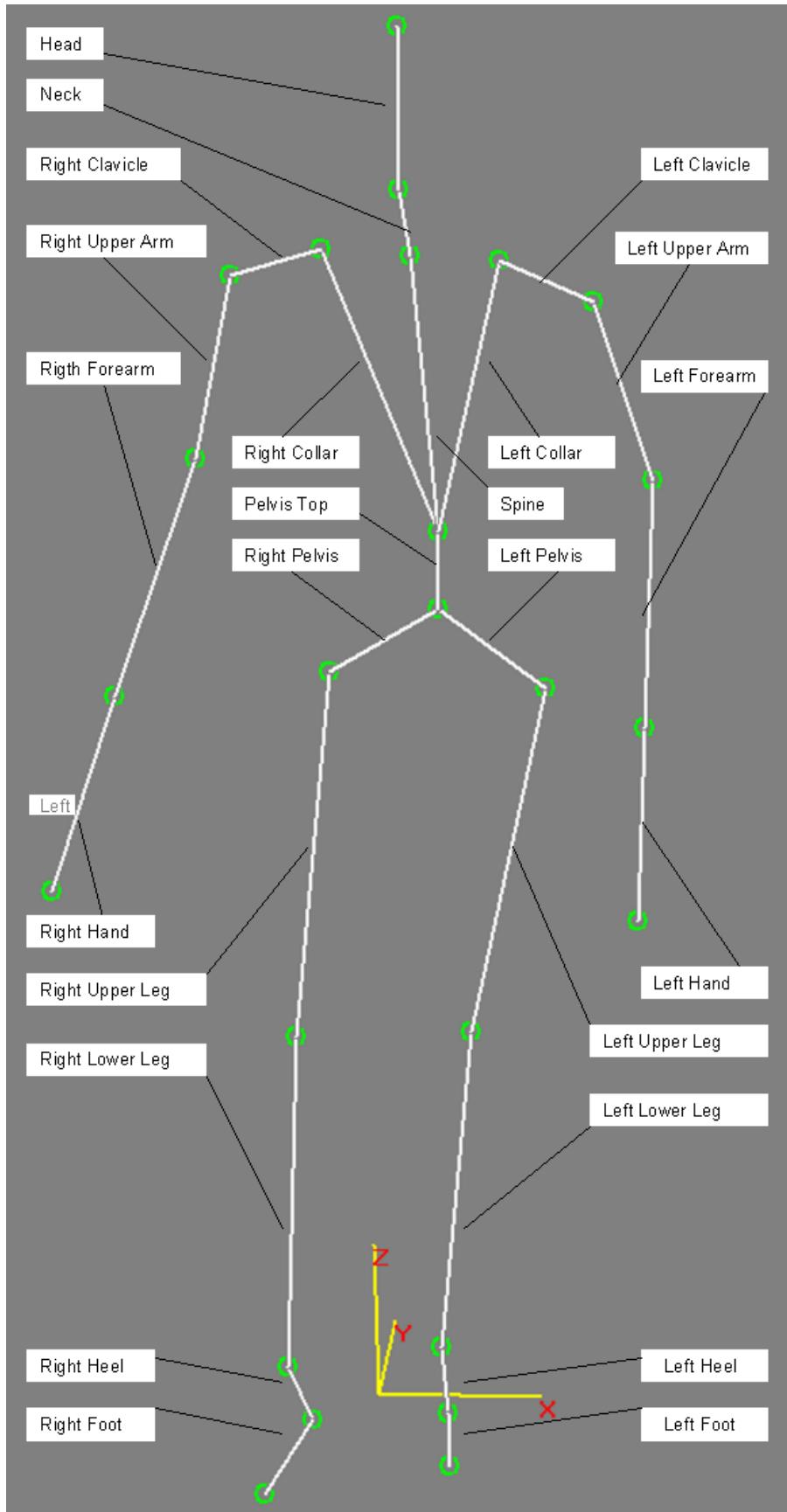


Abbildung 21: Namen der Knochen im Animazoo-Skelett-Modell.

Bearbeiteter Screenshot aus dem Programm „CobraView.exe“ bei der Darstellung von Frame 156 der Datei „StandKneelUpWalk.bvh“. Wie in Abbildung 20 sind die Seiten (z. B. „Right Lower Leg“ oder „Left Hand“) jeweils aus Sicht der aufgenommenen Person bezeichnet.

Die Position der Knoten im Animazoo-Skelett-System wird in einem kartesischen Koordinatensystem mit den drei Elementen X, Y und Z beschrieben. Das Koordinatensystem ist in den Abbildungen 20 und 21 dargestellt. Die Längeneinheit der Koordinaten, die das Animazoo-SDK liefert, ist Zoll.

Die Z-Koordinate liefert im verwendeten Koordinatensystem die Höhe, während X und Y die Position in der Fläche darstellen. Steht der Körper in der so genannten Nullposition (Abbildung 22), dann ist die Blickrichtung parallel der Y-Achse. Zur Seite um 90° ausgestreckte Arme (die Körperhaltung erinnert an ein großes „T“) zeigen parallel zur X-Achse (Abbildung 23). Anders ausgedrückt spannen in der Nullposition X- und Y-Achse die Transversalebene auf, Y- und Z-Achse die Sagittalebene und X- und Z-Achse schließlich die Frontalebene. Die Nullposition wird stets zu Beginn der Aufzeichnung eingenommen, um das Animazoo-System zu kalibrieren.

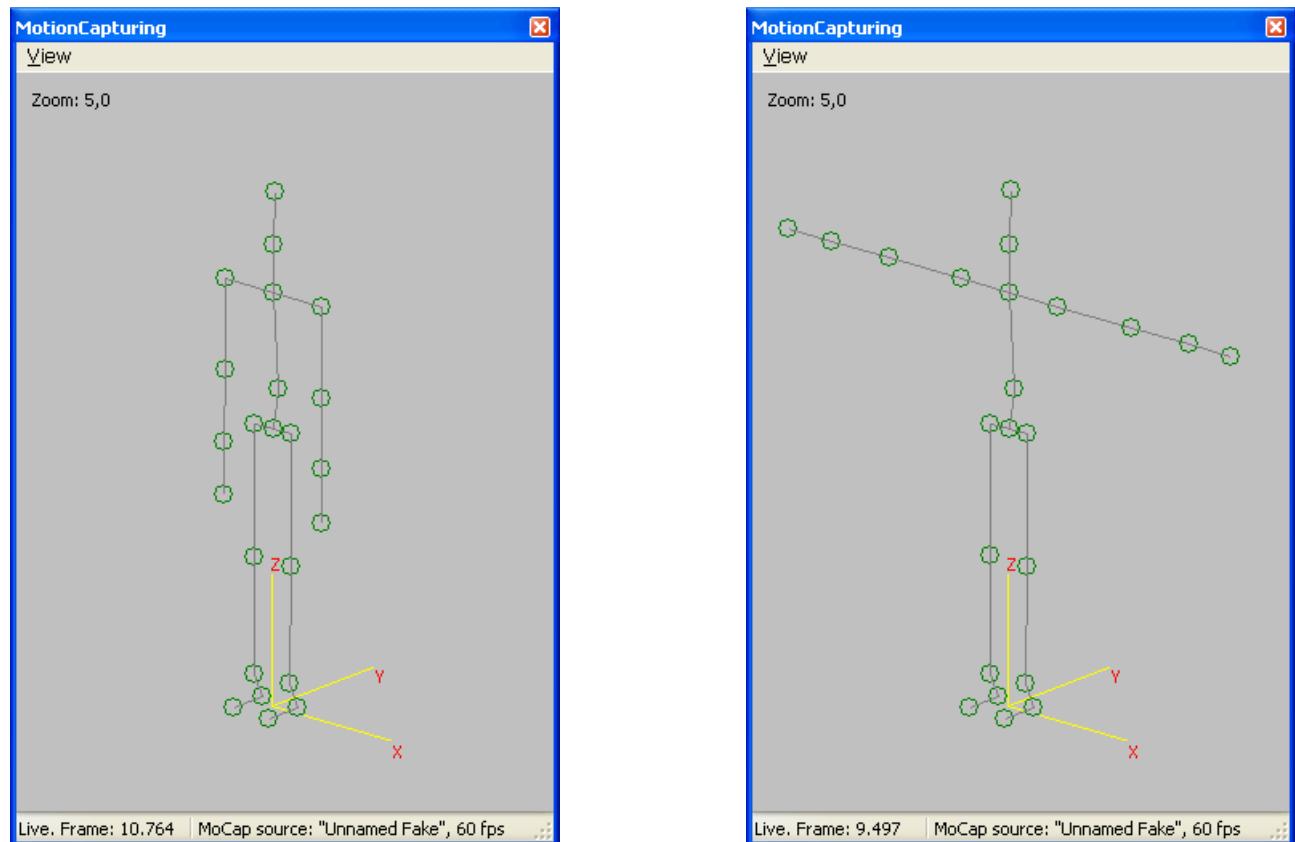


Abbildung 22 (links): Haltung und Ausrichtung des Körpers in Nullposition.

Abbildung 23 (rechts): Haltung und Ausrichtung des Körpers in Nullposition, Arme seitlich ausgestreckt.

6.2.2.2 Ableitung eines OWAS-Codes aus den Frame-Daten

Ein erster Ansatz verwendet das Prinzip, dass sich die Orientierung eines Knochens aus der Orientierung des in der Hierarchie oberhalb stehenden Knochens zuzüglich einer die Abweichung angebenden Winkels ergibt. Das wird genutzt, indem den Werten der Winkel relativ zueinander Körperhaltungen zugeordnet werden.

6.2.2.3 Rücken

Für die Haltung des Rückens sieht OWAS die in Tabelle 13 gezeigten Möglichkeiten vor [27].

Tabelle 13: Mögliche OWAS-Kodierung für den Rücken

Ziffer	Bedeutung
1	gerade
2	vorwärts oder rückwärts gebeugt
3	verdreht oder seitwärts gebeugt
4	2 und 3 sind gleichzeitig erfüllt

Die Methode `FrameToOwasBack` bestimmt aus einem übergebenen Frame die Klassifikation für den Rücken.

Der Rücken wird im Animazoo-Skelettmodell durch die Animazoo-Knochen `Hips` und `Chest` dargestellt.

Eine Beugung (vorwärts oder rückwärts) wird angenommen, wenn die Summe der Winkel `GyroChannelHipsX` und `GyroChannelChestX` größer gleich 15° bzw. kleiner gleich -15° ist.

Eine Verdrehung wird angenommen, wenn die Summe der Winkel `GyroChannelHipsZ` und `GyroChannelChestZ` größer gleich 15° bzw. kleiner gleich -15° ist.

Eine seitliche Beugung (nach links oder rechts) wird angenommen, wenn die Summe der Winkel `GyroChannelHipsY` und `GyroChannelChestY` größer gleich 15° bzw. kleiner gleich -15° ist.

Abschließend wird zugeordnet:

1: wenn weder Beugung noch Verdrehung festgestellt wurden,

2: wenn eine Beugung des Rückens nach vorne oder hinten, nicht jedoch eine Beugung nach links oder rechts, und auch keine Verdrehung festgestellt wurde,

3: wenn eine Beugung nach links oder rechts oder eine Verdrehung festgestellt wurde, nicht jedoch eine Beugung nach vorne oder hinten und

4: wenn eine Beugung nach links oder rechts oder eine Verdrehung festgestellt wurde, gleichzeitig jedoch auch eine Beugung nach vorne oder hinten vorliegt.

6.2.2.4 Arme

Für die Haltung des Arme sieht OWAS folgende Möglichkeiten vor [27]:

Tabelle 14: Mögliche OWAS-Kodierung für die Arme

Ziffer	Bedeutung
1	Beide Arme unterhalb Schulterhöhe
2	Ein Arm ist auf oder oberhalb der Schulterhöhe
3	Beide Arme sind auf oder oberhalb der Schulterhöhe

Die Methode `FrameToOwasArms` bestimmt aus einem übergebenen Frame die Klassifikation für die Arme.

Um zu bestimmen, ob sich ein Arm oberhalb der Schulterhöhe befindet, wird auf die Höhe der Knoten `LeftShoulder` und `LeftElbow`, `LeftWrist` und `LeftHand` bzw. `RightShoulder` und `RightElbow`, `RightWrist` und `RightHand` abgestellt. Im verwendeten Koordinatensystem entspricht die Höhe der Z-Achse.

Die Position der Knoten im Raum wird über die Prozedur `ApplyGyroFrame` aus der Animazoo-Programm-Schnittstelle (SDK) bestimmt; die Position liegt dann in in X-Y-Z-Koordinaten vor.

6.2.2.5 Beine

Für die Beinhaltungen sieht OWAS folgende Möglichkeiten vor:

Tabelle 15: Mögliche OWAS-Kodierung für die Beine

Ziffer	Bedeutung
1	Sitzen
2	Stehen, beide Beine gerade
3	Stehen auf einem Bein
4	Stehen oder kauern, linkes und rechtes Knie ist gebeugt
5	Stehen oder kauern, ein Knie ist gebeugt
6	Kniend auf einem oder beiden Knien
7	Gehen oder fortbewegen

Betrachtet man die Bewegung des Körpers beim Gehen auf Basis einzelner Frames (also Standbild für Standbild, ohne die Veränderung zwischen den einzelnen Frames zu berücksichtigen), so ergänzen sich z. B. die Kodierungen „2“ (wenn beide Füße auf dem Boden sind), „3“ (wenn nur ein Fuß den Boden berührt) und, abhängig davon, ab welchem Winkel ein Knie als „gebeugt“ angenommen wird, möglicherweise auch die Kodierungen „4“ oder „5“.

Damit ergeben sich zwei Konsequenzen:

- Sobald (das weiter unten dargestellte) Kriterium für „Gehen oder Fortbewegen“ erfüllt ist, ist die Kodierung für den aktuellen Frame komplett. Die Kodierung „7“ umfasst damit alle Körperhaltungen, die während des Gehens oder Fortbewegens auftreten können; sie hat Vorrang vor den anderen möglichen Kodierungen für die Beine.
- Anders als bei Armen und Rücken lässt sich die Kodierung für die Beine nicht aus einem einzelnen Frame alleine ableiten.

Die Abbildungen 25 und 25 illustrieren, warum auf Basis eines einzelnen Frames „Gehen“ nicht erkannt werden kann. Beide Abbildungen zeigen die Bewegungsdaten der gleichen Person aus der Datei „StandKneelUpWalk.bvh“. Die Person kniet dabei am Anfang, steht dann auf und geht einige Schritte.

Das linke Bild zeigt den Frame 137. Dieser wurde während des Aufstehens aufgezeichnet, während das rechte Bild den Frame 213 zeigt, der wiederum aufgezeichnet wurde, als die Person bereits ging. Beide Bilder sind sich sehr ähnlich, so dass der Versuch, aus den Informationen eines Standbildes allein die richtige OWAS-Kodierung abzuleiten, nicht sinnvoll erscheint.

Für die OWAS-Kodierung der Beine muss daher zunächst ein Kriterium entwickelt werden, um „Gehen oder Fortbewegen“ erkennen zu können. Ist das Kriterium erfüllt, so ist die Kodierung mit dem Ergebnis „7“ abgeschlossen. Ist es nicht erfüllt, so kommt nur eine der anderen Kodierungen in Frage.

6.2.2.5.1 Kriterium für „Gehen oder Fortbewegen“

Ein nahe liegendes Kriterium für „Gehen oder Fortbewegen“ ist die aktuelle Geschwindigkeit, mit der sich die Person, deren Bewegungsdaten aufgezeichnet wurden, durch den Raum bewegt. Nun liefert das Animazoo-System unmittelbar keine Geschwindigkeits-Informationen. Wohl aber enthält jedes Frame die Position der Person zum Zeitpunkt der Aufzeichnung des Frames (genauer gesagt,

enthält sie die Position des Root-Sensors, aus der dann die Positionen aller weiteren Elemente des Animazoo-Skelett-Modells berechnet werden können).

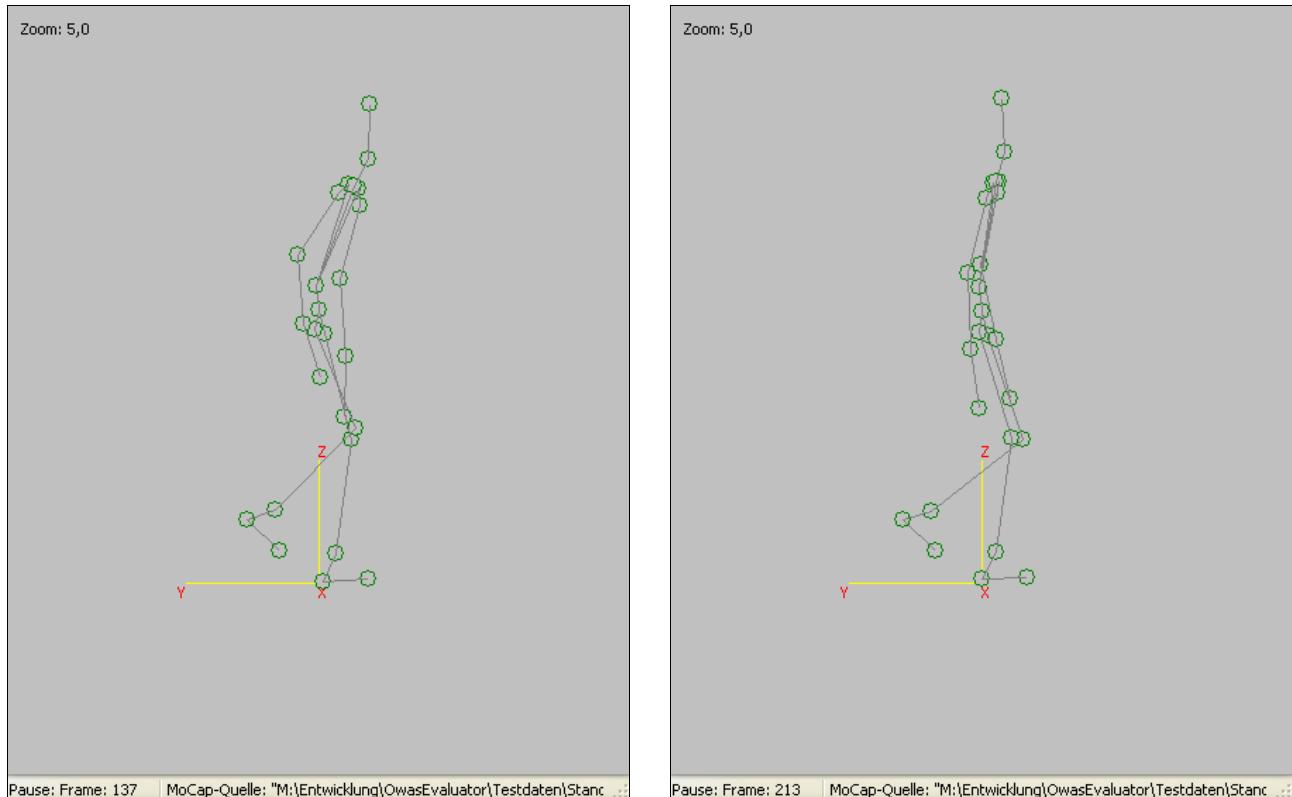


Abbildung 24 (links) und 25 (rechts): Links Frame 137 aus der Datei „StandKneelUpWalk.bvh“, rechts Frame 213 aus der gleichen Datei.

Für die Entscheidung, ob sich die Person fortbewegt oder nicht, wird daher die aktuelle Geschwindigkeit der Person benötigt. Um einem Frame eine Geschwindigkeit zuzuordnen, wird neben der zum aktuellen Frame gehörenden Position noch die Position eines Referenz-Frames verwendet, der kurz vor dem aktuellen Frame aufgezeichnet wurde. Für den ersten Prototyp wird dabei „kurz“ mit einer halben Sekunde angenommen.

Aus den beiden Positionen wird der Weg berechnet, der in der Zeit zwischen der Aufnahme der beiden Frames zurückgelegt wurde. Dabei wird die Z-Komponente (also die Höhenangabe) beider Positionen jeweils mit 0 angenommen, so dass etwa „Aufstehen“ oder „Hinsetzen“ nicht als Fortbewegung interpretiert werden. In den Abbildungen 24 und 25 ist zur Verdeutlichung das Koordinaten-System dargestellt.

Die Zeit ergibt sich aus der beim Aufzeichnen der Bewegungsdaten verwendeten Framerate und der Zahl der Frames, die zwischen dem aktuellen Frame und dem Referenz-Frame liegt. Bei einer Framerate von 30 Hz liegen beispielsweise zwischen zwei aufeinander folgenden Frames jeweils 33,3 ms. Um einen Abstand von einer halben Sekunde zu erhalten, muss das Referenz-Frame 15 Frames vorher aufgezeichnet worden sein.

Gibt es einen solchen Frame nicht, weil der aktuelle Frame zu nah am Anfang der Aufzeichnung ist (im 30-Hz-Beispiel betrifft das die ersten 15 Frames), so wird als Referenz-Frame ein Frame verwendet, der 15 Frames nach dem aktuellen Frame aufgezeichnet wurde. Gibt es auch einen solchen Frame nicht, so ist die Dauer der Aufzeichnung zu kurz (siehe dazu auch „Anforderungen an die Aufzeichnung“).

Schließlich wird die Geschwindigkeit nach der Formel Geschwindigkeit = Weg / Zeit berechnet. Die Richtung in der X-Y-Ebene spielt dabei keine Rolle.

Kriterium für „Fortsbewegung“ ist, ob für den aktuellen Frame eine Geschwindigkeit von mindestens 0,25 m/s ermittelt wird. Wenn dieses Kriterium erfüllt ist, wird für die Beine die Ziffer „7“ geliefert; weitere Untersuchungen brauchen dann nicht mehr angestellt werden. Der Wert von 0,25 m/s ist etwas weniger als ein Fünftel der Geschwindigkeit beim Gehen mit 5 km/h und wurde als Arbeitshypothese angenommen. Ein Fünftel entspricht einem langsamem Schleichen und wird noch als sehr langsames Gehen akzeptiert, wie z. B. beim Mitgehen an einem Fließband.

Ist das Kriterium für „Fortsbewegung“ hingegen nicht erfüllt, so bleiben als Möglichkeiten die Ziffern „1“ bis „6“.

6.2.2.5.2 Sitzen, Stehen, Knien

Die verbleibenden Möglichkeiten für die Beinhaltung umfassen Sitzen, Stehen und Knien. Dabei wird „Stehen“ als einzige der drei Möglichkeiten noch weiter differenziert.

6.2.2.5.3 Kriterium für Knien

Die OWAS-Kodierung für die Beine enthält drei ähnliche Fälle („4“: „Stehen oder kauern, linkes und rechtes Knie ist gebeugt“, „5“: „Stehen oder kauern, ein Knie ist gebeugt“ und „6“: „Knien auf einem oder beiden Knien“).

Im zweiten Prototyp wird für die Kodierung „6“ darauf abgestellt, ob mindestens ein Knie den Boden berührt. Nun liefert das Animazoo-System keine Information darüber, ob ein Teil des Körpers den Boden berührt oder nicht. Als Näherung wird daher die Bedingung verwendet, dass die Höhe des Knotens `RightKnee` gleich oder geringer ist als die des Knotens `RightAnkle` (für das linke Bein werden die Knoten `LeftKnee` und `LeftAnkle` verwendet). Die Höhe wird durch die Z-Komponente der Knoten geliefert.

Wenn das Kriterium erfüllt ist, erübrigen sich weitere Untersuchungen. Ist es nicht erfüllt, bleiben die Möglichkeiten „1“ bis „5“.

Hinweis: Auf die Beschreibung der Implementierung für die Möglichkeiten 1 bis 5 wurde an dieser Stelle zugunsten der Darstellung im Prototyp 4 verzichtet. Im Prototyp 4 wurde dieser Teil neu implementiert.

6.2.2.6 Anforderungen an die Aufzeichnung und Einschränkungen

- Die Dauer der Aufzeichnung muss mindestens 1 Sekunde lang sein, damit für jeden Frame die aktuelle Geschwindigkeit berechnet werden kann.
- Die Fortbewegungsart „Klettern“ wird für die Bein-Kodierung nicht als „Gehen oder Fortbewegen“ erkannt, wenn die Bewegung tatsächlich nur entlang der Z-Achse stattfindet und damit für die X-Y-Ebene das Kriterium „Geschwindigkeit mindestens 0,25 m/s“ nicht erfüllt ist. Eine solche Einstufung wäre zwar möglicherweise formal korrekt. Da für die Beine eine Kodierung von „7“ bis zu einem Zeitanteil von 70 % aber noch die Aktions-Kategorie 1 (keine Maßnahmen erforderlich) liefert, erscheint es auch nicht als plausibel, „Klettern“ unter „Gehen oder Fortbewegen“ zu fassen.

6.3 Evaluierung

Mit dem Prototyp 2 gelingt die synchrone Aufzeichnung von Bewegungsdaten und Videodaten. Durch die Trennung von Aufzeichnung und Auswertung sowie die Verteilung der Arbeitsschritte „eigentliche Aufzeichnung“ und „Nachbereitung“ konnte die Stabilität so erhöht werden, dass sinnvolles Arbeiten mit dem Prototyp 2 möglich ist.

Die spätere Wiedergabe und damit auch die Verwendung der XML-Formates funktioniert.

Die für den Prototyp 2 erstellten Programme MocapRecorder, MocapNachbereitung und OwasEvaluator sind in der Lage, Bewegungsdaten zusammen mit Videodaten aufzuzeichnen und aus den aufgezeichneten Daten die Körperhaltung des Probanden zu ermitteln.

Allerdings ist die Erkennungsleistung noch nicht ausreichend: Besonders im Bereich des Rückens und der Beine gibt es noch Fehler bei der Erkennung der Körperhaltung.

Es ist damit allerdings der Nachweis erbracht, dass das Konzept prinzipiell funktioniert. Es ergaben sich keine Hinweise darauf, dass das Vorhaben nicht durchzuführen wäre.

6.4 Weiteres Vorgehen

Nachdem mit Prototyp 2 gezeigt wurde, dass das gewählte Konzept prinzipiell funktioniert, können in Prototyp 3 die eigentliche OWAS-Analyse (also die Auswertung der OWAS-Kodierungen) und ihre Erweiterungen (Lundqvist-Index) implementiert werden.

7 Prototyp 3

7.1 Anforderungen

Dieser Abschnitt beschreibt die Anforderungen, die an die Implementierung des Prototyp 3 gestellt werden. Tabelle 16 gibt einen Überblick.

Tabelle 16: Anforderungen an den Prototyp 3

Nr.	Text
1	Aus den OWAS-Kodierungen kann die eigentliche OWAS-Analyse erstellt werden.
2	<p>Auf Basis der OWAS-Analyse wird ein Lundqvist-Index für die einzelnen Körperhaltungen berechnet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für die Haltung des Rückens • Für die Haltung der Arme • Für die Haltung der Beine <p>Aus den drei bestimmten Indices wird ein Index für die Körperhaltungen (als arithmetischer Mittelwert, „Belastungsindex für einzelnen Körperhaltungen“) bestimmt.</p> <p>Zusätzlich wird ein Lundqvist-Index für die Haltungskombinationen („Belastungsindex für die Haltungskombinationen“) berechnet.</p> <p>Aus dem „Belastungsindex für einzelnen Körperhaltungen“ und dem „Belastungsindex für die Haltungskombinationen“ wird schließlich noch der Mittelwert bestimmt und als „Gesamt-Belastungsindex“ dargestellt.</p>
3	Die berechnete OWAS-Analyse samt dem Lundqvist-Index muss auf dem Bildschirm angezeigt, ausgedruckt und gespeichert werden können.
4	Für die Präsentation des Prototyps vor den CyberManS-Projektpartnern und den Reviewern des Projektes muss mindestens die Ausgabe der Analyse in Englisch möglich sein. Im Hinblick auf den Prototyp 4 ist jetzt schon absehbar, dass bei diesem nicht nur die Ausgabe der OWAS-Analyse, sondern auch das Programm selbst auf Englisch bedienbar sein muss.
5	Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit

Im Folgenden werden die Anforderungen erläutert.

7.2 Implementierung

7.2.1 Erstellung der OWAS-Analyse

Was für die Entwicklung der Prototypen ein wichtiger Meilenstein ist, stellte sich aus Sicht der Implementierung als relativ einfach heraus. Die OWAS-Analyse selbst basiert auf den OWAS-Kodierungen, die bereits im Prototyp 2 erstmals aus den Bewegungsdaten berechnet wurden.

Die OWAS-Kodierung liegt für jeden Frame vor (im Feld `OWASCodes`, definiert in der Unit `FOwasEvaluatorMain`). Die Berechnung der OWAS-Analyse selbst wird in einer neuen Unit `UOWASAna-`

lysis vorgenommen. Sie zerfällt in zwei Teile: Die Analyse für die einzelnen Körperhaltungen (berechnet von `OwasSinglePostureAnalysis`) und die Analyse für die Haltungskombinationen (berechnet von `OwasPostureCombiAnalysis`).

7.2.2 Integration des Lundqvist-Index

Die Berechnung des Lundqvist-Index wird von den beiden Funktionen zur Berechnung der OWAS-Analyse gleich mit erledigt.

7.2.3 Ausgabe OWAS-Analyse mit Lundqvist-Index

Für die Ausgabe und Anzeige der erzeugten OWAS-Analyse wurde zunächst daran gedacht, ein PDF-Dokument (PDF: Portable Document Format) zu erstellen, was die Anforderungen „Anzeige am Bildschirm“, „Drucken“ und „Speichern“ erfüllt hätte. Das PDF-Format ist allerdings recht komplex (die Beschreibung des Formates umfasst mehr als 1.300 Seiten) [39], so dass es für die Erzeugung eines PDF-Dokumentes einfacher ist, auf bereits existierende Software-Komponenten zurückzugreifen. Diese Komponenten erwarten aber eine schon aufbereitete Ausgabe, um sie in das PDF-Format zu wandeln, wofür wiederum weitere Komponenten zum Erstellen einer solchen Ausgabe bemüht werden müssen.

Sehr viel einfacher ist es, die OWAS-Analyse in Form eines HTML-Datei (HTML: HyperText Markup Language) zu erstellen. Verschiedene Auszeichnungen der Schrift (etwa für Überschriften), das Einbinden von Bildern und insbesondere die Verwendung von Links sind mit geringen Programmieraufwand zu implementieren. Das Anzeigen und Drucken wird von dem im Betriebssystem für Dateien im HTML-Format hinterlegten Programm (so genannten Browsern, z. B. Internet Explorer oder Mozilla Firefox) übernommen. Jeder der genannten Browser hat auch eine Druckfunktion.

Die Routine `OwasCodesToHtmlOwasAnalysis` im Modul `UOwasAnalysisToHtml` ist für die Erzeugung der HTML-Datei zuständig. Bei Aufruf erzeugt sie die HTML-Datei und drei Grafiken (für die Diagramme mit den Verteilungen der Haltung des Rückens, der Arme und der Beine).

7.2.4 Mehrsprachigkeit

Um den Prototyp nicht nur in Deutsch, sondern auch in anderen Sprachen benutzen zu können, gäbe es die einfache Lösung, den vorhandenen Prototypen zu „klonen“ (meint: alle Dateien des Quelltextes in ein anderes Verzeichnis zu kopieren). Anschließend können alle Texte übersetzt und direkt im Quelltext geändert werden. Damit ergäbe sich dann ein „englischer Prototyp“ und ein „deutscher Prototyp“.

Dieses Vorgehen hat allerdings einige Nachteile:

- Alle folgenden Ergänzungen und Änderungen müssten fortan nicht in einem, sondern (je nach Zahl der erforderlichen Sprachen) in mindestens zwei Sätzen von Quelltexten geändert werden.
- Zum Ändern eines Textes muss die Programme (MocapRecorder, MocapNachbereitung und/oder OwasEvaluator) stets neu kompiliert werden.
- Der im Übersetzungsprozess hilfreiche direkte Vergleich zwischen zwei Sprachvarianten wäre nicht möglich, wenn exklusiv auf Systemressourcen zugegriffen wird. Dies ist besonders beim Aufnahmeteil des Prototyps der Fall (auf Video und Bewegungsdaten kann jeweils nur ein Programm zur gleichen Zeit zugreifen).

Daher wird ein anderes Vorgehen gewählt: Die Texte werden externalisiert, so dass sie nicht mehr direkt im Quellcode stehen, sondern über eine Datei eingelesen werden. Jedes Programm, das mehrsprachig vorliegen muss, wird um eine Option zu Sprachwahl erweitert; nach Wahl einer Sprache liest das Programm dabei die zur gewählten Sprache gehörende Datei ein und aktualisiert alle Elemente der grafischen Benutzeroberfläche. Alle Texte, die der Mehrsprachigkeit bedürfen, werden im Quellcode des Programms über die Funktion `GetText` mit einer hinterlegten Nummer angesprochen. Die Unit `UText` kapselt die Einzelheiten der Implementierung.

Die Übersetzung selbst vereinfacht sich damit, da dafür keine Programmierkenntnisse und auch keine speziellen Entwicklungswerkzeuge benötigt werden: Für die Übersetzung reicht ein einfacher Text-Editor.

Die Übersetzung muss auch nicht vollständig sein; sie kann in Teilen vorliegen. Für diesen Fall (oder für den Fall, dass die Sprachdateien nicht vorhanden oder beschädigt sind) ist der Originaltext im Quellcode hinterlegt.

Der direkte Vergleich zweier Sprachvarianten ist sehr einfach, da im Programm selbst zwischen den Sprachen während der Laufzeit gewechselt werden kann.

Mit dem gewählten Vorgehen können die Programme in alle vom Zeichensatz „Windows-1252 Westeuropäisch“⁸ unterstützten Sprachen übersetzt werden. Dies sind praktisch alle westeuropäischen Sprachen und schließt z. B. Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch, Holländisch und Spanisch ein.

7.3 Evaluierung

Die vom Prototyp 3 berechnete OWAS-Analyse wurde anhand mehrerer Beispiele auf Korrektheit untersucht; es ergaben sich keine Beanstandungen. Auch der Lundqvist-Index wurde korrekt berechnet. Die erzeugte HTML-Datei gab die berechnete OWAS-Analyse korrekt wieder.

Die Priorität für die Umstellung auf Mehrsprachigkeit wurde auf die Ausgabe der OWAS-Analyse gelegt, so dass diese rechtzeitig zu einem Review-Meetings im Rahmen des Forschungsprojekts CyberManS im Januar 2008 in Ulm ohne Beanstandungen präsentiert werden konnte.

Die Nutzer der Prototypen 2 und 3 gaben Hinweise auf Probleme bei der Gebrauchstauglichkeit. Tabelle 17 zeigt die während der Benutzung von Prototyp 2 und Prototyp 3 angeregten Verbesserungen.

Tabelle 17: Von den Nutzern der Prototypen 2 und 3 angeregte Änderungen

Nr	Art	Text
1	Verbesserung	Eindeutige Dateiendung: Die vom MocapRecorder erzeugten Dateien mit den Bewegungsdaten sollten eine eindeutige Endung (z. B. „*.mocap“) haben. Damit können diese Dateien besser von anderen XML-Dateien unterschieden werden. Zudem wird es so möglich, diese Endung mit dem OwasEvaluator zu assoziieren. Öffnen einer solchen Datei aus dem Windows Explorer heraus würde dann den OwasEvaluator starten und die Datei darstellen.
2	Verbesserung	Für den Benutzer ist es recht umständlich und auch fehleranfällig, für eine Aufnahme stets mit zwei Programmen (MocapRecorder und MocapNachbereitung) arbeiten zu müssen. Wenn möglich, sollten MocapRecorder und MocapNachbereitung zu einem Programm zusammengefasst werden.

⁸ Dies ist der Zeichensatz, den Windows in seinen westeuropäischen Versionen verwendet.

7.4 Weiteres Vorgehen

In Prototyp 3 wurde die Erstellung einer OWAS-Analyse aus den aufgenommenen Bewegungsdaten erfolgreich implementiert. Es haben sich keine Hinweise darauf ergeben, dass die jetzt noch fehlenden Funktionen nicht im Prototyp 4 realisiert werden könnten. Neben der Vervollständigung soll mit dem Prototyp 4 noch eine Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit erreicht werden.

8 Prototyp 4

Der Prototyp 4 ist der letzte im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Prototyp. Er beinhaltet sowohl eine neue Version der Aufzeichnungssoftware als auch der Auswertungssoftware.

Während bei der Aufzeichnungssoftware Verbesserungen der Gebrauchstauglichkeit den Schwerpunkt bilden, wird die Auswertungssoftware im Wesentlichen um die interaktive Ergebnisdarstellung der OWAS-Analyse erweitert. Diese erweitert die Darstellung der OWAS-Analyse um die Möglichkeit, den Grund für in der Analyse als problematisch angezeigte Passagen schnell ausfindig zu machen.

8.1 Anforderungen

Dieser Abschnitt beschreibt die Anforderungen, die an die Implementierung des Prototyps 4 gestellt werden. Tabelle 18 gibt einen Überblick.

Tabelle 18: Anforderung an den Prototyp 4

Nr.	Text
1	Interaktive Ergebnisdarstellung der OWAS-Analyse
2	Aufnahme und Nachbereitung mit einem Programm: MocapRecorder und MocapNachbereitung zu einem Programm zusammenfassen
3	Mehrsprachig: Deutsch und Englisch für alle Programme des Prototyps
4	Endung „.mocap“ für die Dateien der Bewegungsdaten
5	Integration in das CyberManS-Software-Interface
6	Erkennungsleistung verbessern (fehlerhafte Kodierungen beseitigen)

Im Folgenden werden die Punkte erläutert.

8.1.1 Interaktive Ergebnisdarstellung

Die im dritten Prototyp entwickelte Ausgabe der OWAS-Analyse („das Ergebnis“) ist rein statisch. Der Benutzer kann sie nur ansehen (bzw. ausdrucken), die erzeugte Ausgabe bietet aber keine Möglichkeit, durch die Ausgabe aufgeworfene Fragen zu beantworten.

So zeigt die OWAS-Analyse zwar, dass eine aufgezeichnete Tätigkeit aus ergonomischer Sicht möglicherweise kritisch zu bewerten ist. Sie gibt jedoch keinen Hinweis darauf, welche Teile der Tätigkeit zu der kritischen Bewertung geführt haben. Dies wäre jedoch besonders interessant, da ja das Ziel der ergonomischen Analyse ja gerade darin besteht, als problematisch erkannte Teile einer Tätigkeit zu vermeiden bzw. sie umzugestalten.

Für die besonders kritischen Haltungskombinationen der Aktionskategorie 4 liefert die OWAS-Analyse beispielsweise die in Abbildung 26 gezeigte Darstellung:

Aktionskategorie 4				
Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
4141	7,1	21,3	635	4
4311	5,1	15,1	449	4
4151	0,2	0,5	16	4
4241	0,1	0,3	10	4

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 4: 12,5 %

Abbildung 26: Auszug aus der durch den dritten Prototyp generierten OWAS-Analyse für die Kofferraummontage („Exp1.xml“)

Die Analyse zeigt zwar, dass insgesamt 12,5 % der aufgezeichneten Tätigkeit in die Aktionskategorie 4 eingestuft werden. Sie zeigt auch, wie sich die 12,5 % nach einzelnen Haltungskombinationen verteilen, wobei in diesem Beispiel durch die vorgegebene Sortierung nach zeitlichem Anteil schnell zu erkennen ist, dass dabei die Haltungskombinationen „4141“⁹ und „4311“¹⁰ den Schwerpunkt bilden.

Aus der Darstellung geht allerdings nicht hervor, wie sich die 7,1 % der Haltungskombination „4141“ über die Zeit der Aufzeichnung verteilen: Tritt diese Haltungskombination gehäuft an wenigen (oder gar nur einer) Stellen länger auf, oder wird sie jeweils kürzere Zeiten eingenommen (verteilt über einen längeren Zeitraum)? Der vierte Prototyp soll auf diese Frage eine schnelle Antwort liefern. Dabei soll jedoch die Übersichtlichkeit der Analyse aus dem dritten Prototyp nicht verloren gehen.

Eine detaillierte (und damit sehr lange) Untersuchung und Darstellung der Vorkommen jeder Haltungskombination kommt daher nicht in Frage. Vielmehr soll es dem Benutzer überlassen werden, welche Haltungskombinationen er detaillierter untersuchen möchte: Daher auch die Bezeichnung „interaktive Ergebnisdarstellung“.

Durch einen Klick auf den Inhalt der Spalten „zeitl. Anteil“ oder „Zeit“ soll eine Darstellung der Verteilung der damit ausgewählten Haltungskombination erscheinen. Klickt der Benutzer nun wiederum auf einen Teil dieser Darstellung, so soll das Programm die aufgezeichneten Bewegungsdaten zusammen mit den Videodaten darstellen, um so den Teil der Tätigkeit zu zeigen, bei dem diese Haltungskombination aufgezeichnet wurde.

Analog zu diesem für die Haltungskombinationen beschriebenen Vorgehen soll dies auch für die einzelnen Haltungen (Rücken, Arme, Beine) möglich sein.

8.1.2 Erläuterungen

Die Frage, was denn Codes wie „4141“ und „4311“ eigentlich genau bedeuten, geht aus der vom Prototyp 3 erzeugten Analyse nicht hervor und bedarf bei 252 (Produkt aus vier Möglichkeiten für den Rücken, drei für die Arme, sieben für die Beine und drei für die gehandhabten Lasten) möglichen Code-Kombinationen einer Erläuterung. Dazu ist in der Analyse aus dem dritten Prototyp der Rückgriff auf externe Hilfsmittel (in diesem Fall eine OWAS-Dokumentation) nötig.

Die Analyse an der Stelle des Vorkommens um eine Klartextdarstellung der Kodierung zu erweitern ist keine sinnvolle Lösung, weil dann die Lesbarkeit der Analyse bedingt durch den steigenden Umfang stark leiden würde. Sinnvoller wäre eine Anzeige der Bedeutung der Kodierung, ausgelöst

9 4141: Rücken: „(Gebeugt und Gedreht) oder (nach vorn und zur Seite gebeugt)“, Arme: „Beide Arme unterhalb Schulterhöhe“, Beine: „Stehen oder kauern, beide Knie gebeugt“, Gewicht: „Weniger als 10 kg“

10 4311: Rücken: „(Gebeugt und Gedreht) oder (nach vorn und zur Seite gebeugt)“, Arme: „Beide Arme mindestens auf Schulterhöhe“, Beine: „Sitzen“, Gewicht: „Weniger als 10 kg“

durch eine (möglichst einfache) „Anfrage“: Ein Hyperlink zu einer Erklärung. Eine solcher Link zu einer Erläuterung ist auch für die Aktionskategorien sinnvoll.

8.1.3 Aufnahme mit einem Programm

Ein Ergebnis der Evaluierung des dritten Prototyp war, dass die Aufteilung der Software für die Aufzeichnung der Bewegungsdaten auf zwei Programme (MocapRecorder und MocapNachbereitung) in der Praxis ungünstig ist. Ziel ist es daher, die Aufzeichnungssoftware in nur einem Programm (nämlich MocapRecorder) zu konzentrieren.

8.1.4 Mehrsprachigkeit

Die Prototyp gehörenden Programme (MocapRecorder und OwasEvaluator) müssen die Möglichkeit bieten, sie sowohl in Deutsch als auch in Englisch betreiben zu können.

8.1.5 Endung „.mocap“ für die Bewegungsdaten

Die vom MocapRecorder erzeugte Datei mit den Bewegungsdaten soll die Endung „*.mocap“ bekommen. Diese Endung wird dann auch vom OwasEvaluator beim Öffnen als Standard vorgegeben. Alternativ ist auch noch das Öffnen von Dateien mit Bewegungsdaten möglich, die die Endung „*.xml“ haben.

Diese Änderung dient dazu, Dateien mit Bewegungsdaten besser von anderen XML-Dateien unterscheiden zu können.

8.1.6 Integration in das CyberManS-Software-Interface

Wie schon erwähnt, wurde diese Arbeit im Rahmen des Forschungsprojektes „CyberManS“ durchgeführt. Für die Integration der im Rahmen dieser Arbeit erstellten Software in das Forschungsprojekt CyberManS ist es erforderlich, dass sich der vierte Prototyp in das vom italienischen Projekt-partner Teoresi entwickelte Software-Interface einbinden lässt.

Das Software-Interface ist im Wesentlichen ein Framework, das beliebige Daten speichern, anzeigen und manipulieren kann. Die Bedeutung der Daten bleibt dem Framework selbst verborgen, da es sich zur Erzeugung, Anzeige und Änderung der gespeicherten Daten einzubindender Module bedient.

In Kooperation mit Teoresi wurde dazu eine einfache Schnittstelle entwickelt, die es zunächst erlaubt, MocapRecorder und OwasEvaluator von einem externen Programm starten zu lassen.

8.1.6.1 Aufnahme

Für die Aufnahme einer Tätigkeit wird MocapRecorder aufgerufen, wobei als Parameter der Name der zu erzeugenden Dateien übergeben wird:

```
MocapRecorder.exe <Dateiname>
```

Dateiname bezeichnet die zu erstellende Datei mit den Bewegungsdaten. MocapRecorder ändert automatisch die Endung des übergebenen Dateinamens für die Datei mit den Videodaten.

8.1.6.2 Wiedergabe und Analyse

Analog zur Syntax für MocapRecorder wird OwasEvaluator verwendet:

```
OwasEvaluator.exe <Dateiname>
```

Auch hier bezeichnet Dateiname die Datei mit den Bewegungsdaten. OwasEvaluator geht davon aus, dass die Datei mit den Videodaten im gleichen Verzeichnis wie die Datei mit den Bewegungsdaten steht und (bis auf die Endung) den gleichen Namen hat. Die von OwasEvaluator möglicherweise erzeugte Datei mit den Benutzereingaben erhält (wiederum abgesehen von der Endung) den Namen der Datei mit den Bewegungsdaten und wird auch in deren Verzeichnis gespeichert bzw. geladen.

8.1.7 Erkennungsleistung verbessern

Die Erkennung der Körperhaltung und ihre anschließende Zuordnung zu einer OWAS-Kodierung gehört zur Kernfunktionalität des Programms OwasEvaluator. Die Erkennungsleistung wird experimentell durch den Versuch 1 überprüft; mehr als 100 Aufnahmen dienen dabei als Referenz¹¹. Der Prototyp 2 hatte dabei noch zahlreiche Probleme; betroffen waren vor allem Rücken- und Beinhaltung.

Während Versuch 1 auf die korrekte Erkennung der Körperhaltung abstellt, prüft Versuch 2 die Eignung des Prototyps in einer beispielhaften Arbeitssituation. Der Prototyp 4 muss sowohl Versuch 1 als auch Versuch 2 fehlerfrei absolvieren können.

8.2 Implementierung

8.2.1 Interaktive Ergebnisdarstellung

Für die Darstellung der OWAS-Analyse wurde im Prototyp 3 eine HTML-Datei generiert und angezeigt. HTML als Seitenbeschreibungssprache ist die „Lingua franca“ des Internets und erlaubt die Darstellung von komplexen Inhalten, in denen sich der Benutzer interaktiv bewegen kann. Dies ermöglicht es, die dargestellte OWAS-Analyse so zu erweitern, dass dynamisch (also erst auf Anforderung des Benutzers) weitere Informationen angezeigt werden.

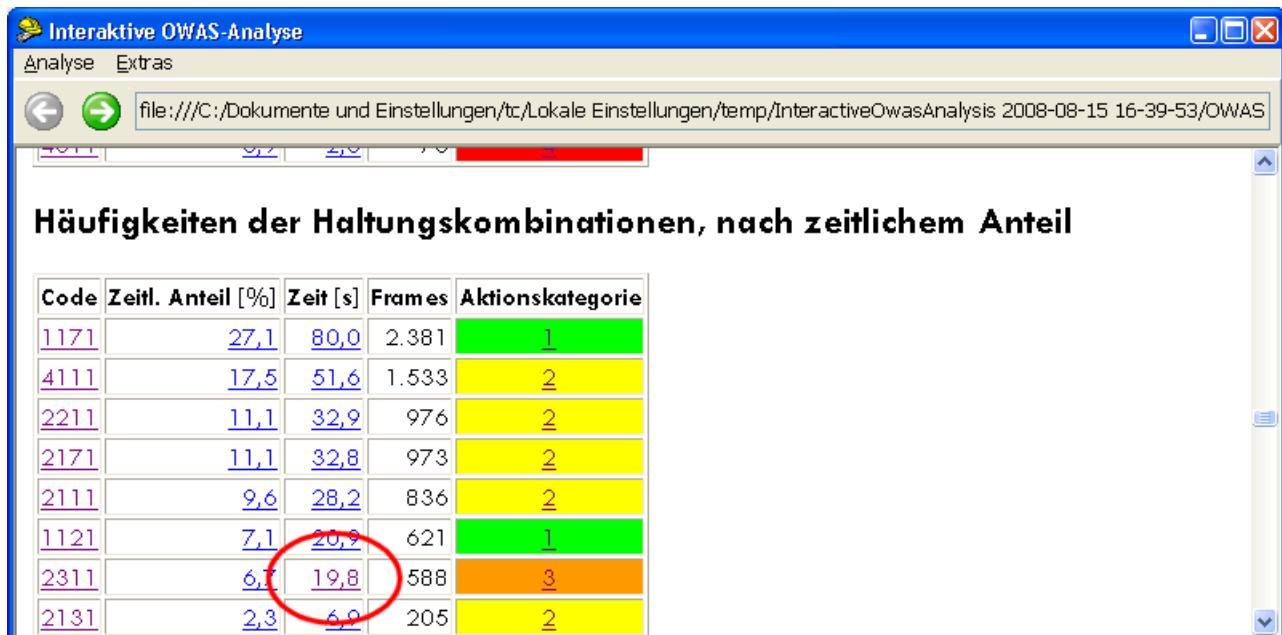


Abbildung 27: Ausschnitt aus einer interaktiven OWAS-Analyse. Ein Klick auf den rot markierten Link öffnet das in Abbildung 28 dargestellte Fenster.

¹¹ Versuch 1 ist im Abschnitt „Experimentelle Überprüfung“ ab Seite 75 beschrieben; Versuch 2 ab Seite 86. Weitere Erläuterungen finden sich in der Evaluierung des Prototyp 4 ab Seite 67.

Die OWAS-Analyse liefert zunächst nur eine Information wie „Während der Tätigkeit wurde die Haltungskombination 2311 für 19,8 s eingenommen. Diese Haltungskombination ist der Aktionskategorie 3 zugeordnet“ (Abbildung 27). Sie zeigt aber nicht, wo im Verlauf der untersuchten Tätigkeit die Körperhaltung aufgetreten ist. Abhilfe schafft hier ein Diagramm, das die Verteilung einer OWAS-Kodierung über die Zeit der Tätigkeit darstellt (Abbildung 28).

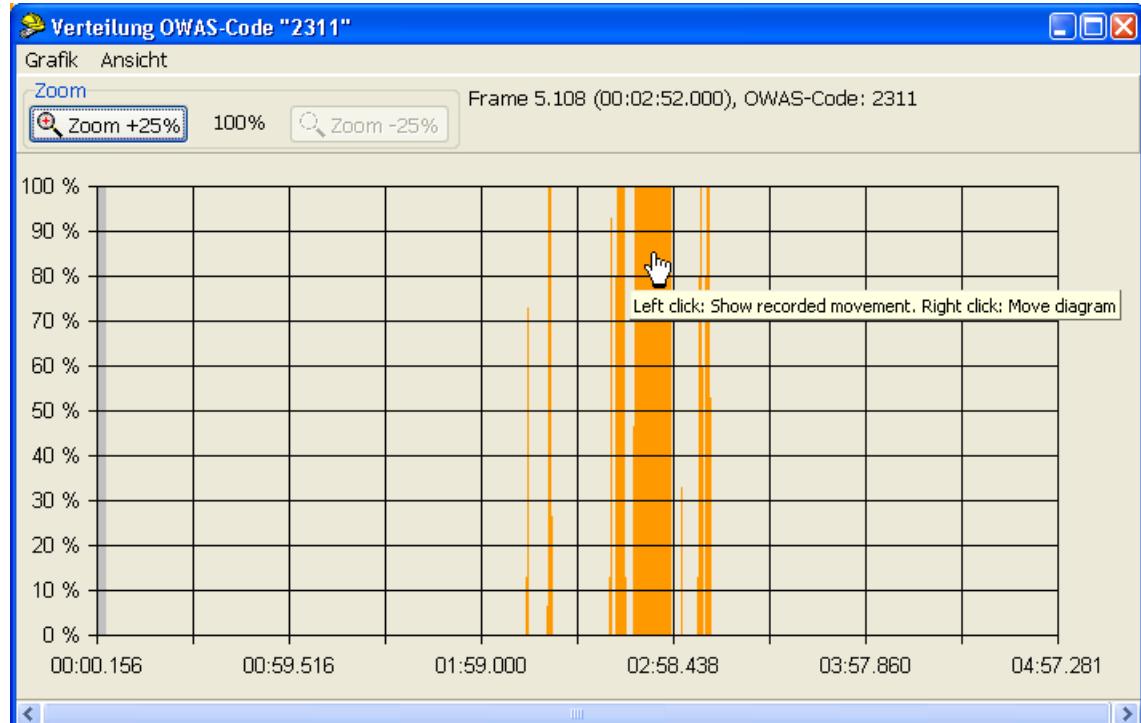


Abbildung 28: Verteilung der Vorkommen der mit „2311“ kodierten Körperhaltung über die Zeit der Aufnahme.

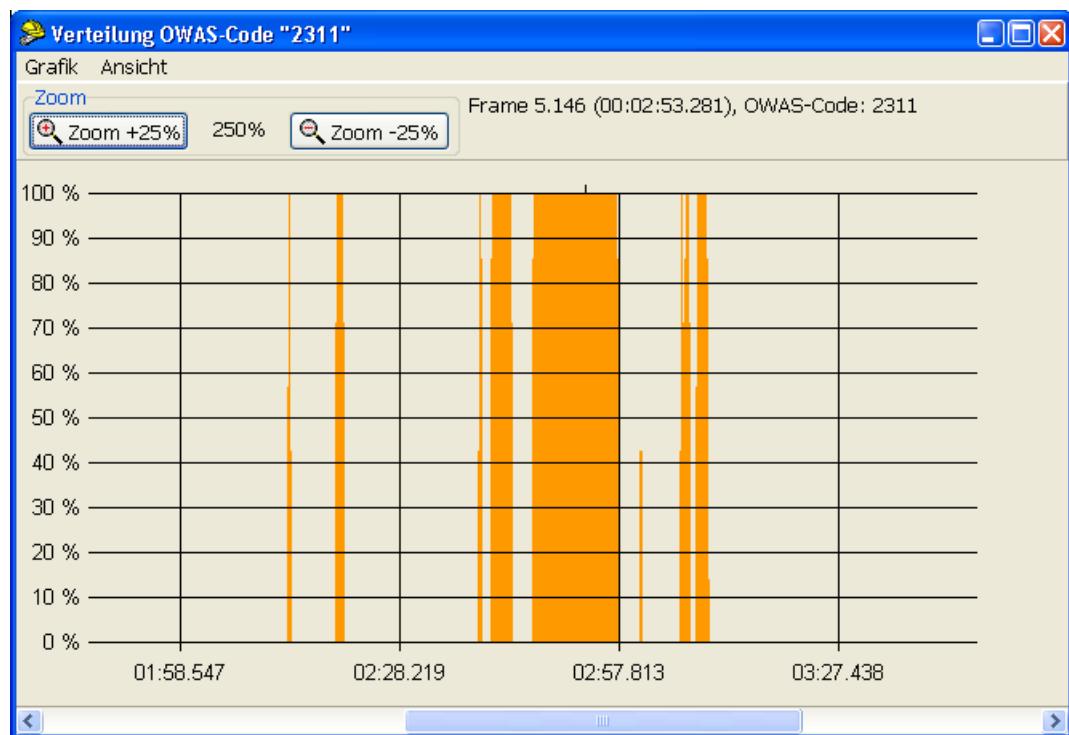


Abbildung 29: Ausschnitt der Verteilung der mit „2311“ kodierten Körperhaltung über die Zeit der Aufnahme mit einem Vergrößerungsfaktor von 250%.

Wie in Abbildung 28 zu sehen ist, konzentrieren sich die Vorkommen der Haltungskombination 2311 auf den Bereich kurz vor und nach der Aufnahmezeit 2:58. Soll Beginn und Ende genauer eingegrenzt werden, so kann auch ein Ausschnitt angezeigt werden. Dazu kann der Knopf „Zoom +25%“ oder (bequemer) das Mausrad verwendet werden. Abbildung 29 zeigt das Ergebnis. Neben dem Vergrößern oder Verkleinern des dargestellten Zeitraums kann durch Drücken und Halten der rechten Maustaste auch Beginn und Ende des dargestellten Zeitraums angepasst werden.

Beim Bewegen der Maus über das Diagramm verwandelt sich der Mauszeiger in eine Hand-Symbol (wie in Abbildung 28 zu sehen). Gleichzeitig wird am oberen Rand des Fensters die Aufnahmezeit und die zugehörige OWAS-Kodierung eingeblendet. Durch einen Klick auf die linke Maustaste auf das Diagramm springt OwasEvaluator zur angezeigten Stelle der Aufnahme und zeigt die zu diesem Zeitpunkt aufgenommenen Bewegungsdaten und das zugehörige Videobild. Damit kann der Kontext der Körperhaltung sofort eingesehen werden (Abbildung 30). Eine kleine Markierung (der senkrechte Strich auf dem oberen Rand des Diagramms in Abbildung 29) gibt eine zusätzliche Rückmeldung über den in den Video- und Bewegungsdaten dargestellten Zeitpunkt. Bei laufender Wiedergabe wandert diese Markierung von links nach rechts.

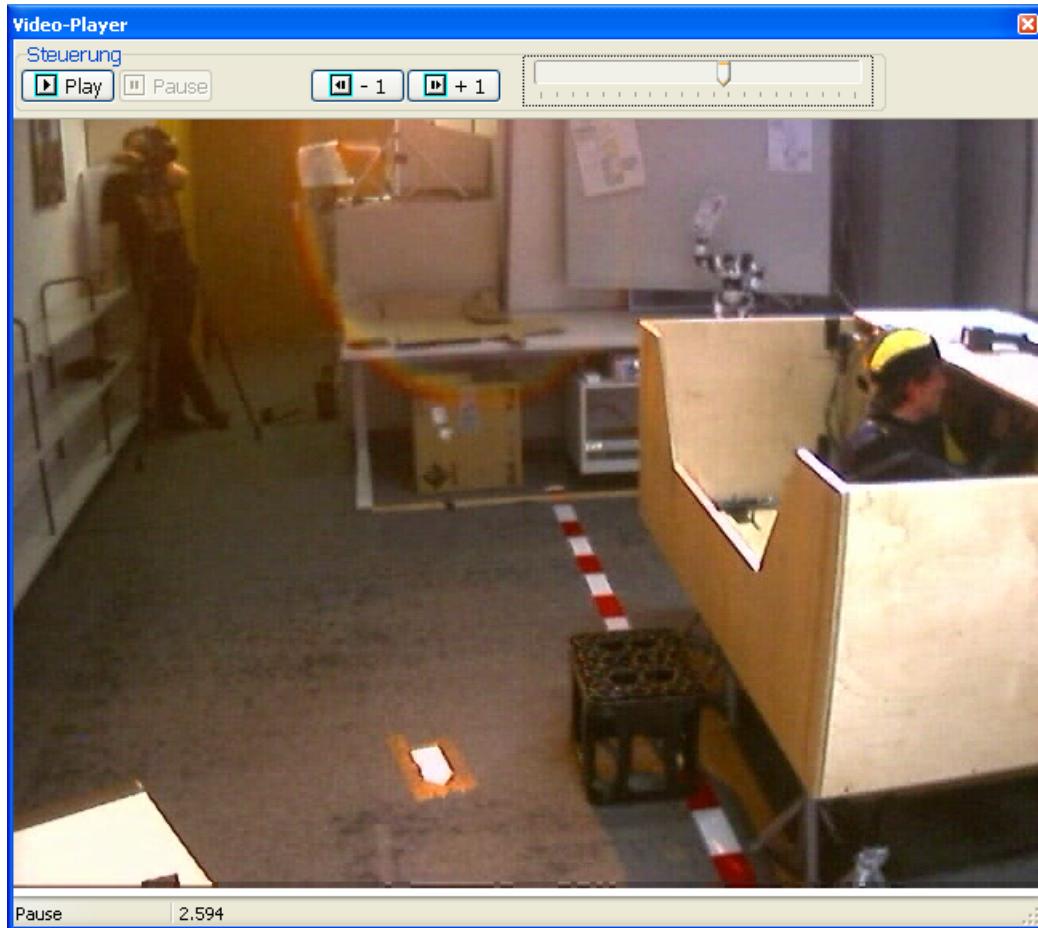


Abbildung 30: Anzeige des Video-Players nach einem Klick in das Diagramm in Abbildung 29 (Aufnahmezeit 2:53.281).

Die HTML-Datei mit der interaktiven OWAS-Analyse (Abbildung 27) wird auf Anforderung des Nutzers erzeugt und dann in einem speziellen Fenster innerhalb des Programms OwasEvaluator angezeigt. Dies erlaubt es OwasEvaluator, auf die Anforderung „Verteilung für die Körperhaltung 2311 anzeigen“ (in Abbildung 27 durch den Klick auf den markierten Link „19,8“) das Fenster mit der Verteilung zu erzeugen. Während der Inhalt der HTML-Datei nach der Erzeugung konstant bleibt, wird der Inhalt des Fensters mit der Verteilung der Vorkommen zur Laufzeit dynamisch er-

zeugt. Der Inhalt des Fensters ist auch keine HTML-Datei; das Diagramm mit der Verteilung wird vielmehr entsprechend den Wünschen des Nutzers direkt auf den Bildschirm ausgegeben.

8.2.2 Erläuterungen

Die Erläuterungen werden als Link zu einer HTML-Datei ausgeführt, in der alle verwendeten OWAS-Kodierungen erläutert sind. Diese Datei wird zusammen mit der HTML-Datei erzeugt, in der die eigentliche OWAS-Analyse enthalten ist. Aus dieser heraus zeigt jetzt z. B. ein Klick auf „4141“ den in Abbildung 31 dargestellten Text an.

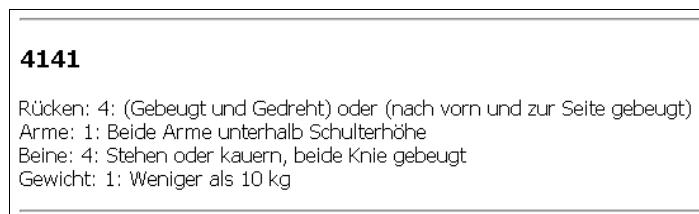


Abbildung 31: Anzeige der Bedeutung des Codes „4141“ nach Klick auf „4141“ in der OWAS-Analyse des Prototyps 4.

8.2.3 Erkennungsleistung verbessern

Die Erkennung der Körperhaltung im zweiten Prototyp beruhte im Wesentlichen auf der direkten Auswertung der vom Animazoo-System gelieferten Winkel, wobei jeder Frame isoliert betrachtet wurde. Der direkte Bezug auf die Winkel führte jedoch zu zwei Problemen:

1. Eine Bedingung wie „Summe der Winkel um die Z-Achse an den Knoten `Hips` und `Chest` größer als 25° “ trifft auch zu, wenn der Körper des Probanden im Ganzen um die Z-Achse gedreht ist.
2. Eine Beschränkung der Sicht auf nur einen Frame erschwert die gleichmäßige Erkennung über einen längeren Zeitraum. Davon ist besonders „Gehen oder Fortbewegen“ (OWAS-Kodierung „7“ der Beinhaltung) betroffen: Der Algorithmus im zweitem Prototyp stellte lediglich auf das Überschreiten einer bestimmten Geschwindigkeit in der horizontalen Ebene (X/Y) ab. Für kurze Zeiträume (bis zu 500 ms) kann diese Geschwindigkeit allerdings unterschritten werden, etwa bei einer Richtungsänderung. Ein menschlicher Betrachter würde trotzdem „7“ kodieren und nicht wie der zweite Prototyp in der Phase der Richtungsänderung einzelne Beinhaltungen kodieren.

Die folgende Abschnitte geben einen kurzen Überblick über die Implementierung der Erkennung der Körperhaltungen im Prototyp 4. Sie sind nach Rücken, Armen und Beinen geordnet. Die beschriebenen Routinen sind Teil der Unit `UMocapToOwasCodes`, wenn nicht anders angegeben. Die Bewegungsdaten sind in der Struktur `skeleton` enthalten. Für jeden in `skeleton` enthaltenen Frame gibt es im Feld `MetaMocapInfos` ein korrespondierendes Element, in dem aus den Bewegungsdaten und möglichen Benutzereingaben abgeleitete Zwischenergebnisse gespeichert werden.

8.2.3.1 Rücken

Die Routine `FrameToOwasBack` beinhaltet im Gegensatz zum zweiten Prototyp nur noch die Logik, um aus den vorher für jeden Frame festgestellten Ergebnissen `BackIsBentFwdBwd`, `BackIsBentSideways` und `BackIsTwisted` die eigentliche Kodierung zu bestimmen.

`BackIsBentFwdBwd` und `BackIsBentSideways` werden in der Routine `UMocapToOwasCodes.CalcBackAngles` bestimmt. Dabei werden nicht mehr die direkt vom Animazoo-System gelieferten

Winkel verwendet, sondern jeweils ein eigener synthetischer Winkel aus den Positionen der Knoten `Hips` und `Neck` gebildet:

- `HipsToNeckYz` ist der Winkel zwischen `Hips` und `Neck` in der durch Y und Z bestimmten Ebene (entspricht seitlicher Betrachtung) und ist das Maß für die Beugung des Rückens nach vorne oder hinten. `BackIsBentFwdBwd` ist `true` für mindestens 15°.
- `HipsToNeckXz` ist der Winkel zwischen `Hips` und `Neck` in der durch X und Z bestimmten Ebene (entspricht Betrachtung vor vorne) und ist das Maß für die Beugung des Rückens zur Seite. `BackIsBentSideways` ist `true` für mindestens 15°.

Für die Bestimmung von `BackIsTwisted` liefert `FrameToOwasBack` mit `BackTwistAngle` einen weiteren synthetischen Winkel zu. Die eigentliche Berechnung wird dabei an die Routine `CalcBackTwistAngle` delegiert.

Zur Bestimmung des Maßes für die Verdrehung des Rückens (`BackIsTwisted`) wird auf die Lage der Schultern und der Hüften abgestellt. Sind diese gegeneinander über ein bestimmtes Maß hinaus verdreht, wird eine Verdrehung des Rückens angenommen.

Die Position der Schultern ergibt sich aus der Lage der Knoten `RightShoulder` und `LeftShoulder`; die der Hüfte aus den Knoten `RightHip` und `LeftHip`. Zur Abkürzung werden im Folgenden verwendet: RS und LS für die Schulter sowie RH und LH für die beiden Knoten der Hüfte.

Für Schulter und Hüfte werden Geraden gebildet: Für die Schulter von RS nach LS und für die Hüfte von RH nach LH. Für beide Geraden wird die Z-Koordinate (die Höhe) auf 0 gesetzt, da die Höhe für die Bestimmung des Winkels keine Rolle spielt.

Um den Winkel zu bestimmen, wird aus den beiden Geraden LSRS und LHRH ein Dreieck gebildet. Als Schnittpunkt wird (willkürlich) der Punkt LS angenommen. Damit sich die beiden Geraden dort schneiden, wird die Gerade LHRH so in der Ebene verschoben, dass LH' mit LS zusammenfällt. Die verschobene Gerade erhält den Namen LHRH'. Damit sind alle drei Ecken des Dreiecks bekannt: LS, RS und RH'.

Mit dem Kosinussatz lässt sich der Winkel zwischen den beiden Geraden LSRS und LSRH' bestimmen:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right) \quad (\text{nach [40]})$$

Im Kosinussatz werden für die Kanten des Dreiecks die Bezeichnung a, b und c verwendet; für das Dreieck aus LS, RS und RH' gilt: a ist die Länge der Strecke RSRH', b ist die Länge der Strecke LSRS und c ist die Länge der Strecke LSRH'.

Der berechnete Winkel α wird als `BackTwistAngle` gespeichert. Für jeden Frame wird anschließend in der Routine `CalcMeanBackTwistAngle` der Durchschnitt der für die vorhergehenden und folgenden Frames (erfasst werden die Frames bis jeweils 250 ms vor und nach dem aktuellen Frame) berechnet und in `MeanBackTwistAngle` gespeichert.

Die Routine bestimmt schließlich auch den in `FrameToOwasBack` verwendeten Wert `BackIsTwisted`. Dazu implementiert die Routine eine Hysterese: Erreicht `MeanBackTwistAngle` einen Wert 25° (während des Gehens 35°, um die durch das Gehen erhöhten Werte zu kompensieren), wird in `BackIsTwisted` gespeichert, dass der Rücken verdreht ist. Dies wird für die folgenden Frames beibehalten, bis ein Wert von 20° unterschritten wird.

8.2.3.2 Arme

Die bereits im zweiten Prototyp entwickelte Lösung hat sich bewährt: Die Bedingung „linker Arm ist mindestens auf Schulterhöhe“ ist erfüllt, wenn einer der Knoten `LeftElbow`, `LeftWrist` oder `LeftHand` einen größeren Wert für die Z-Koordinate hat als der Knoten `LeftShoulder` (für den rechten Arm: `RightElbow`, `RightWrist` oder `RightHand` müssen einen größeren Wert für die Z-Koordinate haben als der Knoten `RightShoulder`).

Die Routine `FrameToOwasArms` prüft die Bedingungen und enthält die Logik für die Zuordnung der Kodierung.

8.2.3.3 Beine

8.2.3.3.1 Sitzen (Code „1“)

Die Erkennung der Haltung „Sitzen“ stellte sich als unerwartet schwierig heraus, weil sie nicht sauber von der Haltung „4“ (stehen oder kauern, beide Knie angewinkelt) zu trennen ist. Dazu trägt bei, dass in der Praxis während des Sitzens die Beine nicht sauber ausgerichtet und unbewegt gehalten werden, sondern in zahlreichen Variationen bewegt werden.

Zur Überwindung des Problems wurde eine zusätzliche Benutzereingabe „Sitzgelegenheit“ ergänzt, in der dem Programm mitgeteilt wird, dass in festgelegten Abschnitten der Aufzeichnung eine Möglichkeit zum Sitzen vorhanden ist. Ist für einen Abschnitt eine Sitzgelegenheit definiert, prüft das Programm auf Sitzen vorrangig. Ist keine Sitzgelegenheit angegeben, wird Sitzen ausgeschlossen.

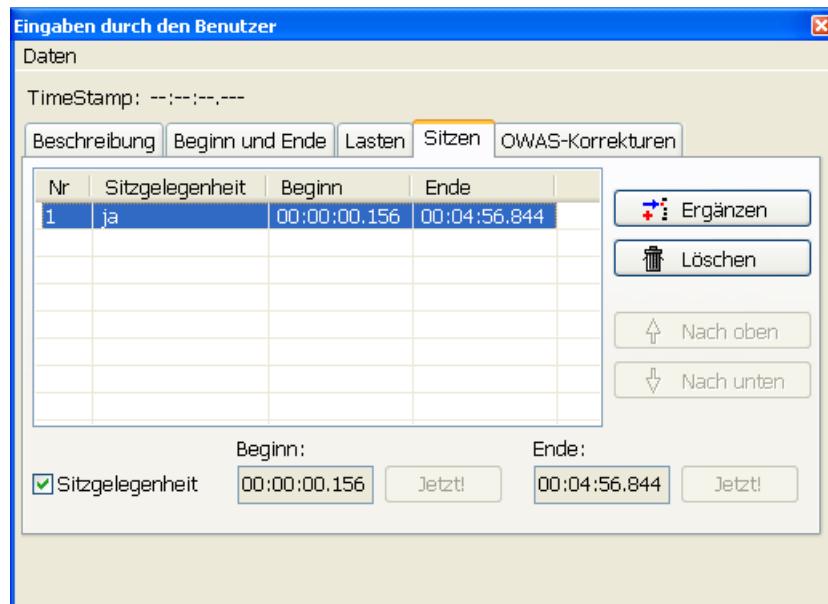


Abbildung 32: Eingabemöglichkeit der Sitzgelegenheit

Das Kriterium für Sitzen stellt auf die Höhe des Knotens `LeftHip` im Vergleich zur Höhe des Knotens `LeftKnee` ab. Beide müssen auf gleicher Höhe sein oder sich um höchstens 55 % der Länge des Knochens `LeftUpperLeg` (Oberschenkelknochen) unterscheiden. Die gleiche Prüfung wird für das rechte Bein vorgenommen. Das Kriterium ist erfüllt, wenn die Prüfung für beide Beine ein positives Ergebnis liefert.

Abbildung 33 zeigt die Bestimmung der Kodierung für die Beine im Überblick.

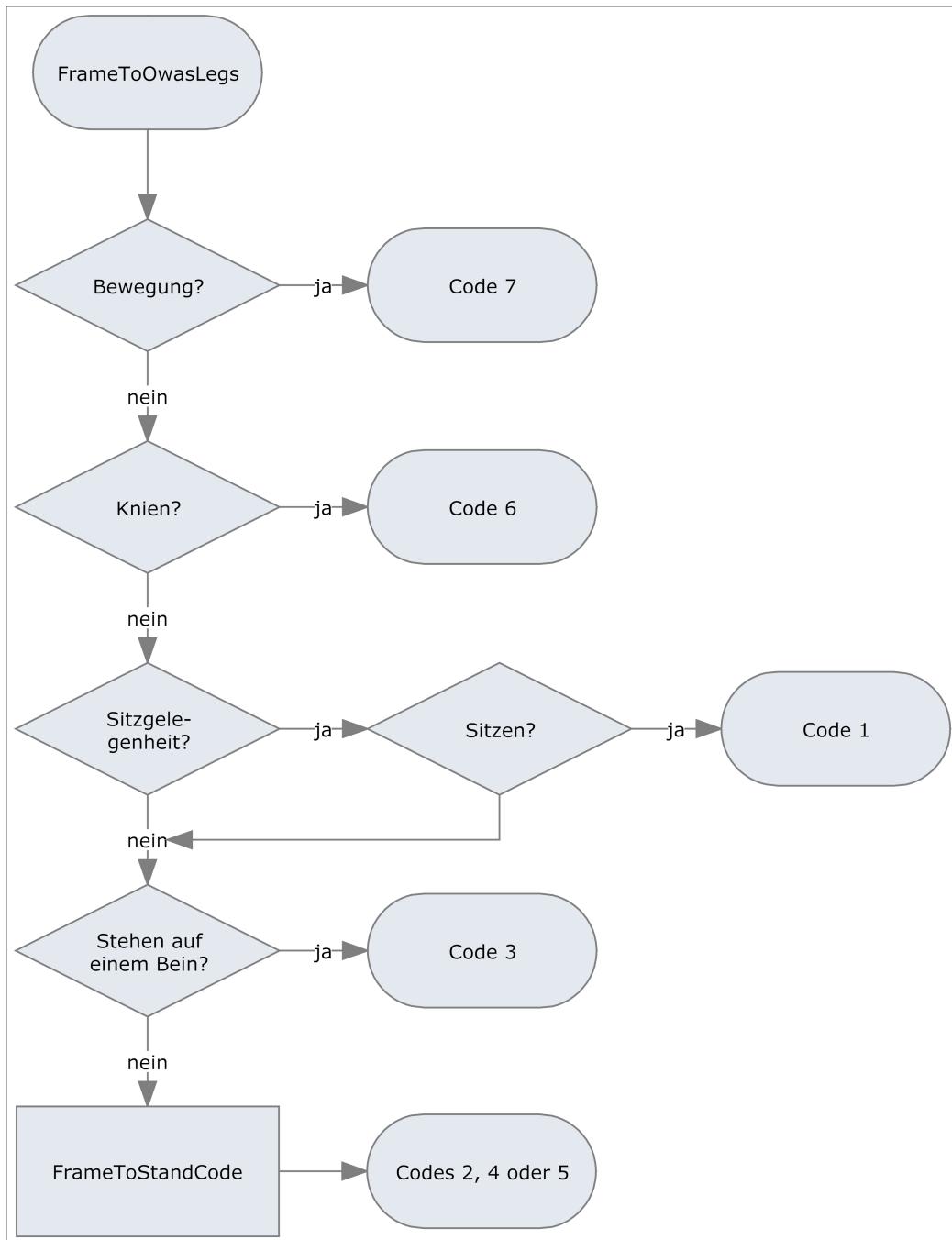


Abbildung 33: Flussdiagramm für die Bestimmung der Beinhaltung im Prototyp 4.

8.2.3.3.2 Knnen auf einem oder beiden Knen (Code „6“)

Als Kriterium für „Knen“ wurde im Prototyp 2 gewählt, dass der Knöchel auf etwa gleicher Höhe wie das Knie ist: Dafür werden in der Routine `IsKneeling` für das rechte Bein die Z-Koordinaten der Knoten `RightKnee` und `RightAnkle` (bzw. `LeftKnee` und `LeftAnkle` für das linke Bein) ausgewertet.

Steht der Proband allerdings auf einem Bein und winkelt das Knie des anderen Beins an, kann die Bedingung erfüllt sein, obwohl die richtige Kodierung in diesem Fall „Stehen auf einem Bein (3)“ wäre. Die Aufnahme „owas133-r1“ wurde mit dem Prototyp 2 deswegen falsch kodiert.

Daher wird im Prototyp 4 als weitere Bedingung ergänzt, dass bei Verdacht auf Knien mit einem Bein das Knie dieses Beines niedriger liegen muss als der Knöchel des anderen Beins (wäre das nicht so, müsste bei einem ebenen Boden ein Teil des anderen Beins im Boden stecken).

8.2.3.4 Manuelle Korrekturmöglichkeit

Für das Gesamtsystem wird eine fehlerfreie Erkennung der Körperhaltung angestrebt. Trotzdem kann es zu fehlerhaften Kodierungen kommen. Fehler können sich z. B. durch falsch angelegte Gyroskope ergeben, die erst während der Aufnahme verrutschen und daher erst zu spät bemerkt werden. Eine Aufzeichnung mit einer fehlerhaften Kodierung ist allerdings nur von sehr eingeschränktem Wert, da das Ergebnis der Kodierung direkt in die OWAS-Analyse eingeht.

Der Autor teilt darüber hinaus die Meinung von Raskin [41], nach der durch eine Automatik eine Aufgabe nicht erschwert oder gar unmöglich gemacht werden darf.

Im Prototyp 4 wurde daher eine Möglichkeit zur manuellen Korrektur fehlerhaft erkannter OWAS-Kodierung ergänzt. Damit lässt sich eine OWAS-Kodierung teilweise (wie in Abbildung 34, dort wird nur der Rücken korrigiert) oder auch komplett korrigieren.

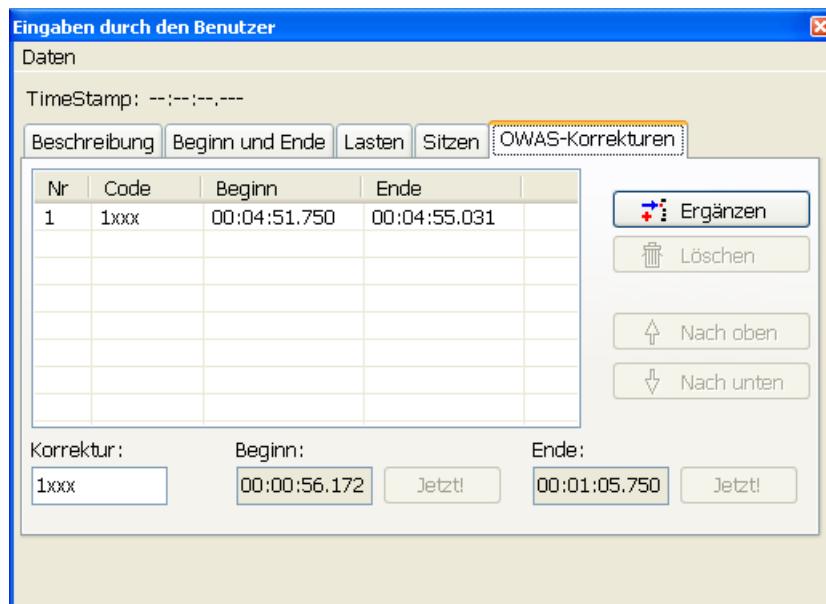


Abbildung 34: Möglichkeit der Korrektur von fehlerhaft erkannten OWAS-Kodierungen in OwasEvaluator

8.3 Evaluierung

OwasEvaluator erzeugt eine OWAS-Analyse, aus der heraus der Benutzer die Verteilung einer Körperhaltung oder ein Haltungskombination anzeigen lassen kann. Das erzeugte Diagramm lässt sich vom Benutzer modifizieren. Aus dem Diagramm heraus kann direkt zu einer interessierenden Stelle in der Aufzeichnung gesprungen werden, um den Kontext zu sehen. Zudem kann der Benutzer eine Erklärung (vollständige Darstellung) eines OWAS-Codes anzeigen lassen.

Die Programme MocapRecorder und MocapNachbereitung wurden zu einem Programm zusammengefasst. Das neue Programm MocapRecorder verwendet außerdem eine neuere Version der Schnittstelle zum Animazoo-System mit der Möglichkeit, Fehlern durch Abweichungen im Erdmagnetfeld zu kompensieren.

Die Programme MocapRecorder und OwasEvaluator können jetzt auf Englisch oder auf Deutsch betrieben werden. Eine Umschaltung ist während des laufenden Programms möglich. Die Sprache, mit der das Programm startet, kann in einer Datei festgelegt werden.

Die vom Programm MocapRecorder im Prototyp 4 erzeugten Bewegungsdaten haben nun die Endung „.mocap“.

Sowohl MocapRecorder als auch OwasEvaluator lassen sich zur Verwendung im CyberManS-Software-Interface konfigurieren.

Zur Prüfung der Erkennungsleistung wurde eine große Anzahl Aufnahmen angefertigt. Damit konnte außerdem gezeigt werden, dass die Aufnahme fehlerfrei implementiert ist. Die Aufnahmen wurden im Rahmen von zwei Versuchen („Versuch 1“ und „Versuch 2“) erstellt. Erläuterungen zu den Versuchen finden sich im Abschnitt „Experimentelle Überprüfung“ ab Seite 75.

Die im Versuch 1 erstellten 124 korrekten Aufnahmen wurden verwendet, um die Erkennungsleistung von OwasEvaluator aus dem Prototyp 4 zu prüfen. In allen Aufnahmen, bei denen „Sitzen“ erkannt werden musste, wurde die neue Funktion zu Erfassung einer Sitzgelegenheit angewendet (für den kompletten Zeitraum der Aufzeichnung). Alle 124 Aufzeichnungen werden durch den Prototyp 4 fehlerfrei erkannt.

Die während des Versuchs 2 erstellten vier Aufzeichnungen von jeweils etwa fünf Minuten Dauer wurden korrekt kodiert. Ausnahme war eine fehlerhafte Kodierung für den Rücken mit einer Dauer von weniger als vier Sekunden, die durch einen verrutschten Sensor verursacht wurde. Das Problem konnte durch eine manuelle Korrektur behoben werden.

Bezogen auf die während des Versuchs 2 erstellten Aufzeichnungen liegt die Fehlerrate (4 Sekunden bezogen auf insgesamt 20 Minuten Aufzeichnung, entspricht 0,33 %) deutlich besser als die bei der OWAS-Methode zu erwartende Abweichung durch verschiedene Beobachter.

8.4 Vergleich mit den zu erreichenden Zielen

Im Abschnitt „Ziel der Entwicklung“ wurden die Ziele für die zu entwickelnde Software festgelegt.

Prototyp 4 wurde am 31.3.2008 fristgerecht fertiggestellt.

Damit wurden alle dort definierten Ziele durch den Prototyp 4 erreicht.

8.5 Programmstruktur des Prototyp 4

Ein zentrales Element der vorliegenden Arbeit ist die erstellte Software (MocapRecorder und Owas-Evaluator).

Für beide Programme finden sich im Anhang Anleitungen (für MocapRecorder im Anhang 1, für OwasEvaluator im Anhang 2). In den Anleitungen sind auch Abbildungen der von den Programmen verwendeten Fenster enthalten.

Die Software wurde mit der Entwicklungsumgebung „Borland Developer Studio 2006“ entwickelt; die verwendete Programmiersprache ist „Delphi“ (ein Nachfolger von ObjectPascal).

Insgesamt wurden 38 Module erstellt, davon 13 für die Implementierung der sichtbaren Fenster.

Allein OwasEvaluator hat einen Umfang von mehr als 44.000 Zeilen. Ein Ausdruck würde bei normaler Druckgröße mehr als 500 Seiten benötigen (und immer noch mehr 125 Seiten, wenn jeweils 4 Seiten auf eine Seite verkleinert werden) und damit den Rahmen dieser Arbeit bei Weitem sprengen.

Die verwendete Entwicklungsumgebung enthält leistungsfähige Mechanismen für den Umgang mit komplexen Projekten. So lässt sich durch einen Mausklick auf einen im Quelltext verwendeten Bezeichner sofort seine Deklaration finden, auch wenn sie in einem anderen Modul abgelegt ist.

Auf eine Diskussion von einzelnen Algorithmen oder Datenstrukturen der gesamten entwickelten Software wird an dieser Stelle aus mehreren Gründen verzichtet:

- Ein zentraler Teil der entwickelten Software, nämlich die Erkennung der Körperhaltung, wurde bereits im Rahmen der Prototyp-Entwicklung dargestellt.
- Die für die Implementierung relevante Dokumentation ist im Quelltext der Module abgelegt und bezieht sich auf den dort stehenden Quelltext. Ohne den Quelltext und ohne das Hilfsmittel der Entwicklungsumgebung bringt eine solche Diskussion an dieser Stelle daher kaum einen Erkenntnisgewinn.
- Wo immer es sinnvoll war, wurde auf bereits entwickelte Software-Komponenten zurückgegriffen. Diese Komponenten sind bereits von den Autoren der Komponenten dokumentiert worden.
- Eine größere Anzahl von Modulen übernimmt Hilfsaufgaben, die nichts mit Motion Capturing oder der OWAS-Analyse zu tun haben. Das Modul `UText` stellt z. B. die für einen mehrsprachigen Betrieb (meint hier: die Sprache des Programms kann während der Laufzeit verändert werden, etwa von Deutsch auf Englisch) benötigten Texte zur Verfügung.

Statt dessen findet sich in Tabelle 19 ein Überblick über die Aufgaben der im Prototyp 4 verwendeten Module. Tabelle 19 führt neben dem Namen und der Beschreibung auch auf, in welchem Programm (MocapRecorder (MR) oder OwasEvaluator (OE)) das Modul verwendet und ob in ihnen auf Komponenten Dritter zurückgegriffen wird. Die Module stehen in alphabetischer Reihenfolge ihres Namens.

Module, die mit „F“ beginnen, definieren ein sichtbares Fenster (Aussehen und Verhalten auf Aktionen des Benutzers). Mit „U“ oder „DM“ beginnende Module enthalten Deklarationen, die sich nicht direkt mit den Reaktionen auf die Aktionen des Nutzers befassen (auf die aber von den anderen Modulen zurückgegriffen wird).

Das „Hauptprogramm“ der beiden Programme MocapRecorder und OwasEvaluator ist ebenfalls je ein Modul und heißt `MocapRecorder` bzw. `OwasEvaluator`. Sowohl OwasEvaluator als auch MocapRecorder sind 32-Bit-Programme für Windows. Sie sind ereignis-getrieben: Der Benutzer bestimmt den Ablauf des Programms durch Interaktion mit dem Programm.

Tabelle 19: Name und Beschreibung der im Prototyp 4 verwendeten Module. In der Spalte „verw. in“ bedeutet „OE“, das dieses Modul im Programm OwasEvaluator verwendet wird, „MR“ steht für eine Verwendung im Programm MocapRecorder.

Name	verw. in	Beschreibung
<code>DMFastXmlToSkeleton</code>	OE	Stellt die Methode <code>XmlFileToGyroSkeletonAndSync</code> zum Einlesen von in einer XML-Datei kodierten Bewegungsdaten zur Verfügung.
<code>FEditUserData</code>	OE	Definiert das Fenster für die Erfassung... <ul style="list-style-type: none"> • des die Aufnahme erläuternden Textes • des in der OWAS-Analyse zu berücksichtigenden Zeitraums • der zu handhabenden Lasten • der manuellen OWAS-Korrekturen

Name	verw. in	Beschreibung
FMocapPlayer	OE	Definiert ein Fenster, in dem Bewegungsdaten in Form eines Avatars angezeigt werden können.
FMocapRecorder	MR	Definiert ein Fenster, in dem die aktuell aufgenommenen Bewegungsdaten zu sehen sind.
FMocapRecorderMain	MR	Das Hauptfenster von MocapRecorder.
FOwasEvaluatorMain	OE	Das Hauptfenster von OwasEvaluator.
FSelectVideoDriver	MR	Ein Dialog zur Auswahl des Videotreibers für die Anbindung der Kamera, die für die Videoaufnahme verwendet wird.
FShowMetaMocapData	OE	<p>Definiert ein Fenster zum Anzeigen der Werte in <code>MetaMocapInfos</code>. <code>MetaMocapInfos</code> enthält aus den eigentlichen Bewegungsdaten abgeleitete Daten (z. B. die aktuelle Geschwindigkeit), die zu einem späteren Zeitpunkt für die OWAS-Kodierung benötigt werden.</p> <p>Die Anzeige wird für die OWAS-Analyse nicht benötigt; sie dient Prüfzwecken.</p>
FShowMocapData	OE	<p>Definiert das Fenster für die Anzeige der vom Animazoo-System gelieferten „Rohdaten“ (aktuelle Position sowie drei Winkel für jeden Knochen).</p> <p>Die Anzeige wird für die OWAS-Analyse nicht benötigt; sie dient Prüfzwecken.</p>
FShowOwasAnalysis	OE	Definiert das Fenster für die Anzeige der interaktiven OWAS-Analyse.
FShowOwasCode	OE	Definiert das Fenster zur Anzeige der aktuellen OWAS-Kodierung.
FShowOwasCode-Distribution	OE	Definiert das Fenster für die Darstellung der Verteilung der OWAS-Kodierungen über die Zeit.
FVideoPlayer	OE	Definiert das Fenster für die Wiedergabe von AVI-Dateien.
FVideoRecorder	MR	Definiert das Fenster für die Videoaufnahme.
MocapRecorder	MR	Hauptprogramm für MocapRecorder.
OwasEvaluator	OE	Hauptprogramm für OwasEvaluator.
UAviInfo	MR, OE	Definiert mehrere Klassen zur Analyse von AVI-Dateien. Abgeleitet (mit nur minimalen Änderungen) aus [41].

Name	verw. in	Beschreibung
UBVHParser	MR, OE	Definiert Werkzeuge für den Import- und Export von BVH-Dateien (das ist das Dateiformat, in dem das Animazoo-Gypsy-Gyro18-System die Bewegungsdaten speichert).
UCobraTools	MR, OE	Alle Deklarationen, Routinen usw., die für die Kommunikation mit dem Motion-Capturing-System GyroGysy18 von Animazoo benötigt werden. Diese Unit verwendet die SDK-Version von 2007-07-07, 12:01 (cobra.dll, exactrax.dll). Sie kapselt im Wesentlichen den Zugriff auf die DLL „cobra.dll“ von Animazoo [42].
UExtSysUtils	MR, OE	Ähnlich der von Borland bereit gestellten Unit <code>sysutils</code> enthält <code>UExtSysUtils</code> eine Sammlung von nützlichen Konstanten und Routinen (mit einem Schwerpunkt auf String-Routinen). Diese Unit ist vom Autor schon vor einigen Jahren entwickelt und seitdem erfolgreich eingesetzt worden.
UIDTextParser	MR, OE	Implementiert eine Klasse, die das Einlesen und Interpretieren einer Datei mit den Zuordnungen einer Nummer (Id) zu einem Text erlaubt. Über die Zuordnung lässt sich Sprache der Benutzeroberfläche variieren: Alle Module beziehen sich dazu nur auf eine Id; der gelieferte Text ändert sich je nach gewählter Sprache.
ULineReader	MR, OE	Definiert eine Klasse (<code>TLineReader</code>) für das schnelle Einlesen von sehr großen Textdateien.
UMatrixTools	MR, OE	Alle Deklarationen, Routinen usw., die für die Benutzung von Vektoren und Matrizen im Zusammenhang mit der Aufzeichnung und der Darstellung von Bewegungsdaten als einfacher Avatar in einem Fenster nötig sind. Abgeleitet aus „Dokus\SDK\Matrix.h“ [42].
UMocapRecorderTools	MR, OE	Definiert Typen, Variablen und Routinen, die von allen Bereichen des Programms MocapRecorder und OwasEvaluator benötigt werden.
UMocapRenderer	MR, OE	Alle Deklarationen, Routinen usw., die für die Darstellung der Bewegungsdaten als Avatar in einem Fenster nötig sind. Definiert dazu die Klasse <code>TMocapRenderer</code> , deren Methode <code>DrawSkizze</code> das eigentliche Zeichnen übernimmt.
UMocapToOwasCodes	OE	Zuständig für die Ermittlung der OWAS-Kodierungen aus den Bewegungsdaten.

Name	verw. in	Beschreibung
UMultiMediaTimer	OE	<p>Alle Deklarationen, Routinen usw. für die Nutzung des Windows-Multimedia-Timers.</p> <p>Definiert eine Klasse <code>TMutiMediaTimer</code>, die sich um das Handling der eigentlichen Timerfunktionen in „winMM.dll“ kümmert.</p> <p>Abgeleitet aus der Klasse <code>CairnTimer</code> der Fa. Cairn Research Ltd. [43].</p>
UOwasAnalysis	OE	Definiert Typen und Routinen, die für die Erzeugung einer OWAS-Analyse aus bestehenden OWAS-Kodierungen benötigt werden.
UOwasAnalysisToHtml	OE	Enthält die Routinen, die aus den Daten einer OWAS-Analyse eine Ausgabe im HTML-Format erzeugen.
UOwasEvaluator-Global	OE	Definiert einige Typen und Routinen, die von <code>FOwasEvaluatorMain</code> und anderen Modulen gemeinsam benötigt werden.
UPressor	MR, OE	Definiert eine Klasse für die Unterstützung von Fortschrittsanzeigen. Erlaubt dabei die Schachtelung von Aufgaben in Unteraufgaben.
UPressorHelper	MR, OE	Enthält Deklarationen, die nur von der Unit <code>UPressor</code> benötigt werden, für andere Units aber nicht von Bedeutung sind.
USynchronizer	MR, OE	<p>Definiert die Klasse <code>TSyncronizer</code>, mit der zwei asynchrone Datenquellen miteinander synchronisiert werden können.</p> <p>Geht davon aus, dass beide Datenquellen von Zeit zu Zeit Datenblöcke („Frames“) produzieren (verteilt über den gesamten Zeitraum, in dem Daten generiert werden).</p> <p>Ziel ist es, jedem Frame der einen Quelle einen Frame der anderen Quelle zuzuordnen.</p>
UText	MR, OE	<p>Definiert Routinen für die Zuordnung eines Textes zu einer <code>Id</code> (einer eindeutigen Zahl).</p> <p>Die zentrale Routine ist <code>GetText</code>, über die ein einer <code>Id</code> zugeordneter Text bezogen werden kann. In welcher Sprache der Text geliefert wird, hängt von der gewählten Sprache ab. Die Texte selber werden in einer Textdatei definiert, die bei Wahl einer Sprache geladen wird.</p> <p>Sorgt dafür, dass auch bei Fehlen der zu ladenden Texte für jede gültige <code>Id</code> ein Text geliefert wird (dann in der Vorgabe-Sprache, hier: deutsch.).</p> <p>Diese Unit entspricht einem Automat: Der innere Zustand ist die gewählte Sprache und die geladenen Texte.</p>

Name	verw. in	Beschreibung
UVideocapturing	MR, OE	<p>Definiert die Komponente <code>TVideoCap</code>, mit der die Aufnahme einer Videodatei mit einer Kamera als Quelle einfach erreicht werden kann. Während der Aufnahme kann der aktuelle aufgezeichnete Frame bestimmt werden. Die Kamera kann über die USB-Schnittstelle (Universal Serial Bus) angeschlossen werden.</p> <p>Diese Unit wurde abgeleitet aus der Unit „videocap.pas“ aus dem Paket „TVideo“ von J. Hübler [44].</p>
UVideoforWindows	MR, OE	<p>Definiert die nötigen Konstanten, Routinen usw. für den Zugriff auf die „Video for Windows“ Schnittstelle von Windows. Diese Unit wurde abgeleitet aus der Unit „vfw.pas“ aus dem Paket „TVideo“ von J. Hübler [45].</p>
UWinTools	OE	<p>Diese Unit implementiert Routinen rund um Windows: Zugriff auf spezielle Ordner, Shells, Dateiversionen usw.</p> <p>Diese Unit ist vom Autor schon vor einigen Jahren entwickelt und seitdem erfolgreich eingesetzt worden.</p>
UXmlMocapTools	MR, OE	<p>Die Unit implementiert das Laden von Bewegungsdaten im XML-Format mit Hilfe der Klasse <code>IXMLDocument</code>, die über Windows angesprochen wird und den Zugriff auf XML-Dateien erlaubt.</p> <p>Zusätzlich definiert die Unit die Routine <code>SingleToStrFixed6</code>. Bei großen XML-Dateien (wie sie z. B. bei einer 45-minütigen Aufnahme entstehen) führt die Verwendung zu nicht akzeptablen Laufzeiten des Programms. Für das Interpretieren der XML-Dateien beim Öffnen einer Datei mit Bewegungsdaten wird daher das Modul <code>UXmlScanner</code> verwendet.</p>
UXmlScanner	MR, OE	<p>Definiert die Klassen <code>TXmlScanner</code> und <code>TEasyXmlScanner</code> für den schnellen lesenden Zugriff auf XML-Dateien.</p> <p>Abgeleitet aus der Unit „LibXmlComps.pas“ von Stefan Heymann [46].</p>
UXmlScannerHelper	MR, OE	<p>Definiert die eigentliche Implementierung der in der Unit <code>UXmlScanner</code> veröffentlichten Klassen <code>TXmlScanner</code> und <code>TEasyXmlScanner</code> für den schnellen lesenden Zugriff auf XML-Dateien.</p> <p>Abgeleitet aus der Unit „LibXmlParser.pas“ von Stefan Heymann [47].</p>

9 Experimentelle Überprüfung

Eine OWAS-Analyse basiert auf der korrekten Kodierung der während der zu analysierenden Tätigkeit eingenommenen Körperhaltungen. Die semi-automatische Erkennung muss durch die entwickelte Software geleistet werden; ebenso die anschließende Berechnung der OWAS-Analyse.

Um die Korrektheit der OWAS-Analyse zu überprüfen, wurde die entwickelte Software in zwei Versuchen (Versuch 1 und Versuch 2) getestet.

Versuch 1 konzentriert sich auf die korrekte Erkennung der möglichen OWAS-Kodierungen. Dazu wird angestrebt, eine Anzahl von Aufnahmen mit Bewegungsdaten zu erstellen, so dass die Körperhaltung jeder möglichen OWAS-Kodierung mindestens einmal eingenommen wird¹². Versuch 1 wurde an mehreren Prototypen (inklusive dem finalen Prototyp 4) angewandt und leistete wertvolle Hilfestellung bei der Implementierung der OWAS-Analyse.

Im Versuch 2 wird eine Montagetätigkeit aus der Automobilfertigung nachgestellt. Dazu greift der Versuch 2 auf das Szenario „Montagetätigkeit im Kofferraum“ zurück. Die Bewegungen des Probanden werden wieder aufgezeichnet; aus den Bewegungsdaten wird dann eine OWAS-Analyse abgeleitet. Die semi-automatisch generierte OWAS-Analyse wird dann mit dem Ergebnis einer OWAS-Analyse verglichen, die „konventionell“ durch einen menschlichen Beobachter gewonnen wird. Versuch 2 wird mit dem (finalen) Prototyp 4 durchgeführt.

Versuch 1 und Versuch 2 sind im Folgenden beschrieben.

9.1 Versuch 1

9.1.1 Vorüberlegungen

Im Versuch 1 wird eine Sammlung von Aufnahmen erstellt, in der möglichst für jede mögliche OWAS-Kodierung mindestens eine Körperhaltung vorhanden ist. Dies geschieht in drei Schritten:

1. Aufnahme der Bewegungsdaten mit einem Prototyp der entwickelten Software.
2. Es wird geprüft, ob die gewünschte Körperhaltung aufgenommen wurde. Die gewünschte Körperhaltung soll mindestens für ein bis zwei Sekunden eingenommen werden.
3. Schließlich wird getestet, ob der zu testender Prototyp der aufgenommenen Körperhaltung die richtige OWAS-Kodierung zuordnet.

Sekundäre Ziele des Versuch 1 sind:

- Mit dem Animazoo-System und (später) den jeweils neu erstellten Prototypen sollen erste praktische Erfahrungen gesammelt werden.
- Aus diesen Erfahrungen sollen Anforderungen für die nächsten Prototypen und mögliche spätere Messungen abgeleitet werden.
- Als „Nebenwirkung“ entsteht ein Archiv von Bewegungsdaten, denen eine bestimmte Körperhaltung zuzuordnen ist. Dieses Archiv kann später für eine mögliche Implementierung weiterer ergonomischer Analysemethoden zumindest teilweise wiederverwendet werden.

Insgesamt lassen sich mit OWAS 252 gültige Haltungskombinationen kodieren. Dieser Wert ergibt sich aus vier möglichen Kodierungen für den Rücken, drei Möglichkeiten für die Armhaltung und sieben möglichen Kodierungen für die Beinhaltung sowie drei Gewichtsklassen ($4*3*7*3=252$).

12 Das gelang nicht für alle theoretisch möglichen OWAS-Kodierung; Details dazu finden sich im Abschnitt „Versuch 1“

Aus ökonomischen Gründen wurde eine Reduzierung vorgenommen und die beiden Gewichtsklassen mit mehr als 10 kg Gewicht nicht berücksichtigt, so dass sich nur noch 84 (4*3*7) mögliche Kodierungen ergeben.

9.1.1.1 Aufnahme

Die Videoaufnahme übernimmt der zu testende Prototyp. Bei den Aufnahmen ist darauf zu achten, dass die Körperhaltung der Testperson stets gut zu sehen ist. Der übermäßig lange Einsatz der Testperson ist zu vermeiden. Wenn möglich, sollen Aufnahmen über den Tag verteilt werden, um mögliche Einflüsse durch die Tageszeit entdecken zu können.

Den erzeugten Dateien ist zur späteren Zuordnung ein Dateiname zu geben, der die gewünschte OWAS-Kodierung enthält (z. B. „owas111“ für die OWAS-Kodierung „111“).

9.1.1.2 Prüfung der gewünschten Körperhaltung

Für jede erstellte Aufnahme muss ermittelt werden, ob sie tatsächlich die gewünschte Körperhaltung enthält. Das Ergebnis ist zu dokumentieren.

9.1.1.3 Test der Zuordnung

Das Ergebnis der Zuordnung von Körperhaltung zur OWAS-Kodierung an den Stellen mit der gewünschten Körperhaltung ist zu dokumentieren.

9.1.2 Erste Staffel

Eine erste Staffel von Aufnahmen wurde im Oktober 2007 erstellt. In der ersten Staffel entstanden 101 Aufnahmen. Dabei wurde angestrebt, eine Sammlung von Aufnahmen zu erstellen, in der möglichst für jede mögliche OWAS-Kodierung mindestens eine Körperhaltung vorhanden ist.



Abbildung 35: Testperson bei der Aufnahme der ersten Staffel für den Versuch 1.

Aufgenommen wird die Körperhaltung mit der OWAS-Kodierung „131“ (gerader Rücken, beide Arme oberhalb der Schulterhöhe, sitzend)

Einige Kodierungen lassen einen Spielraum für die Interpretation der Körperhaltung. So kann mit der Formulierung „Stehen auf einem Bein“ sowohl das Stehen auf dem linken als auch das Stehen

auf dem rechten Bein gemeint sein. Stichprobenartig wurde daher bei solchen Kodierungen mehr als eine Aufnahme angefertigt.

Die Aufnahmen fanden im freien Raum statt; abgesehen von einer Sitzgelegenheit wurden keine weiteren Objekte verwendet, um mögliche störende Einflüsse zu vermeiden. Die Aufnahme wurden zu verschiedenen Tageszeiten erstellt. Um einer Ermüdung der Testperson entgegen zu wirken, wurden die Aufnahmen auf mehrere Tage (5. bis 12. Oktober 2007) verteilt. Für die Aufnahme und für den Test auf korrekte Zuordnung der OWAS-Kodierung wurde Prototyp 2 verwendet.

Abbildung 35 zeigt die Testperson bei einer Aufnahme der ersten Staffel.

Tabelle 20 enthält die Liste der erstellten Aufnahmen. In der Spalte „OWAS-Kodierung“ steht die gewünschte Haltungskombination, „Dateiname“ gibt in Kurzform den Namen der erstellten Datei an. Wenn in der Spalte „Aufnahme“ „ok“ vermerkt ist, dann ist in der Aufnahme die gewünschte Körperhaltung enthalten. „Erkennung Prototyp 2“ gibt an, ob die Zuordnung der OWAS-Kodierung durch den Prototyp 2 korrekt gelang. „Kommentar“ enthält die vom Versuchsleiter angemerkteten Texte.

Tabelle 20: Liste der im Versuch 1 in der ersten Staffel erstellten Aufnahmen

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Erkennung Prototyp 2	Kommentar
1	111	owas111	ok	ok	
2	112	owas112	ok	ok	
3	113	owas113a	ok	ok	
4	113	owas113b	ok	ok	
5	114	owas114	ok	Nicht ok: 214	Der Rücken ist nach vorne gebeugt. Die Körperhaltung wird als 214 erkannt.
6	115	owas115a	nicht ok	214, 413	Die Körperhaltung wird als 214 bzw. 413 erkannt.
7	115	owas115b	nicht ok	214, 413	Die Körperhaltung wird als 214 bzw. 413 erkannt.
8	116	owas116	ok	ok	
9	117	owas117	ok	ok	
10	121	owas121a	ok	ok	Die Körperhaltung wird durchgehend als 121 erkannt.
11	121	owas121b	ok	ok	Die Körperhaltung wird durchgehend als 121 erkannt.
12	122	owas122a	ok	nicht ok	Die Körperhaltung wird am Anfang als 122, aber später als 222 erkannt.
13	122	owas122b	ok	ok	Die Körperhaltung wird als 122 durchgehend erkannt.
14	123	owas123	ok	nicht ok	Programm erkennt 323.
15	124	owas124	nicht ok	ok: 324	Programm erkennt 324.
16	125	owas125	nicht ok	ok: 123	Programm erkennt (richtig) 123.
17	126	owas126a	ok	ok	Die Körperhaltung wird als 126 durchgehend erkannt.
18	126	owas126b	ok	ok	Die Körperhaltung wird durchgehend als 126 erkannt.

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Erkennung Prototyp 2	Kommentar
19	127	owas127a	ok	nicht ok	Programm erkennt 227: Rücken sei gebeugt.
20	127	owas127b	ok	ok	Die Körperhaltung wird als 127 fast die ganze Zeit erkannt.
21	131	owas131	ok	ok	
22	132	owas132	ok	nicht ok	Die Körperhaltung wird als 132 erkannt, später als 232.
23	133	owas133	ok	nicht ok	Die Körperhaltung wird falsch als 136 erkannt.
24	134	owas134	ok	ok	
25	135	owas135	nicht ok	nicht ok	Die Körperhaltung wird falsch als 136 erkannt (richtig wäre 133).
26	136	owas136	ok	ok	
27	137	owas137	ok	nicht ok	Die Körperhaltung wird als 137 bzw. 237 erkannt.
28	211	owas211a	nicht ok: Rücken ist zur Seite gebeugt	ok	Die Körperhaltung wird (wegen der fehlerhaften Beugung zur Seite) als 411 erkannt.
29	211	owas211b	ok	ok	Die Körperhaltung wird korrekt als 211 erkannt. Der Rücken ist nach hinten gebeugt.
30	212	owas212	nicht ok: der Rücken ist nicht gebeugt, sondern die Knie sind abgewinkelt	ok	Die Körperhaltung wird korrekt als 212 erkannt. Der Rücken ist nach hinten gebeugt.
31	213	owas213	ok	ok	
32	214	owas214	ok	nicht ok	Die Körperhaltung wird falsch als 414 erkannt.
33	215	owas215	nicht ok	ok: 416	Falsche Körperhaltung aufgenommen.
34	216	owas216	nicht ok	ok: 116	Der Rücken ist nicht gebeugt, sondern der Rumpf angewinkelt.
35	217	owas217	ok	nicht ok	Erkennung zunächst richtig 217, am Ende jedoch noch 417.
36	221	owas221	nicht ok	ok	Rumpf ist angewinkelt, Rücken aber nicht gebeugt.
37	222	owas222	nicht ok: Der Arm ist nicht oberhalb der Schulter	ok: 212	Der rechte Arm bleibt unter Schulterhöhe.
38	223	owas223	ok	ok	
39	224	owas224	ok	ok: 214	Der rechte Arm ist nur sehr kurz oberhalb der Schulterhöhe.

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Erkennung Prototyp 2	Kommentar
40	225	owas225	nicht ok: Nur ein Fuß auf dem Boden	nicht ok: Beine „6“ ist falsch („3“ wäre richtig), Rücken „4“ statt „2“	Die Körperhaltung wird falsch als 426 bzw. 216 erkannt. Richtig wäre 223.
41	226	owas226a	nicht ok	ok	Rumpf ist angewinkelt, Rücken aber nicht gebeugt.
42	226	owas226b	nicht ok	ok	Rumpf ist angewinkelt, Rücken aber nicht gebeugt.
43	227	owas227a	ok	nicht ok	Programm erkennt 427.
44	227	owas227b	nicht ok	ok	Programm erkennt 427.
45	231	owas231	nicht ok: Der Rücken selbst ist gerade (nur der Rumpf ist abgewinkelt).	ok	Interessant: Nach MoCap-Daten ist der Rücken nicht gebeugt, sondern der ganze Rumpf angewinkelt. Programm erkennt dadurch 211 (Rücken gerade).
46	232	owas232	ok	ok	Arme sind nur für einen ganz kurzen Moment oberhalb der Schulterhöhe, dort wird auch 232 erkannt.
47	233	owas233	nicht ok: Videodatei fehlt.		Es muss neu aufgenommen werden.
48	234	owas234	nicht ok: siehe Kommentar	bedingt ok: 214, siehe Kommentar	Aufnahme: Rumpf abgewinkelt statt Rücken gebeugt, Arme nicht oberhalb Schulterhöhe. Beugung des Rückens wird (fälschlicherweise) erkannt.
49	235	owas235	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 233 und 223	Aufnahme: Stehen auf einem Bein
50	236	owas236	nicht ok: Siehe Kommentar	ok: 136	Der Rücken selbst ist gerade (nur der Rumpf ist abgewinkelt).
51	237	owas237	nicht ok	ok: 427	Hüfte ist schief.
52	311	owas311a	nicht ok: Rücken ist stets gebeugt	ok: 411	Außerdem: Gewünschte Haltung nur zu Beginn der Aufnahme für wenige Sekunden zu sehen; der überwiegende Teil zeigt die Haltung 111.
53	311	owas311b	ok	nicht ok: 411	Die Körperhaltung wird falsch als 411 erkannt.
54	312	owas312a	ok	ok	
55	312	owas312b	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 112	Hüfte und Schultern werden zusammen gedreht; der Rücken selbst ist nicht verdreht.
56	313	owas313	ok	ok	
57	314	owas314	ok	ok	
58	315	owas315	nicht ok: siehe Kommentar	nicht ok: 413	Aufnahme: Stehen auf einem Bein.
59	316	owas316	ok	ok	
60	317	owas317	ok	nicht ok: 117	
61	321	owas321	ok	ok	

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Erkennung Prototyp 2	Kommentar
62	322	owas322a	ok	ok	
63	322	owas322b	ok	ok	
64	323	owas323a	nicht ok: 336 (siehe Kommentar)		Aufnahme: Offensichtlich falsche Körperhaltung aufgenommen.
65	324	owas324	ok	ok	
66	325	owas325	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 323	Aufnahme: Stehen auf einem Bein.
67	326	owas326a	ok	ok	
68	326	owas326b	ok	ok	
69	327	owas327	nicht ok: Kanal „Hips“ liefert nur 0	nicht ok: 127	
70	331	owas331	ok	ok	
71	332	owas332	ok	ok	
72	333	owas333	ok	ok	
73	334	owas334	ok	ok	
74	335	owas335	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 333	Aufnahme: Stehen auf einem Bein.
75	336	owas336	ok	ok	
76	337	owas337	ok	nicht ok: 137 beim Gehen, 337 beim Stehen	
77	411	owas411a	ok	nicht ok	Zu Beginn korrekt, später 311 erkannt.
78	411	owas411b	ok	nicht ok	siehe owas411a
79	412	owas412a	ok	ok	
80	412	owas412b	ok	ok	
81	413	owas413	ok	ok	
82	414	owas414	ok	ok	
83	415	owas415	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 413	Aufnahme: Stehen auf einem Bein
84	416	owas416	ok	ok	
85	417	owas417	ok	ok	
86	421	owas421	ok	ok	
87	422	owas422a	nicht ok	ok: 322	Der Rücken ist nicht gebeugt, nur der Rumpf angewinkelt.
88	422	owas422b	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 322	Der Rücken ist nicht gebeugt, nur der Rumpf angewinkelt.
89	423	owas423	ok	ok	
90	424	owas424	ok	ok (424 und 423)	Haltung 424 nur sehr kurz gehalten.
91	425	owas425	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 423	Aufnahme: Stehen auf einem Bein.

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Erkennung Prototyp 2	Kommentar
92	426	owas426	nicht ok	ok: 326	Der Rücken ist nicht gebeugt, nur der Rumpf angewinkelt
93	427	owas427a	nicht ok: Arm nicht oberhalb Schulterhöhe	ok: 317	
94	427	owas427b	nicht ok: siehe Kommentar		Aufnahme: Arm nicht oberhalb Schulterhöhe; Rücken gerade, nur Rumpf abgewinkelt.
95	431	owas431	ok	nicht ok: Erkennt nur kurz 431, dann 331	
96	432	owas432	nicht ok	ok: 332	Der Rücken ist nicht gebeugt, nur der Rumpf angewinkelt.
97	433	owas433	ok	ok	
98	434	owas434	ok, aber siehe Kommentar	ok: 433	434 nur sehr kurz zu sehen, danach wird linker Fuß angehoben (das wäre 433).
99	435	owas435	nicht ok: siehe Kommentar	ok: 433	Aufnahme: Stehen auf einem Bein; instabile Körperhaltung.
100	436	owas436	nicht ok	ok: 336	Der Rücken ist nicht gebeugt, nur der Rumpf angewinkelt.
101	437	owas437	nicht ok	ok: 337	Aufnahme: Rücken gerade, nur Rumpf abgewinkelt.

Wie aus Tabelle 20 zu entnehmen ist, mussten einige Körperhaltungen neu aufgenommen werden. Die folgende Liste fasst die Dateinamen der Aufnahmen zusammen, bei denen nicht die gewünschte Haltungskombination aufgenommen wurde: owas115a, owas115b, owas124, owas125, owas135, owas211a, owas212, owas215, owas216, owas221, owas222, owas225, owas226a, owas226b, owas227b, owas231, owas233, owas234, owas235, owas236, owas237, owas311a, owas311b, owas315, owas323a, owas325, owas327, owas335, owas415, owas425, owas427a, owas427b, owas432, owas435, owas436 und owas437.

Bei einer Anzahl der Aufnahmen wurde nicht die gewünschte, sondern (eine oder mehrere) andere Körperhaltung(en) aufgenommen. Diese sind in der Tabelle 20 als „nicht ok“ klassifiziert; können aber für den Test auf korrekte Erkennung der tatsächlich aufgenommenen Körperhaltungen verwendet werden. Tabelle 21 zeigt die Dateinamen der originalen (fehlerhaften) Aufnahme, die tatsächlich aufgenommene Haltungskombination und den Dateinamen, unter der die Datei neu geführt wird.

Tabelle 21: Liste der in der ersten Staffel aufgenommenen Dateien, die für weitere Tests unter neuen Namen geführt werden

Dateiname der fehlerhaften Aufnahme	Körperhaltung	Neuer Dateiname
owas115a	213	owas213-r1
owas115b	214	owas214-r1
owas125	123	owas123-r1
owas135	133	owas133-r1

Dateiname der fehlerhaften Aufnahme	Körperhaltung	Neuer Dateiname
owas215	213	owas213-r2
owas221	121	owas121-r1
owas225	223	owas223-r1
owas226a	126	owas126-r1
owas226b	126	owas126-r2
owas227b	427	owas427-r1
owas235	233	owas233-r1
owas236	136	owas136-r1
owas315	313	owas313-r1
owas323a	336	owas336-r2
owas325	323	owas323-r1
owas335	333	owas333-r1
owas415	413	owas413-r1
owas422a	322	owas322-r1
owas422b	322	owas322-r2
owas425	422	owas422-r1
owas425	423	owas423-r1
owas425	424	owas424-r1
owas426	326	owas326-r1
owas432	332	owas332-r1
owas436	336	owas336-r1

Mit den unter neuen Namen eingebrachten Dateien stehen damit nach dem ersten Durchgang 86 Aufnahmen zur Verfügung, mit denen die Erkennungsleistung von künftigen Prototypen getestet werden kann.

9.1.2.1 Fehlerhafte Aufzeichnungen

Einige Aufnahmen sind nicht korrekt oder fehlen, weil schlicht die falsche Körperhaltung aufgenommen wurde oder beim Verwalten der Dateien Fehler unterliefen. Bei einigen anderen zeigen sich allerdings systematische Fehler. Diese werden im Folgenden analysiert, um sie für zukünftige Aufnahmen vermeiden zu können.

9.1.2.1.1 Rücken

Wird der ganze Rumpf abgewinkelt und bleibt der Rücken dabei gerade (Rumpfneigung), so erkennt das Programm dafür korrekt die Kodierung „Rücken gerade (1)“. Nur wenn die Rücken selbst gebeugt wird (die Wirbelsäule also einen Bogen beschreibt), erkennt das Programm auf „Rücken gebeugt (2)“. Analog dazu wird keine Verdrehung des Rückens erkannt, wenn die Hüfte zusammen mit der Schulter gedreht wird, weil dann ebenfalls der Rücken selbst nicht verdreht ist.

Hinweis für spätere Aufnahmen: Für die korrekte Erkennung der Haltung des Rückens ist es wichtig, dass der für den Animazoo-Knochen „Chest“ zuständige Sensor korrekt angelegt ist, d. h. sich bei Beugung und Verdrehung des Rückens auch tatsächlich synchron mit dem Rücken bewegt. Eine zu lockere Verbindung mit dem Rücken kann dazu führen, dass der Sensor sich gar nicht erst bewegt oder im Sinne einer Hysterese fehlerhafte Werte liefert.

9.1.2.1.2 Arme

Bei der Armhaltung ist darauf zu achten, dass sich die Arme tatsächlich oberhalb der Schulterhöhe befinden. Bei gebeugtem Rücken ist das bei nur nach vorn gestreckten Armen nicht der Fall. Dies betrifft die Aufnahmen owas222, owas224, owas232, owas234, owas427a und owas427a.

9.1.2.1.3 Beine

Wie aus der Liste zu erkennen ist, enthält sie alle Aufnahmen mit der Beinkodierung „5“ (stehen oder kauern mit einem angewinkelten Knie): owas115, owas125 usw. Dies ist auf einen systematischen Fehler bei den Aufnahmen zurückzuführen: Dort wurde diese Haltung erzeugt, indem der Proband auf einem Bein stehend das andere Bein am Knie anwinkelte. Der Prototyp kodierte diese Haltungen dann jedoch (korrekterweise) mit der Beinkodierung „3“ (stehen auf einem Bein).

9.1.2.1.4 Allgemeines

Teilweise ergeben sich Schwierigkeiten, einzelne Körperhaltungen ohne Hilfsmittel (etwa Festhalten an einem Stuhl) überhaupt einzunehmen und dabei das Gleichgewicht zu halten. Beispiele dafür sind die Aufnahmen owas433 (Rücken gedreht und gebeugt, beide Arme oberhalb der Schulterhöhe, auf einem Bein stehend) oder auch owas437 (Rücken gedreht und gebeugt, beide Arme oberhalb der Schulterhöhe, gehend). Es fällt dann schwer, auch nur über einen sehr kurzen Zeitraum hinaus die Körperhaltung beizubehalten bzw. den Körper ruhig zu halten. In solchen Fällen sollten durchgängig Hilfsmittel verwendet werden.

9.1.2.2 Vom Prototyp 2 falsch kodierte Körperhaltungen

Neben der Fehlerquelle „fehlerhafte Aufzeichnung“ wurden Fehlleistungen des Prototyp 2 bei der Erkennung der OWAS-Kodierung festgestellt:

9.1.2.2.1 Rücken

- Im Prototyp 2 wurde für die Erkennung der Kodierung des Rückens die Stellung des Animazoo-Knochens „Hips“ verwendet. Dies ist nicht korrekt, da über diesen Knochen auch die Drehung des gesamten Körpers im Raum angegeben wird. Eine Drehung des Körpers um die Z-Achse führt also zu einer Änderung des Wertes „HipsZ“ und damit zu einer fehlerhaften Kodierung als „Rücken gedreht (3)“.

9.1.2.2.2 Arme

Keine Beanstandungen.

9.1.2.2.3 Beine

Auch hier ergaben sich einige fehlerhafte Kodierungen durch das Programm:

- Teilweise wurde die Beinkodierung „Gehen (7)“ erkannt, obwohl der Proband nicht wirklich ging, sondern sich hin kniete oder wieder aufstand. Dies ist z. B. in der Aufnahme „owas116“ ab Sekunde 4,516 zu sehen.
Abhilfe: Hier muss noch ein Kriterium ergänzt werden, dass auf einen mindestens zurückgelegten Weg abstellt.
- Die Beinkodierung „Gehen (7)“ wird erst erkannt, wenn der Proband bereits eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hat. Es erscheint sinnvoll, eine gewisse Zeit vor und nach dem Erreichen bzw. Unterschreiten der Mindestgeschwindigkeit ebenfalls als „7“ zu kodieren. Diese Zeit muss so bemessen sein, dass ein menschlicher Beobachter mit der Einschätzung von Beginn und Ende des Vorgangs „Gehen“ übereinstimmt.
- Die Beinkodierung „Knien (6)“ wird fälschlicherweise erkannt, wenn der Proband auf einem Bein stehend den Fuß des anderen Beins in Kniehöhe bringt.
Abhilfe: Die Kodierung „6“ wird nur angenommen, wenn nicht der andere Fuß eine deutlich tiefere Position einnimmt.

9.1.3 Zweite Staffel

Zur Ergänzung der Aufnahmen aus der ersten Staffel wurde eine zweite Staffel mit Aufnahmen ergänzt. Dabei lag der Schwerpunkt auf den Aufnahmen aus der ersten Staffel, bei denen die falsche Körperhaltung aufgenommen wurde.

Die Aufnahmen fanden im freien Raum statt; abgesehen von einer Sitzgelegenheit wurden keine weiteren Objekte verwendet, um mögliche störende Einflüsse zu vermeiden. Die Aufnahme wurden zu verschiedenen Tageszeiten erstellt. Um einer Ermüdung der Testperson entgegen zu wirken, wurden die Aufnahmen auf mehrere Tage (26. November bis 13. Dezember 2007) verteilt. Für die Aufnahme wurde der Prototyp 2 verwendet.

Tabelle 22 enthält die Liste der erstellten Aufnahmen. In der Spalte „OWAS-Kodierung“ steht die gewünschte Haltungskombination, „Dateiname“ gibt den Namen der erstellten Datei an. Wenn in der Spalte „Aufnahme“ „ok“ vermerkt ist, dann ist in der Aufnahme die gewünschte Körperhaltung enthalten. „Kommentar“ enthält die vom Versuchsleiter angemerkten Texte. Für den Test auf korrekte Zuordnung der OWAS-Kodierung wurde Prototyp 4 verwendet. Dabei wurden alle korrekt aufgenommenen Körperhaltungen richtig zugeordnet; die Spalte „Erkennung Prototyp 4“ entfällt daher.

Tabelle 22: Liste der im Versuch 1 in der zweiten Staffel erstellten Aufnahmen

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Kommentar
1	114	owas114-d2	ok	
2	115	owas115a-d2	ok	
3	115	owas115b-d2	ok	
4	215	owas215-d2	ok	

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Kommentar
5	222	owas222-d2	ok	
6	224	owas224-d2	ok	
7	231	owas231-d2	ok	
8	232	owas232-d2	ok	
9	233	owas233-d2	ok	
10	234	owas234-d2	ok	
11	311	owas311-d2	nicht ok	Ab dem Hinsetzen stimmen die Werte für die Beugung des Rückens nicht. Verrutschter Sensor?
12	315	owas315-d2	ok	
13	323	owas323-d2	ok	
14	411	owas411-d2	ok	
15	432	owas431-d2	ok	
16	437	owas437-d2	ok	
17	111	owas111-d2b	ok	
18	114	owas114-d2b	ok	
19	115	owas115-d2b	ok	
20	124	owas124-d2b	ok	
21	125	owas125-d2b	ok	
22	127	owas127-d2b	ok	
23	135	owas135-d2b	ok	
24	211	owas211-d2b	ok	
25	212	owas212-d2b	nicht ok	Hüfte steht schief.
26	215	owas215-d2b	nicht ok	213 aufgenommen.
27	216	owas216-d2b	ok	
28	222	owas222-d2b	ok	Enthält nur kurze Abschnitte mit 222.
29	224	owas224-d2b	nicht ok	Rücken verdreht, um Gleichgewicht halten zu können.
30	225	owas225-d2b	nicht ok	Stehen mit Gewicht auf einem Bein.
31	231	owas231-d2b	nicht ok	Rücken ist schief.
32	232	owas232-d2b	nicht ok	Rücken ist schief

Nr.	OWAS-Kodierung	Dateiname	Aufnahme	Kommentar
33	233	owas233-d2b	ok	
34	234	owas234-d2b	ok	
35	235	owas235-d2b	nicht ok	Stehen mit Gewicht auf einem Bein.
36	311	owas311-d2b	ok	
37	313	owas313-d2b	ok	
38	315	owas315-d2b	nicht ok	Rücken ist nicht gedreht.
39	323	owas323-d2b	nicht ok	Rücken ist nicht gedreht
40	325	owas325-d2b	ok	
41	327	owas327-d2b	ok	
42	335	owas335-d2b	nicht ok	Rücken ist nicht gedreht.
43	337	owas337-d2b	nicht ok	Rücken ist nicht gedreht.
44	411	owas411-d2b	ok	
45	415	owas415-d2b	nicht ok	Stehen mit Gewicht auf einem Bein.
46	424	owas424-d2b	ok	
47	425	owas425-d2b	ok	
48	427	owas427-d2b	nicht ok	Rücken- und Gleichgewichtsprobleme
49	434	owas434-d2b	ok	
50	435	owas435-d2b	nicht ok	Rücken- und Gleichgewichtsprobleme
51	437	owas437-d2b	ok	

Mit den in der zweiten Staffel erstellten Aufnahmen stehen nun insgesamt 124 Aufnahmen mit korrekt aufgenommener Körperhaltung zur Verfügung (28 Aufnahmen enthielten nicht die gewünschte Körperhaltung). Fast alle möglichen OWAS-Kodierungen wurden dabei eingenommen¹³.

9.1.4 Finaler Test mit Prototyp 4

Alle Aufnahmen, in denen die gewünschte Körperhaltung enthalten ist, wurden mit dem Prototyp 4 auf die richtige Zuordnung der OWAS-Kodierung getestet; es gab keine fehlerhafte Zuordnung; alle Körperhaltungen wurden richtig zugeordnet.

9.2 Versuch 2

Im Versuch 1 wird die Zuordnung der Körperhaltung zu einer OWAS-Kodierung untersucht, wobei relativ kurze Aufnahmen (mit einer Dauer von unter einer Minute) verwendet werden.

¹³ Auch Karhu stellte in der ersten Veröffentlichung über die OWAS-Methode [10] fest, dass nur 72 von 84 möglichen Haltungskombinationen tatsächlich auch beobachtet werden konnten.

Im Versuch 2 wird getestet, ob die entwickelte Methodik für einen Einsatz in einer beispielhaften Arbeitssituation geeignet ist. Die Aufnahmedauer ist mit etwa fünf Minuten pro Aufnahme deutlich länger; die Testperson arbeitet in einem Mockup eines Kofferraums mit Objekten, die zur Montage benötigt werden. Schließlich wird noch die semi-automatisch generierte OWAS-Analyse mit einer konventionell von einem Menschen erstellten OWAS-Analyse verglichen.

9.2.1 Ziele des Versuchs

Mit dem Versuch 2 soll untersucht werden:

1. Die Eignung der entwickelten Methode: Aufnahme und anschließende Auswertung müssen in einem realistischen Szenario eingesetzt werden können.
2. Korrektheit: Die von der Methode gelieferten Ergebnisse (in Form einer OWAS-Analyse) müssen dem Ergebnis einer herkömmlich erstellten OWAS-Analyse entsprechen: Die Fehlerquote durch die semi-automatische Auswertung darf die bei menschlicher Auswertung zu erwartende Fehlerquote nicht übersteigen.
3. Zeitlicher und materieller Aufwand: Wie bereits früher ausgeführt, soll durch den Einsatz der Methode ermöglicht werden, dass eine ergonomische Analyse häufiger eingesetzt werden kann. Dieses Ziel würde verfehlt, wenn die entwickelte Methode einen höheren Zeitaufwand mit sich brächte als eine herkömmliche ergonomische Analyse durch ein manuelles Verfahren.
4. Schließlich soll noch eine Aussage darüber getroffen werden, mit welcher Framerate die Bewegungsdaten aufgezeichnet werden sollten. Zur Wahl stehen 30 Hz und 60 Hz, wobei vermutet wird, dass sich durch die Verwendung von 60 Hz (abgesehen von der erhöhten Datenmenge) keine wesentlichen Unterschiede ergeben werden.

9.2.2 Vorüberlegungen

9.2.2.1 Szenario Kofferraummontage

Im Forschungsprojekt CyberManS wurde durch den Projektpartner Daimler insbesondere die Montage des Kofferraums in der Automobilfertigung als sehr problematisch eingestuft: Dabei muss teilweise im Inneren des Kofferraums gearbeitet werden, wodurch sich durch die Platzverhältnisse insbesondere Arbeitshaltungen ergeben, bei denen der Rücken gebeugt und verdreht werden muss.¹⁴ Von diesem Szenario ist daher bereits bekannt, dass die Tätigkeit aus ergonomischer Sicht besonders belastend ist. Von einer OWAS-Analyse ist also zu erwarten, dass sie solche Probleme aufzeigt.

Das Szenario „Kofferraummontage“ bietet zudem einige Vorteile für die Überprüfung der entwickelten Methode:

- Im Gegensatz zu Taktzeiten von etwa 70 Sekunden, die sonst in der Automobilmontage üblich sind, dauert die Montage des Kofferraums mit etwa fünf Minuten wesentlich länger. Dadurch kann die Eignung des Systems auch für längere Aufnahmen gezeigt werden.
- Durch die Montage im Innenraum des Fahrzeugs tritt eine Verdeckungsproblematik auf. Der Einsatz von optischen Methoden zur Aufnahme der Bewegungsdaten scheidet damit praktisch aus. Auch die Verwendung eines Exoskeletts ist durch die Enge und dem dadurch zu

¹⁴ Interessanterweise beschäftigte sich zeitgleich mit der Bearbeitung des Forschungsprojektes CyberManS ein weiteres Forschungsprojekt am Institut für Arbeitswissenschaft (bearbeitet von Dirk Urban) mit dem gleichen Szenario; hier allerdings nicht bei DaimlerChrysler, sondern bei Volkswagen. Auch dort wurde die Situation als besonders belastend eingestuft.

erwartenden häufigen Kontakt mit dem Fahrzeuginnenraum problematisch. Das ausgewählte Animazoo-System sollte damit kein Problem haben; dies kann gleich mit überprüft werden.

- Das Szenario kann im Labor des Instituts für Arbeitswissenschaft umgesetzt werden. Das ebenfalls im Forschungsprojekt CyberManS diskutierte Szenario „LKW-Montage“ hätte sich bereits aus Platzgründen nur sehr schwer im Labor realisieren lassen.
- Als weiterer Vorteil ergibt sich, dass in einer MixedReality-Umgebung im Forschungszentrum von Daimler das gleiche Szenario für die S-Klasse von Mercedes-Benz untersucht werden kann. So können dort weitere Messungen durchgeführt werden, bei der dann eine echte Karosserie zum Einsatz kommt.

Leider konnte für die Original-Tätigkeitsbeschreibung der Mercedes S-Klasse von Daimler keine Freigabe für eine Veröffentlichung erreicht werden. Um dieses Problem zu überwinden, wurde aus der Original-Tätigkeitsbeschreibung eine neue Tätigkeitsbeschreibung entwickelt, wobei sich insbesondere die Verweildauer im Fahrzeug und die zu erwartenden Körperhaltungen eng am Original-Arbeitsplan orientieren.

9.2.2.2 Zahl der Aufzeichnungen

Bei einer richtigen Implementierung der OWAS-Analyse ist zu erwarten, dass Unterschiede in der OWAS-Kodierung (und daraus folgend in der OWAS-Analyse) durch geringfügig unterschiedliche Bewegungsabläufe der Testperson während der Aufzeichnung verursacht werden. Dieser Effekt kann erst ab zwei Aufzeichnungen eintreten.

Bei mehreren Aufnahmen sind unterschiedliche Zeiten für die Durchführung des Versuchs zu erwarten, da die für die Inbetriebnahme des Anzugs (und dort hauptsächlich für das Anlegen des Anzugs selbst) benötigte Zeit nur bei der ersten Aufnahme anfällt. Bei allen direkt folgenden Aufnahmen entfiele diese Zeit; bei der letzten Aufzeichnung muss schließlich noch die für das Ablegen des Anzugs benötigte Zeit zugerechnet werden. Auch das spricht dafür, mehrere Aufnahmen anzufertigen.

Schließlich ist noch zu klären, ob durch Aufzeichnungen der Bewegungsdaten mit 30 bzw. 60 Hz wesentliche Unterschiede in der daraus bestimmten OWAS-Analyse auftreten. Dazu müssten die Aufnahmen in zwei Gruppen geteilt und die Ergebnisse verglichen werden.

Aus Gründen der Ökonomie ist die mögliche Zahl der Aufnahmen begrenzt. Dabei ist weniger der Aufwand für die Aufnahme ein Problem; vielmehr ergibt sich ein recht hoher Aufwand für die zu Vergleichszwecken zu erstellende manuelle OWAS-Analyse.

Als Kompromiss wird die Zahl der Aufnahmen auf vier festgesetzt. Davon werden zwei mit 30 Hz und zwei mit 60 Hz durchgeführt.

9.2.3 Umsetzung des Szenarios

Für die Umsetzung des Szenarios im Labor wird ein „Fahrzeug“ benötigt, an dem die Montagearbeiten vorgenommen werden können. Für das Szenario ist allerdings nur der heckwärtige Teil relevant.

Um einen Menschen mit dem Fahrzeug (bzw. dem Kofferraum des Fahrzeugs) interagieren zu lassen, gibt es von der Verwendung einer echten Karosserie (vollständige physikalische Nachbildung) bis zum Einsatz von VR-Techniken (überhaupt keine physikalische Nachbildung, lediglich Darstellung des Kofferraums in der virtuellen Realität) eine große Bandbreite an Möglichkeiten.

Duffy [48] empfiehlt beim derzeitigen Stand der Technik (2007) für Situationen mit einem hohen Anteil Interaktivität (im Sinne von haptischem Feedback, wie es bei einer Montagetätigkeit zu erwarten ist) eher die Verwendung einer physikalischen Nachbildung.



Abbildung 36: Je höher der Anteil an Interaktivität, desto sinnvoller ist die Verwendung eines physikalischen Prototyps. Nach Duffy [48].

Für das Szenario wird daher keine virtuelle Nachbildung eines Fahrzeugkofferraums, sondern ein Holzmockup verwendet, dessen Innenmaße die Platzverhältnisse im Kofferraum des Vorbilds nachbilden. Im Inneren des Holzmockups befinden sich Halterungen und weitere Vorrichtungen, welche die Montagetätigkeit ermöglichen.

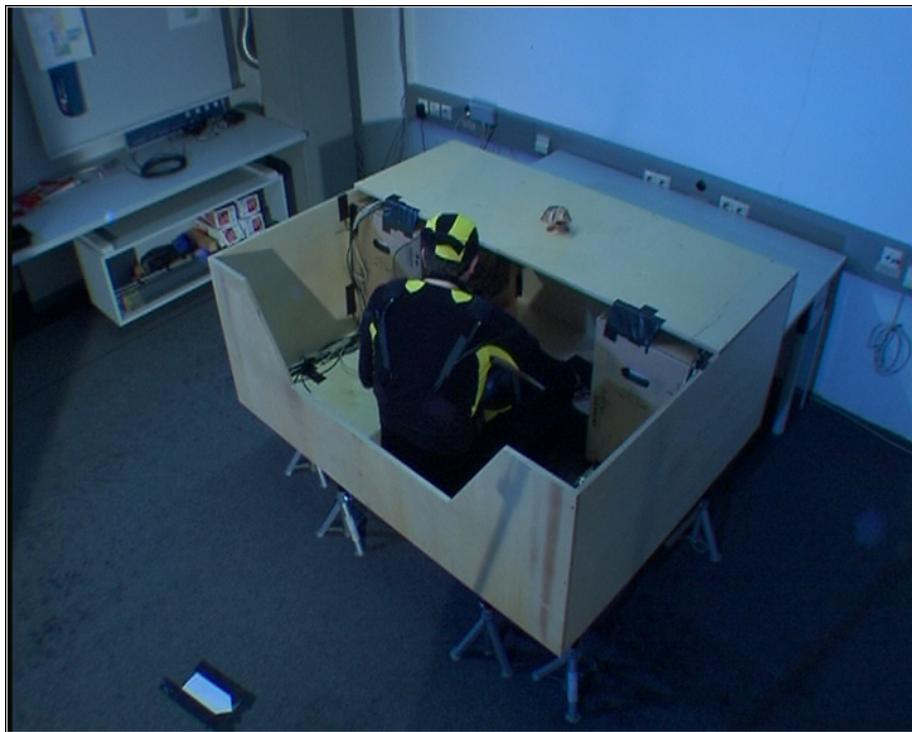


Abbildung 37: Im Versuch 2 verwendet Holzmockup

Der Werkstoff Holz vermeidet auch mögliche Störungen bei der Aufzeichnung der Bewegungsdaten, die durch die Änderung des Erdmagnetfeldes in der Nähe von großen ferromagnetischen Materialien entstehen könnten. Abbildung 37 zeigt den verwendeten Holzmockup.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die entwickelte Tätigkeit, die für den Versuch benötigten Teile, die Vorbereitungen, die für den Versuch getroffen werden müssen, und seine Durchführung.

9.2.3.1 Tätigkeitsbeschreibung

Die Tätigkeit stellt die Montage einiger Komponenten im Kofferraum nach. Die Komponenten liegen zu Beginn rund um das Fahrzeug bereit; sie müssen von der Testperson von ihren jeweiligen Lagerplätzen zum Kofferraum transportiert werden. Dies führt zu einem hohen Anteil von Laufwegen.

Ein Teil der Tätigkeit wird sitzend im Kofferraum ausgeführt (siehe Abbildung 37). Dazu steigt die Testperson über eine Stufe in den Kofferraum ein. Im Kofferraum gibt es zwei Sitzpositionen: Für die Montage der Seitenteile auf dem Rand (wie in Abbildung 37) und für die Montage des Steuergerätes auf einem Schemel in der Aussparung für das Reserverad. Da die Sitzposition nicht geändert werden kann, muss der Rücken gebeugt und auch gedreht werden, um einige Montageschritte auszuführen. Bei der tiefen Sitzposition auf dem Schemel befinden sich die Arme teilweise oberhalb der Schulterhöhe.

Tabelle 23 enthält die detaillierte Beschreibung der während des Versuchs 2 vom Probanden zu absolvierenden Tätigkeit.

Tabelle 23: Beschreibung der im Versuch 2 durchzuführenden Tätigkeit (Arbeitsplan)

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Plan-Zeit
1	Vorbereitung Montage	<ul style="list-style-type: none"> • Sichten des Laufzettels • Steuergeräteträger holen und rechts hinter Heck abstellen • Schraubenträger mit Schrauben und Kabelbindern füllen und auf Hutablage mittig ablegen • Schaumstoffisolierung holen und auf Hutablage rechts ablegen • Verkleidung Hutablage holen und auf Hutablage links ablegen • Akkuschrauber holen und auf Hutablage, neben den Schraubenträger ablegen 	65 s
2	Steuergeräteträger einfügen	<ul style="list-style-type: none"> • Steuergeräteträger aufnehmen und in Kofferraum rechts ablegen • In Kofferraum einsteigen, sitzen auf Rand • Steuergeräteträger positionieren • Kabelbaum oberhalb Steuergeräteträger mit drei Kabelbindern (aus Schraubenträger) befestigen 	50 s
3	Steuergeräteträger fixieren	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzen auf Schemel • Akkuschrauber aufnehmen • Akkuschrauber positionieren und 2 bereits vormontierte Muttern fixieren • Akkuschrauber ablegen (Mitte Hutablage) 	15 s
4	Schaumstoffisolierung montieren	<ul style="list-style-type: none"> • Schaumstoffisolierung aufnehmen • Schaumstoffisolierung oberhalb des Steuergerätes einfügen und ausrichten 	10 s
5	Befestigung Isolierung und Steuergeräteträger	<ul style="list-style-type: none"> • Schraubenträger aufnehmen • 6 Muttern M5 montieren • Schraubenträger ablegen 	40 s
6	Verkleidung Hutablage montieren	<ul style="list-style-type: none"> • Verkleidung aufnehmen • Positionieren, mit drei Clips einrasten 	10 s
7	Vorbereitung Montage Seitenverkleidungen	<ul style="list-style-type: none"> • Aussteigen • Akkuschrauber und Schraubenträger zurück zu Regal 1 bringen • Verkleidungen (Teile Nr. 5, 6) auf Hutablage bereitstellen 	30 s

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Plan-Zeit
8	Seitenverkleidung montieren	<ul style="list-style-type: none"> • Einsteigen • Aufsitzen auf Rand • Rechte Innenverkleidung aufnehmen • Positionieren rechts, Teil dabei knicken • Sechs Clips einrasten • Linke Innenverkleidung aufnehmen • Positionieren links, Teil dabei knicken • Sechs Clips einrasten 	40 s
9	Reserveradabdeckung montieren	<ul style="list-style-type: none"> • Aus Kofferraum aussteigen • Reserveradabdeckung aufnehmen • Reserveradabdeckung einlegen • Vier Clips einrasten 	30 s
10	Laufzettel ausfüllen	<ul style="list-style-type: none"> • Zum Laufzettel gehen • Namenszeichen eintragen • Zur Ausgangsposition zurück gehen 	10 s
	Kofferraummontage gesamt		300 Sekunden (5 Minuten)

9.2.3.2 Benötigte Teile

Tabelle 24: Während des Versuchs 2 von der Testperson benötigte Teile

Nr.	Beschreibung
1	6 Schrauben M5
2	Schraubenträger (Plastikschale)
3	Schaumstoffisolierung
4	Steuergeräteträger
5	Innenverkleidung links, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung
6	Innenverkleidung rechts, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung
7	Verkleidung Hutablage, mit zwei vormontierten Clips zur Befestigung
8	Reserveradabdeckung, mit vier vormontierten Clips zur Befestigung
9	Akkuschrauber, mit Nuss für Mutter M5
10	3 Kabelbinder
11	Vorrat an Schrauben zur Entnahme der Schrauben für den Schraubenträger
12	Holzmockup mit der Nachbildung eines Kofferraums, mit Einsätzen zur Nachbildung von Radkästen und vorbereiteten Kabelbäumen, die während der Montage mit dem Steuergeräteträger verbunden werden.

Nr.	Beschreibung
13	Vorrat Kabelbinder
14	Laufzettel für Fahrzeugmontage

Der Versuchsleiter benötigt zur Durchführung des Versuchs außerdem einen Ausdruck der Tabellen 23, 24 und 25. Die Unterlagen für den Versuchsleiter finden sich in Anhang 3.

9.2.3.3 Vorbereitung

Alle Teile werden an ihre Ausgangsposition gelegt (siehe Tabelle 25). Der Holzmockup wird so vorbereitet, dass die in einer eventuell vorher erstellten Aufzeichnung montierten Teile wieder entfernt sind.

Tabelle 25: Anordnung der im Versuch 2 verwendeten Teile zu Beginn des Versuchs

Nr.	Bezeichnung	Startposition
1	6 Schrauben M5	Werden von der Testperson dem Schraubenvorrat (Nr. 11) entnommen
2	Schraubenträger (Plastikschale)	Regal 1, Mitte rechts.
3	Schaumstoffisolierung	Regal 2, links
4	Steuergeräteträger	Regal 2 (rechts, heckwärtige Seite zeigt zur Testperson)
5	Innenverkleidung links, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 6, links. Innenseite zeigt nach oben, nach unten zu montierendes Ende zeigt zur Testperson
6	Innenverkleidung rechts, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 6, rechts. Innenseite zeigt nach oben, nach unten zu montierendes Ende zeigt zur Testperson
7	Verkleidung Hutablage, mit zwei vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 5, rechts. Testperson sieht auf die Unterseite
8	Reserveradabdeckung, mit vier vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 5, links. Zum Heck weisende Seite zeigt zur Testperson, obere Seite zeigt nach oben
9	Akkuschrauber, mit Nuss für Mutter M5	Regal 1, ganz links
10	3 Kabelbinder	Werden von der Testperson aus Kabelbindervorrat (Nr. 13) entnommen
11	Vorrat an Schrauben zur Entnahme der Schrauben für den Schraubenträger	Regal 1, ganz rechts

Nr.	Bezeichnung	Startposition
12	Holzmockup mit der Nachbildung eines Kofferraums, mit Einsätzen zur Nachbildung von Radkästen und vorbereiteten Kabelbäumen, die während der Montage mit dem Steuergeräteträger verbunden werden.	In der Mitte der Regale
13	Vorrat Kabelbinder	Regal 1, Mitte links
14	Laufzettel für Fahrzeugmontage	Auf dem Holzmockup, linke Seite

Die Testperson steht zu Beginn auf seiner Startposition vor dem Holzmockup mit Sicht auf den Laufzettel. Abbildung 38 zeigt die Anordnung von Regalen und Holzmockup.

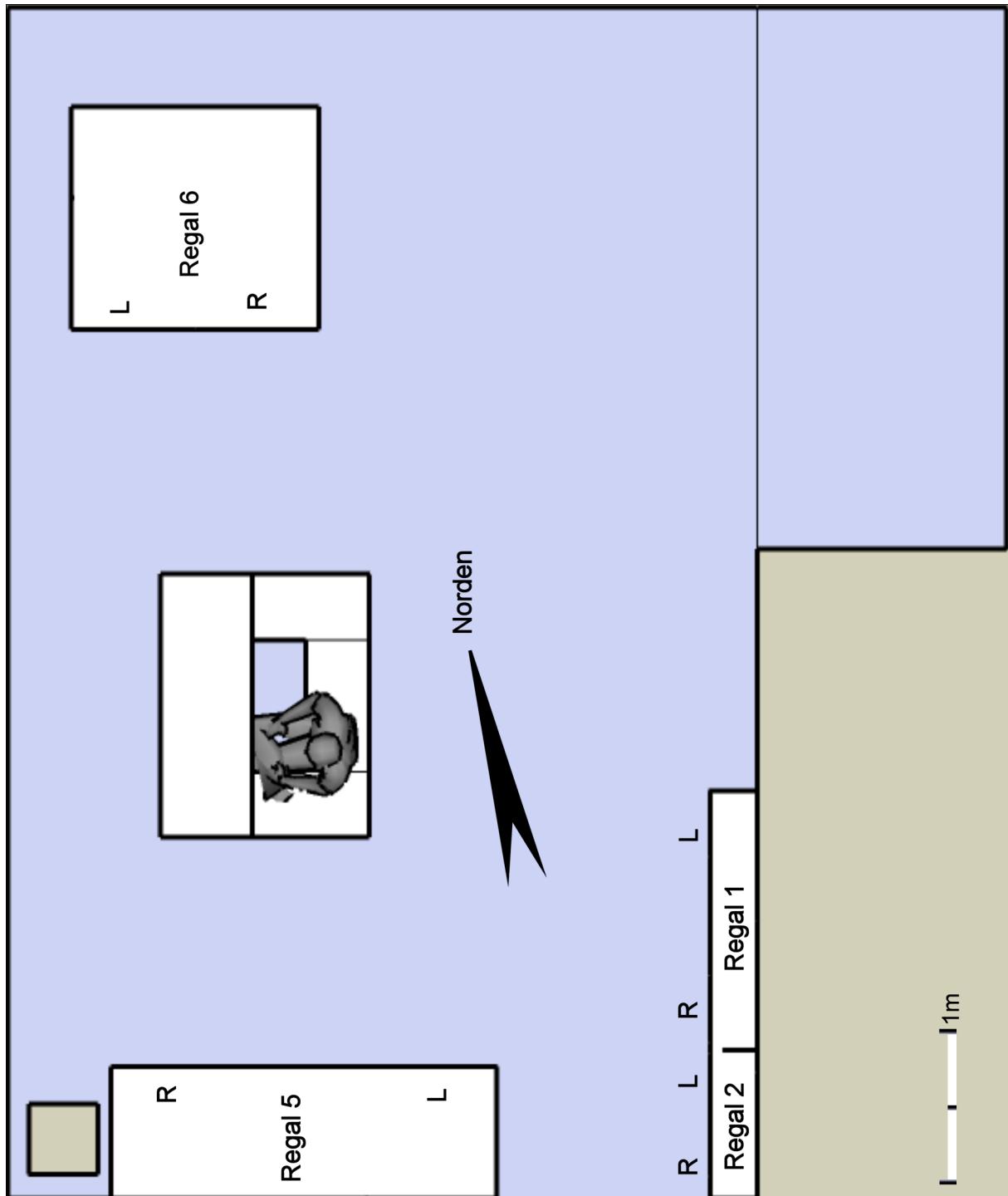


Abbildung 38: Lageplan für den Versuch 2.

9.2.4 Versuchsablauf

9.2.4.1 Aufzeichnung erstellen

Für die Erstellung einer Aufzeichnung für den Versuch 2 müssen folgende Schritte durchgeführt werden:

1. Der Versuchsleiter muss sich mit der Bedienung des Animazoo-Systems und der Software zur Aufzeichnung vertraut machen: Der Versuchsleiter sollte bereits einige Aufnahmen vor der Durchführung des Versuch 2 erstellt haben.

2. Versuchsleiter und Testperson machen sich mit der Montagetätigkeit (siehe Tabellen 23, 24 und 25).
3. Zur Vorbereitung führt die Testperson die Montagetätigkeit einige Mal aus, um der Testperson eine Sicherheit im Ablauf zu geben und Trainingseffekte zu vermeiden.
4. Das Animazoo-System inklusive Anzug wird gemäß Vorschrift des Herstellers in Betrieb genommen. Die Zeit von Beginn dieses Schrittes bis zum Ende der Aufnahme (Schritt 12) muss gemessen werden.
5. Das Programm MocapRecorder wird gestartet und mit dem Animazoo-System verbunden.
6. Die Abbildung der Bewegungsdaten wird geprüft: Nullposition Richtung Nord einnehmen lassen und in MocapRecorder entsprechenden Befehl auslösen.
7. Mit der Aufzeichnung beginnen, dabei ca. fünf Sekunden warten, bis mit der eigentlichen Tätigkeit begonnen wird, um einen kurzen Vorlauf in der Aufzeichnung zu erzeugen.
8. Die Montagetätigkeit wird nach Arbeitsplan (Tabelle 23) ausgeführt. Dabei ist es hilfreich, wenn der Testperson der jeweils nächste Schritt der Montagetätigkeit angesagt wird.
9. Nach Ende der Tätigkeit noch fünf Sekunden warten, dann in MocapRecorder die Aufzeichnung beenden. Die Wartezeit von fünf Sekunden erzeugt einen kleinen Nachlauf in der Aufzeichnung.
10. MocapRecorder speichert die Daten nach dem Ende der Aufzeichnung automatisch und gibt den erstellten Dateien einen Namen, in dem das Datum und die Uhrzeit kodiert sind. Nach dem Speichern das Programm beenden.
11. Die erstellten Dateien an einen geeigneten Ort verschieben und sinnvoll benennen (z. B. „Exp1“ für die erste Aufzeichnung, „Exp2“ für die zweite, usw.).
12. Falls keine weiteren Aufzeichnungen mehr folgen sollen, wird der Anzug wieder außer Betrieb genommen.
13. Die vom Schritt vier bis zum Ende des Schritts 12 gemessene Zeit wird festgehalten.

9.2.4.2 Semi-automatische Analyse erstellen

Für die Erstellung der semi-automatische Analyse wird das Programm OwasEvaluator verwendet:

1. Das Programm OwasEvaluator aus dem Prototyp 4 starten und die Datei mit der erstellten Aufzeichnung öffnen.
2. Beginn und Ende der Tätigkeit im Fenster „Eingaben des Benutzers“ (Bereich „Beginn und Ende der Tätigkeit) festlegen.
3. Wenn es (wie im hier verwendeten Szenario) während der untersuchten Tätigkeit Abschnitte gibt, in denen die Position „Sitzen“ eingenommen werden kann, muss dies im gleichen Fenster im Bereich „Sitzen“ definiert werden. Für die hier untersuchte Tätigkeit umfasst dies den kompletten Zeitraum (dem Programm wird damit mitgeteilt, dass es eine Gelegenheit zum Sitzen gibt; ob der Proband tatsächlich sitzt, wird vom Programm dann automatisch erkannt).
4. Statische OWAS-Analyse erstellen und speichern.

9.2.4.3 Manuelle OWAS-Analyse erstellen

Zu Vergleichszwecken muss eine manuell OWAS-Analyse erstellt werden. Dazu muss die aufgezeichnete Tätigkeit manuell kodiert und ausgewertet werden. Für die Auswertung wird das Programm WinOWAS [29] verwendet.

Für die manuelle Kodierung wird eine Taktdauer von drei Sekunden festgelegt (alle drei Sekunden wird die Tätigkeit manuell kodiert). Die Taktdauer von drei Sekunden wurde bereits in anderen Projekten des Instituts für Arbeitswissenschaft als guter Kompromiss zwischen Aufwand und Genauigkeit bei der manuellen Kodierung von Tätigkeiten in der Automobilfertigung verwendet.

9.2.5 Versuchsdurchführung

9.2.5.1 Aufzeichnung

Die Aufnahmen fanden am 17. Januar 2008 statt. Es wurden vier Aufzeichnungen erstellt: Zwei mit einer Framerate von 30 Hz, und zwei mit einer Framerate von 60 Hz. Während der vier Aufzeichnungen wurde dem Proband der nächste auszuführende Schritt aus der Tätigkeitsbeschreibung angesagt, um Abweichungen von der geplanten Tätigkeit zu vermeiden. Alle vier Aufzeichnungen konnten fehlerfrei erstellt werden.

Tabelle 26 zeigt die Einzelheiten der vier Aufzeichnungen. Der Dateiname ist ohne Endung angegeben. Für die Datei mit den Bewegungsdaten wurde die Endung „.mocap“ verwendet, die Videodatei hat die Endung „.avi“ und die Datei mit den Benutzereingaben die Endung „.ini“.

Tabelle 26: Während des Versuchs 2 erstellte Aufzeichnungen

Aufzeichnung	gewünschte Framerate	Dateiname	Dauer	Frames	gemessene Framerate	Zeit mit Vor- und Nachbereitung
1	30 Hz	Exp1	5:00 Min.	8.847	29,49 Hz	14 Min. (Anlegen des Anzugs)
2	30 Hz	Exp2	5:07 Min.	9.056	29,50 Hz	8 Min.
3	60 Hz	Exp3	5:19 Min.	17.202	53,92 Hz	8 Min.
4	60 Hz	Exp4	5:12 Min.	16.764	53,73 Hz	11 Min. (Ablegen des Anzugs)

Wie Tabelle 26 zeigt, wurden bei den Aufzeichnungen 3 und 4 nicht die gewünschten 60 Hz erreicht. Die Abweichung ist sowohl absolut (mit 6,08 bzw. 6,27 Hz gegenüber 0,51 bzw. 0,50 Hz) als auch prozentual (mit 10,13 % bzw. 10,45 % gegenüber 1,7 % bzw. 1,67 %) deutlich höher als bei den Aufnahmen mit nominal 30 Hz. Nach den Informationen in der Datei mit den Bewegungsdaten sind keine Frames während der Aufnahme verloren gegangen (bei einer Sichtprüfung der Datei erschien die Nummerierung der Frames vollständig). Es muss daher davon ausgegangen werden, dass das Animazoo-System nicht ganz die gewünschte Framerate erreicht hat.

9.2.5.2 Semi-Automatische OWAS-Analyse

Gemäß der Vorgabe im Abschnitt „Versuchsablauf“ (s. o.) wurden für die semi-automatische OWAS-Analyse die Zeiten für Beginn und Ende der Tätigkeit sowie die Information über die Sitzgelegenheit im Programm OwasEvaluator erfasst. Tabelle 27 zeigt die verwendeten Zeiten.

Tabelle 27: Zeiten für Beginn und Ende der Tätigkeit (Auswertezeitraum) und mögliche Sitzgelegenheiten für die semi-automatische OWAS-Analyse

Aufzeichnung	Dateiname	Auswertezeitraum		Sitzgelegenheit	
		Beginn	Ende	Beginn	Ende
1	Exp1	00:00:02.953	00:04:57.781	00:00:00.156	00:04:56.844
2	Exp2	00:00:06.734	00:05:02.953	00:00:03.500	00:05:03.390
3	Exp3	00:00:05.125	00:05:11.953	00:00:00.640	00:05:10.812
4	Exp4	00:00:08.110	00:05:05.938	00:00:00.000	00:05:04.047

Für jede Aufzeichnung wurde anschließend eine OWAS-Analyse erstellt. Die erstellten Analysen finden sich in den Anhang 4 bis Anhang 7.

Der Zeitbedarf für die Kodierung und die Erstellung der OWAS-Analyse betrug für alle vier Aufzeichnungen jeweils weniger als fünf Sekunden (Intel Pentium, 2,6 GHz, 2 GByte RAM).

9.2.6 Manuelle OWAS-Analyse

Entsprechend der Empfehlung in der Beschreibung der OWAS-Methode des Institute of Occupational Health [27] wurde die manuelle Kodierung anhand einer Videoaufnahme durchgeführt. Als Quelle diente die bei der Aufzeichnung erstellte Videodatei; für die Taktdauer wurden drei Sekunden gewählt.

9.2.6.1 OWAS-Kodierung

Die Tabelle 28 zeigt die durch die manuelle Kodierung gewonnenen OWAS-Kodierungen für die Aufzeichnungen 1 bis 4. Die Videoaufnahme wurde jeweils zur in der Tabelle angegebenen Zeitpunkt angehalten, so dass entweder der Frame mit exakt der angegebenen Zeit (z. B. 00:00:33.000) oder der Frame unmittelbar vor der Zeit (z. B. 00:00:32.985) für die Kodierung verwendet wurde. Nur Zeiten innerhalb der für die Aufzeichnung in Tabelle 27 angegebenen Werte für Beginn und Ende der Tätigkeit wurden berücksichtigt. Der zu berücksichtigende Zeitraum variiert in den vier Aufzeichnungen jeweils etwas durch einen mehr oder weniger langen Vor- und Nachlauf der Aufzeichnung sowie einen um wenige Sekunden schwankenden Zeitbedarf für die Ausführung der Tätigkeit. Dies lässt sich auch dem Auswertezeitraum in Tabelle 27 entnehmen.

Für die Betrachtung der Videodateien wurde das Programm OwasEvaluator aus dem Prototyp 4 verwendet; die Zeiten werden dort unter der Bezeichnung „TimeStamp“ angezeigt (u. a. im Fenster „Eingaben des Benutzers“).

Tabelle 28: Kodierungen für die manuelle OWAS-Analyse

Zeit	Aufzeichnung 1	Aufzeichnung 2	Aufzeichnung 3	Aufzeichnung 4
00:03	1121			
00:06	1171		1121	
00:09	1121	1121	1121	1121
00:12	1121	1121	1171	1121
00:15	1121	1171	1171	1171
00:18	1171	1171	1171	1171

Zeit	Aufzeichnung 1	Aufzeichnung 2	Aufzeichnung 3	Aufzeichnung 4
00:21	1171	1171	1171	1171
00:24	1171	1171	1171	4171
00:27	1121	1171	1121	1171
00:30	1121	1121	1121	1121
00:33	1121	1121	3121	1121
00:36	1171	3121	1171	1171
00:39	1171	1171	1171	1171
00:42	1171	1171	1171	1171
00:45	1171	1171	1171	1171
00:48	1171	1171	1171	2171
00:51	2171	1171	1171	1171
00:54	1171	2171	1171	1171
00:57	1171	2171	1171	1171
01:00	1171	2171	2171	1171
01:03	1171	1171	2171	1171
01:06	1171	2171	2171	1171
01:09	1171	2171	2171	2171
01:12	2171	2171	2171	1171
01:15	2171	2171	2111	2171
01:18	4111	2171	2111	4171
01:21	2111	2111	4111	4111
01:24	2111	2111	2211	2111
01:27	2211	2211	2111	4111
01:30	4111	2111	2111	2211
01:33	4111	2111	2111	2111
01:36	4111	2111	2111	2111
01:39	4111	2111	2111	2111
01:42	4111	2111	2111	2111
01:45	2111	2111	2211	2111
01:48	2111	2111	2111	2111
01:51	2111	2111	2111	2111
01:54	2111	2171	2111	2171
01:57	4111	2211	2171	4311
02:00	2211	2111	2311	2111
02:03	2111	2111	2171	2111
02:06	2111	2111	2111	2211
02:09	2211	2211	2111	2211
02:12	2211	2111	2211	2311
02:15	4111	2311	4171	2311
02:18	4311	2211	2211	2211

Zeit	Aufzeichnung 1	Aufzeichnung 2	Aufzeichnung 3	Aufzeichnung 4
02:21	2111	4171	2311	4111
02:24	2211	2211	4111	2211
02:27	2211	2111	4111	2211
02:30	2211	2211	2211	2211
02:33	4111	2211	2211	2211
02:36	2211	4111	2211	2211
02:39	2311	2211	4111	2211
02:42	2311	2311	4211	2211
02:45	4111	2211	4211	2211
02:48	2311	4111	4211	4111
02:51	2311	2211	4111	2211
02:54	2311	2211	2311	2211
02:57	2311	2211	2311	4211
03:00	4111	2211	4111	2211
03:03	2211	4311	2211	2211
03:06	4311	2111	2211	4311
03:09	2311	4111	4211	2311
03:12	2171	2311	2211	2311
03:15	2171	2311	4211	4171
03:18	2171	2111	2311	2171
03:21	1171	2171	2311	1171
03:24	1171	2171	4171	1171
03:27	1171	2171	2171	1271
03:30	1171	1171	1171	1171
03:33	1171	1171	1171	1171
03:36	1171	1171	2171	1171
03:39	1171	1171	1271	1171
03:42	1171	2171	1171	1171
03:45	2171	2171	1171	1171
03:48	2171	1171	1171	1171
03:51	4111	2171	2171	2171
03:54	4111	2171	1171	2211
03:57	4111	2271	1171	4111
04:00	4111	2211	2171	4111
04:03	4111	4111	2171	4111
04:06	4111	4111	2111	4111
04:09	2111	2111	4111	4111
04:12	4111	2111	4111	4111
04:15	4111	2111	4111	2111
04:18	4111	4111	4111	2111

Zeit	Aufzeichnung 1	Aufzeichnung 2	Aufzeichnung 3	Aufzeichnung 4
04:21	2171	4111	4111	4111
04:24	2171	4111	2111	4111
04:27	2171	4111	2111	4111
04:30	1171	2171	2111	2171
04:33	2171	2171	4111	2171
04:36	2131	2171	2111	1171
04:39	2131	2171	2171	2171
04:42	2121	4151	2171	1171
04:45	2171	4121	2171	4151
04:48	1171	2121	2171	2151
04:51	1121	4171	2151	2121
04:54	1121	1171	2151	1171
04:57	1121	2121	2151	1171
05:00		1121	2171	1121
05:03		1121	1171	1121
05:06			1121	1121
05:09			1171	
05:12			1121	

9.2.6.2 Kodierzeiten der manuellen OWAS-Analyse

Für die manuelle Kodierung wurden die in der Tabelle 29 angegebenen Zeiten benötigt. Diese beinhalten die Eingabe der Kodierungen sowie die Integration der gewonnenen Daten in das Dateiformat von WinOWAS für die anschließende Ausgabe.

Tabelle 29: Für die manuelle OWAS-Kodierung benötigter Zeitaufwand

Aufzeichnung	Benötigte Zeit	Dateiname
1	68 Minuten	Exp1.ows
2	62 Minuten	Exp2.ows
3	56 Minuten	Exp3.ows
4	58 Minuten	Exp4.ows

9.2.7 Ergebnisse

9.2.7.1 OWAS-Kodierungen

Der Vergleich zwischen semi-automatischer und manueller OWAS-Analyse ist in Tabelle 30 zusammengefasst. Bei allen nicht in Tabelle 30 aufgeführten Kodierungen ergaben sich keine Unterschiede oder Bemerkungen zu den Kodierungen.

Tabelle 30: Unterschiede zwischen semi-automatischer und manueller Kodierung der Körperhaltungen

Aufzeichnung	Zeit	Bemerkung
1	00:27	Ende des Gehens, 1121 wäre auch möglich gewesen
1	00:33	Beginn des Gehens, 1121 wäre auch möglich gewesen
1	01:18	Durch Verdeckung schwer zu erkennen
1	01:57	Abweichung: Beginn des Gehens, 4171 wäre auch möglich gewesen
2	00:15	Beginn des Gehens, 1121 wäre auch möglich gewesen
2	00:30	Verdrehung nicht richtig auszumachen, Proband steht allerdings am rechten Rand des Regals und entnimmt Teile aus Schale in der Mitte des Regals
2	00:33	Verdrehung nicht richtig auszumachen, Proband steht allerdings am rechten Rand des Regals und entnimmt Teile aus Schale in der Mitte
2	02:21	Durch Verdeckung ist Bewegung zunächst schwer zu sehen (siehe Füße...)
2	03:45	Proband nicht auf Kamera zu sehen (auf dem Weg zu Regal 6)
2	04:54	Abweichung: Beugung kann nicht verifiziert werden. Wahrscheinlich verrutschter Sensor. Kodierung manuell korrigiert von 4:51.750 bis 4:55.031 (1xxx).
3	03:51	Proband nicht zu sehen, Wert aber plausibel (Teil holen an Regal 6)
4	00:24	Seitliche Beugung schwer auszumachen, da Ansicht von der Seite. Proband steht aber etwas versetzt zum aufzunehmenden Teil

Nur in Aufzeichnung 2 ergab sich eine Abweichung zwischen der semi-automatischen und der manuellen Kodierung. Diese konnte durch eine entsprechende Eingabe im Bereich „OWAS-Korrekturen“ im Prototyp 4 korrigiert werden.

9.2.7.2 Zeitbedarf

9.2.7.2.1 Kodierung

Abbildung 39 zeigt den Zeitbedarf für die semi-automatische und die manuelle OWAS-Kodierung im Vergleich, wobei für beide Kodierarten die Zeit für Aufzeichnung mit enthalten ist. Im Fall der semi-automatischen Kodierung ist auch die Zeit enthalten, die für die Vorbereitung der Aufnahme (Anlegen des Anzugs, Starten der Software) erforderlich ist.

Die für die manuelle Kodierung angegebenen Zeiten umfassen lediglich die für die Aufzeichnung benötigte Zeit sowie die für das Kodieren selbst erforderliche Zeit. Für die manuelle Kodierung musste jedoch eine Videoaufzeichnung verwendet werden, um einen Beobachtungsintervall von drei Sekunden realisieren zu können. Die für die Vor- und Nachbereitung einer Videoaufzeichnung benötigte Zeit dürfte in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie für Vor- und Nachbereitung bei der semi-automatischen Kodierung. Sie ist aber im Rahmen des Versuchs 2 nicht erfasst worden,

weil die für die manuelle Kodierung verwendete Videoaufnahme ohnehin durch das Programm MoCapRecorder erstellt wurde. Bei Verwendung einer gesondert zu erstellenden Videoaufzeichnung sind für die manuelle Kodierung also noch etwas höhere Werte zu erwarten.

Der Zeitbedarf für die manuelle Kodierung hängt außerdem noch stark vom Kodierer ab. Geübte Personen könnten durchaus schnellere Werte erzielen.

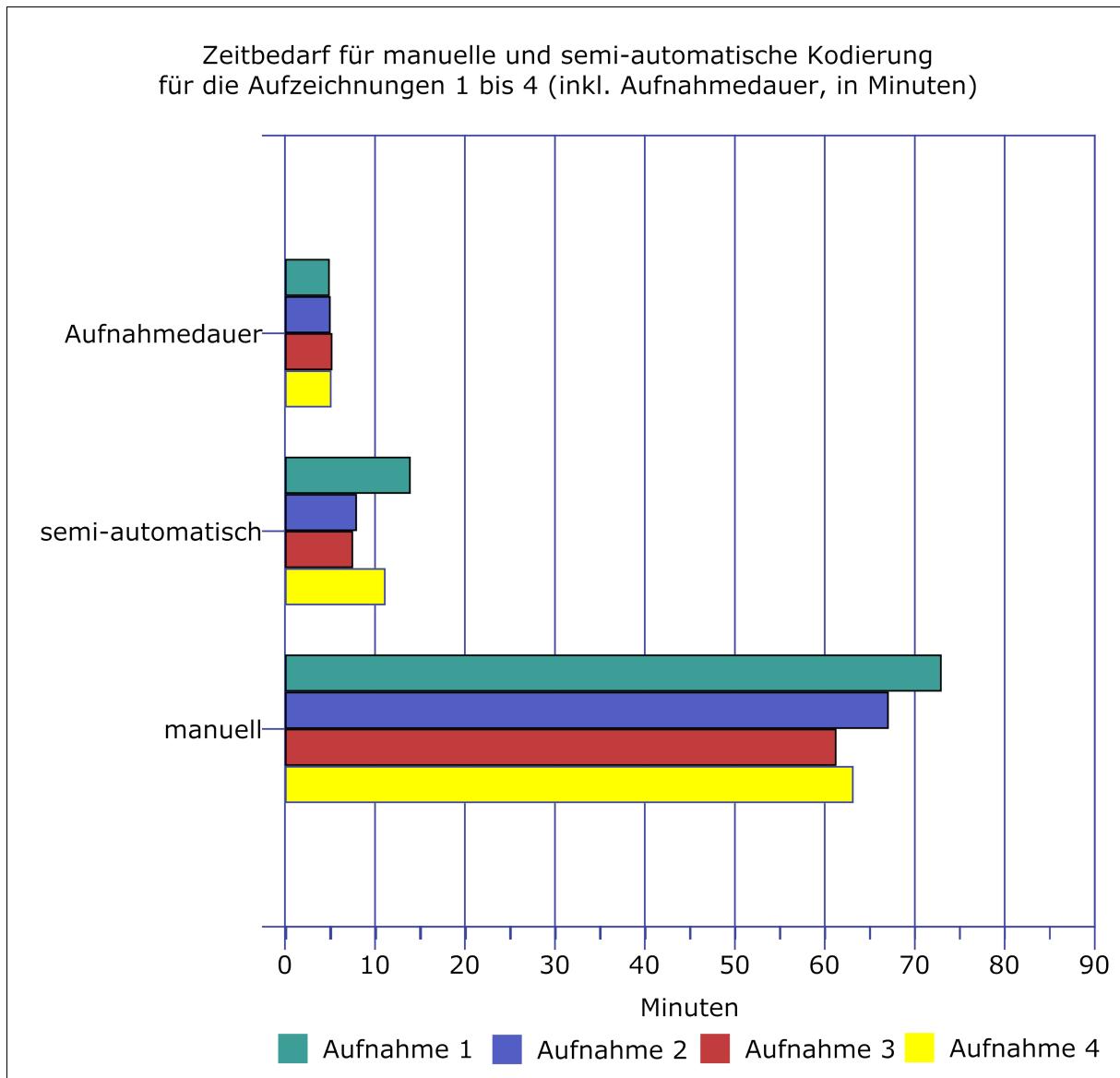


Abbildung 39: Zeitbedarf für manuelle und semi-automatische Kodierung im Vergleich zur Aufnahmedauer. In den Zeiten der Kodierung ist die Aufnahmedauer enthalten.

9.2.7.2.2 Zeitbedarf der manuellen Analyse

Der Zeitbedarf für die Erstellung der eigentlichen OWAS-Analyse aus vorhandenen Kodierungen unterscheidet sich zwischen beiden Kodierarten nicht wesentlich (jeweils unter fünf Sekunden), da die Kodierungen in das Programm WinOWAS importiert wurden.

WinOWAS unterstützt allerdings nicht die Berechnung eines Lundqvist-Index; dieser wurde für den Fall der manuellen Kodierung durch ein Excel-Tabelle berechnet. Der Zeitbedarf dafür liegt bei etwa ein bis zwei Minuten, wenn das dafür nötige Excel-Arbeitsblatt vorhanden ist.

9.2.7.3 OWAS-Analysen

9.2.7.3.1 OWAS-Analyse auf Basis der manuellen Kodierung

Das Programm WinOWAS bietet abgesehen vom Ausdruck keine eigene Möglichkeit, die erzeugten OWAS-Analysen zu exportieren; für die Darstellung der Analysen wurden daher Screenshots vom Programm WinOWAS angefertigt.

Abbildung 40 zeigt für Aufzeichnung 1 die Ergebnisse der OWAS-Analyse für die einzelnen Körperhaltungen (Rücken, Arme und Beine). Die Prozentwerte sind nur in ganzen Zahlen (ohne Nachkommastellen) angegeben; die Summe der Prozente ergibt zu dem nicht immer 100, etwa bei den Werten für den Rücken (in der Summe 99 %).

Abbildung 41 zeigt für Aufzeichnung 1 die Häufigkeiten der Haltungskombinationen, deren Zuordnung zu Aktionskategorien sowie die zeitlichen Anteile der Aktionskategorien an der analysierten Tätigkeit. Auch hier ergeben sich Rundungsdifferenzen (so ist die Summe der Aktionskategorie 2 zugeordneten Haltungskombinationen 54 %, während die im unteren Bereich dargestellte Summe 55 % ausweist).

Für die Berechnung eines Lundqvist-Index sind die gerundet angegebenen Werte nicht geeignet, da sich durch sie ein vermeidbarer Fehler bei der Berechnung einstellen würde: Ist z. B. für eine Haltungskombination die angegebene Zahl abgerundet worden, so kann sich der angegebene vom richtigen Wert bereits um 0,5 („richtige Rundung“) bzw. fast 1 (es wird immer abgerundet) unterscheiden. Ist die Haltungskombination zudem noch der Aktionskategorie „4“ zugeordnet, so geht dieser Fehler noch um den Faktor 4 verstärkt in die Berechnung ein.

Um den Fehler zu vermeiden, wurden die Prozentwerte auf Basis der in den Screenshots angegebenen Häufigkeiten neu berechnet und diese verwendet, um die Lundqvist-Indexe für die manuelle Auswertung zu ermitteln. Für die Berechnung wurde eine Excel-Tabelle verwendet.

Die Abbildungen 42 bis 47 zeigen die entsprechenden Ergebnisse der OWAS-Analysen für die Aufzeichnungen 2, 3 und 4.

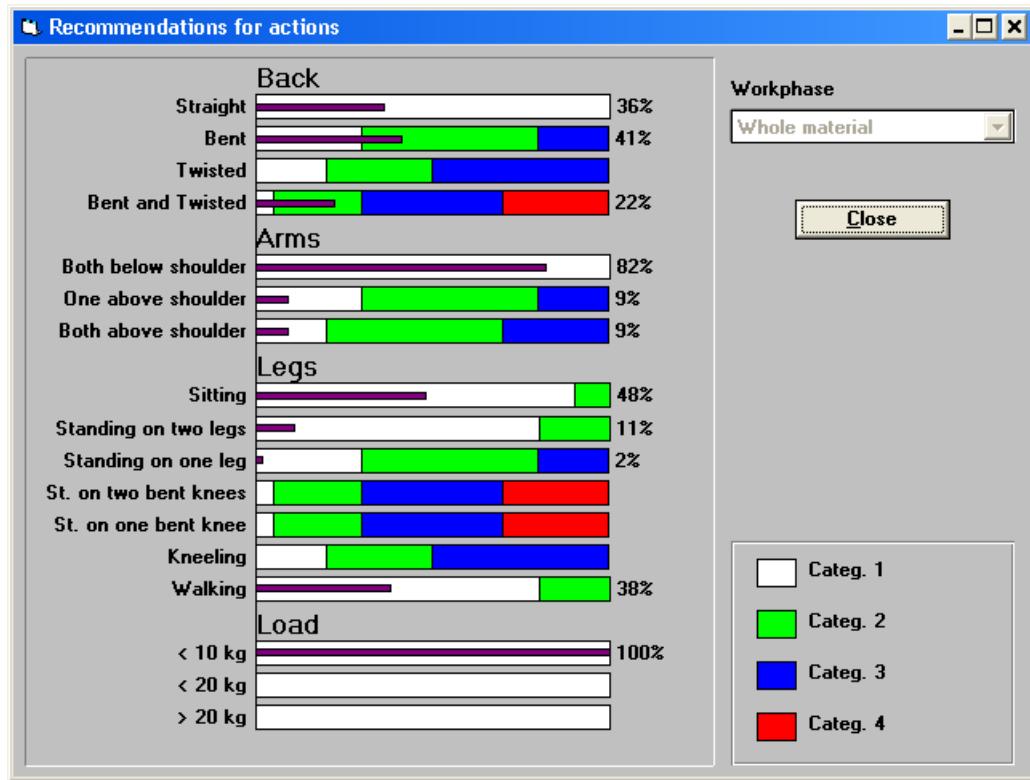


Abbildung 40: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 1, einzelne Körperhaltungen

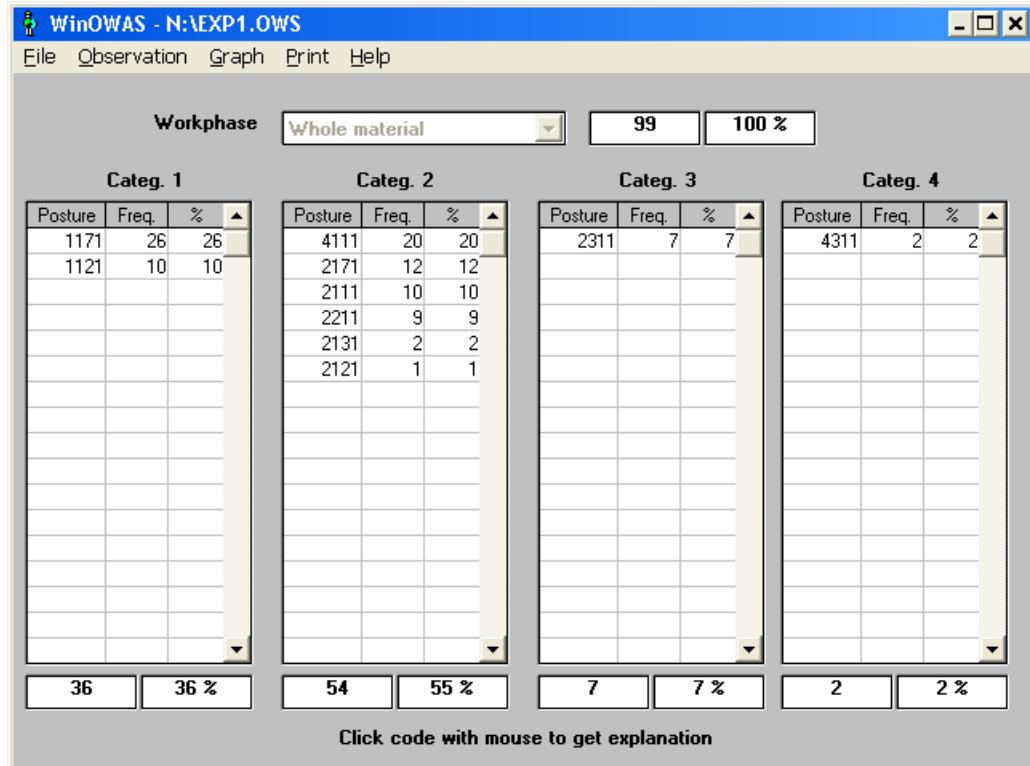


Abbildung 41: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 1, Haltungskombinationen

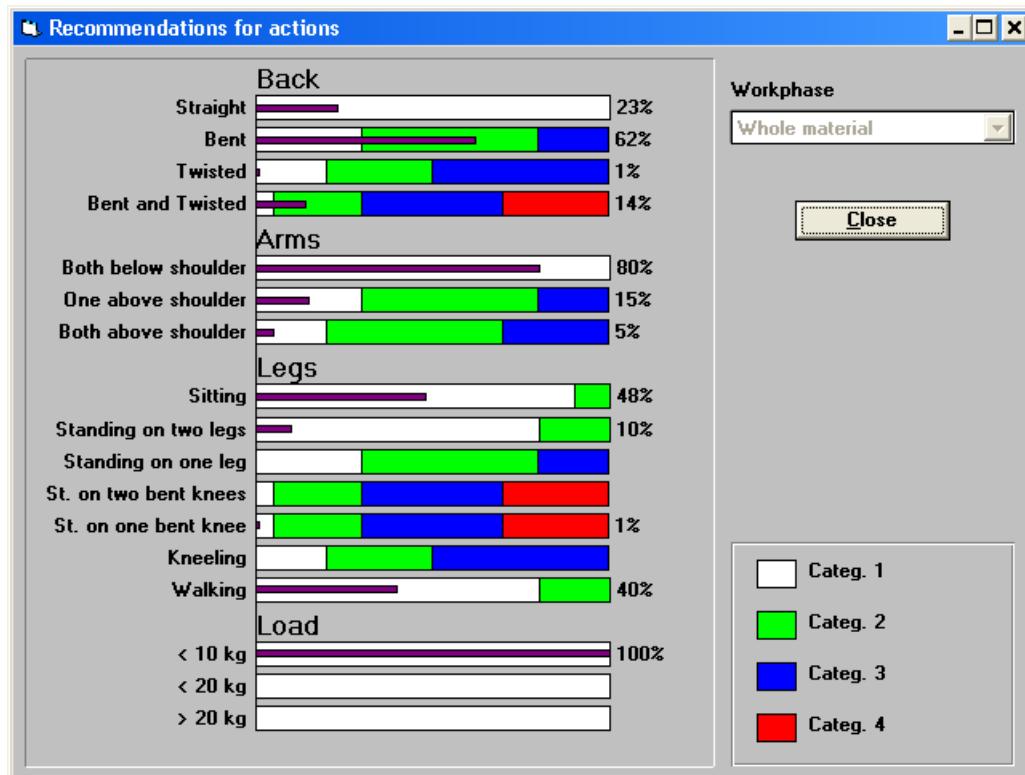


Abbildung 42: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 2, einzelne Körperhaltungen

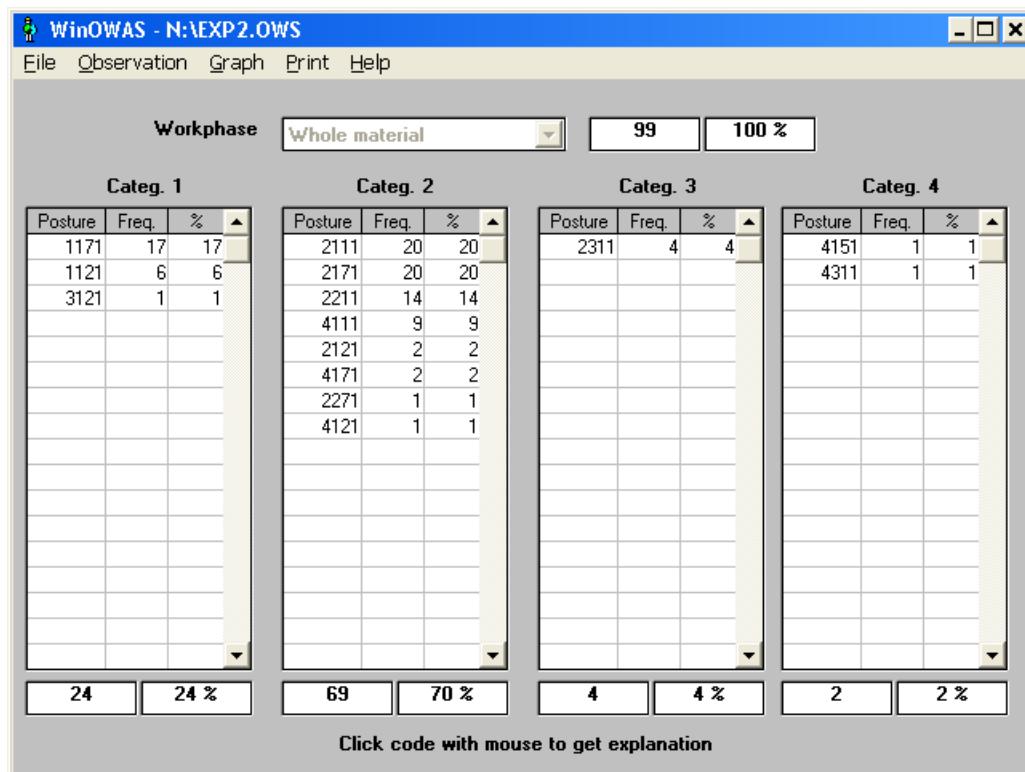


Abbildung 43: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 2, Haltungskombinationen

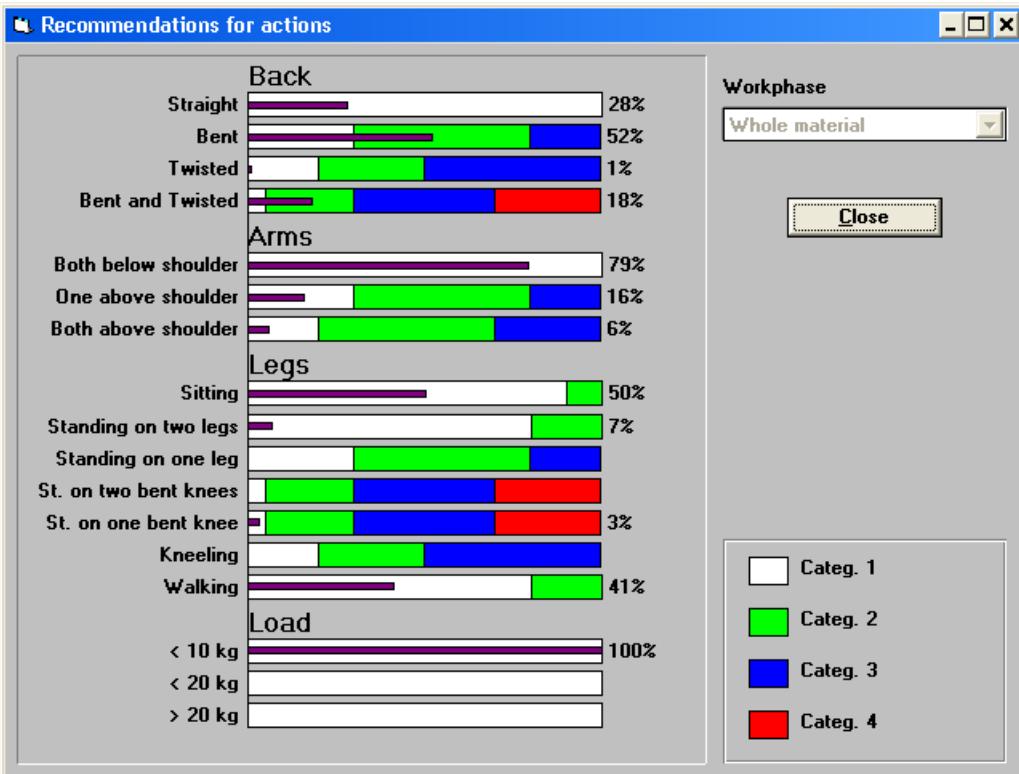


Abbildung 44: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 3, einzelne Körperhaltungen

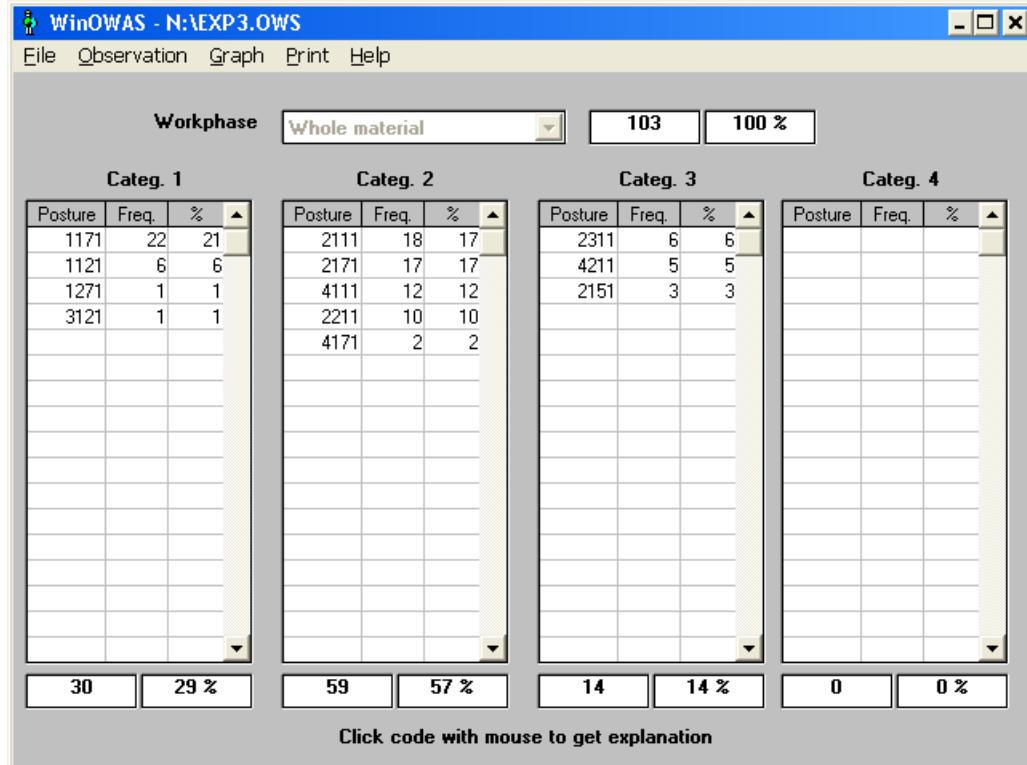


Abbildung 45: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 3, Haltungskombinationen

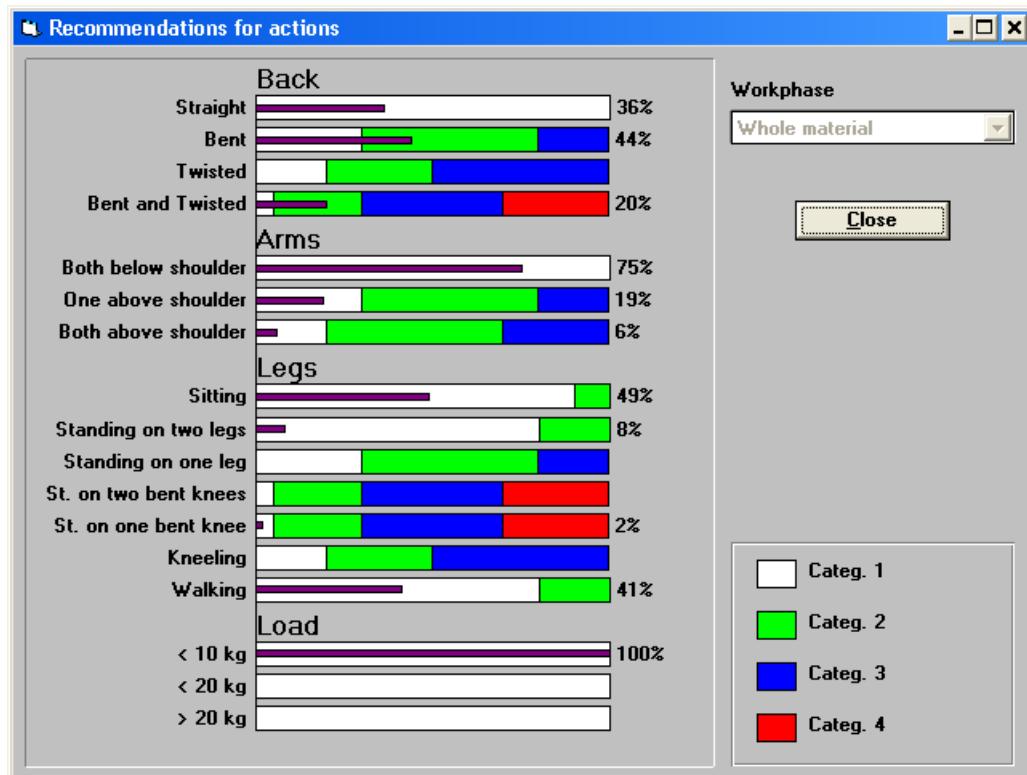


Abbildung 46: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 4, einzelne Körperhaltungen

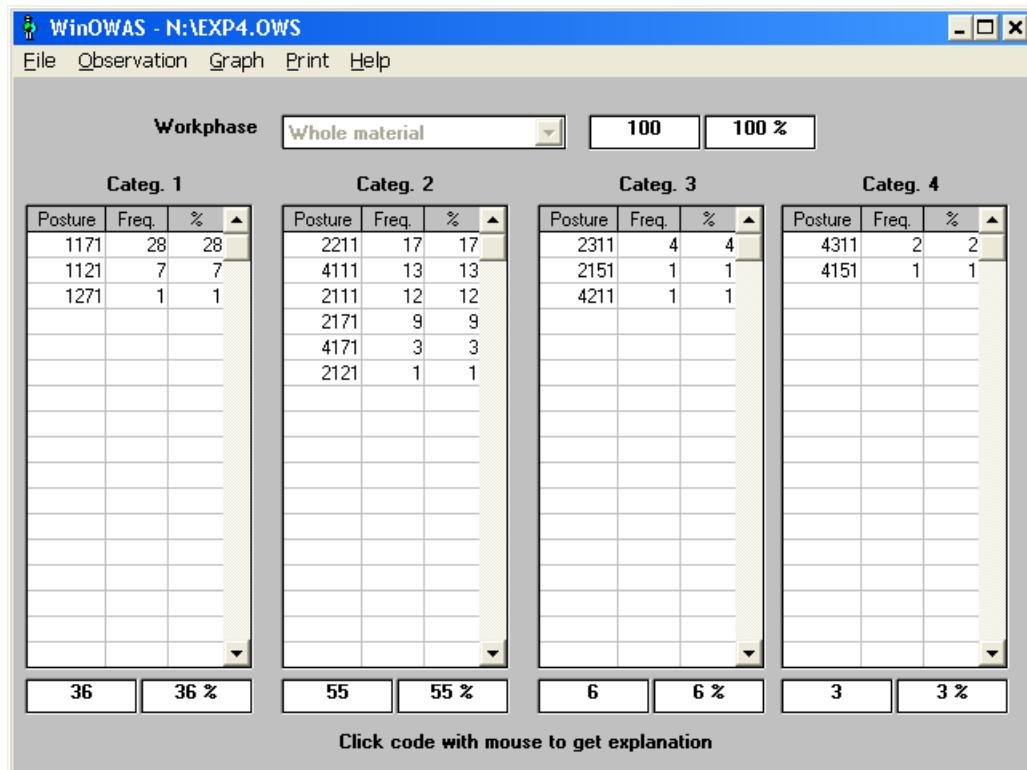


Abbildung 47: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 4, Haltungskombinationen

9.2.7.3.2 OWAS-Analyse auf Basis der semi-automatischen Kodierung

Die Ergebnis einer semi-automatischen OWAS-Analyse sind mehrere HTML- und Bilddateien. Die Analysen sind in gedruckter Form im Anhang enthalten (siehe Tabelle 31).

Tabelle 31: Zuordnung der Aufzeichnungen zur Darstellung der semi-automatischen OWAS-Analyse im Anhang für die Aufzeichnungen 1 bis 4

Aufzeichnung	Dateiname	Anhang
1	Exp1.html	Anhang 4
2	Exp2.html	Anhang 5
3	Exp3.html	Anhang 6
4	Exp4.html	Anhang 7

Abbildung 48 zeigt einen Ausschnitt aus der OWAS-Analyse der Aufzeichnung 1.

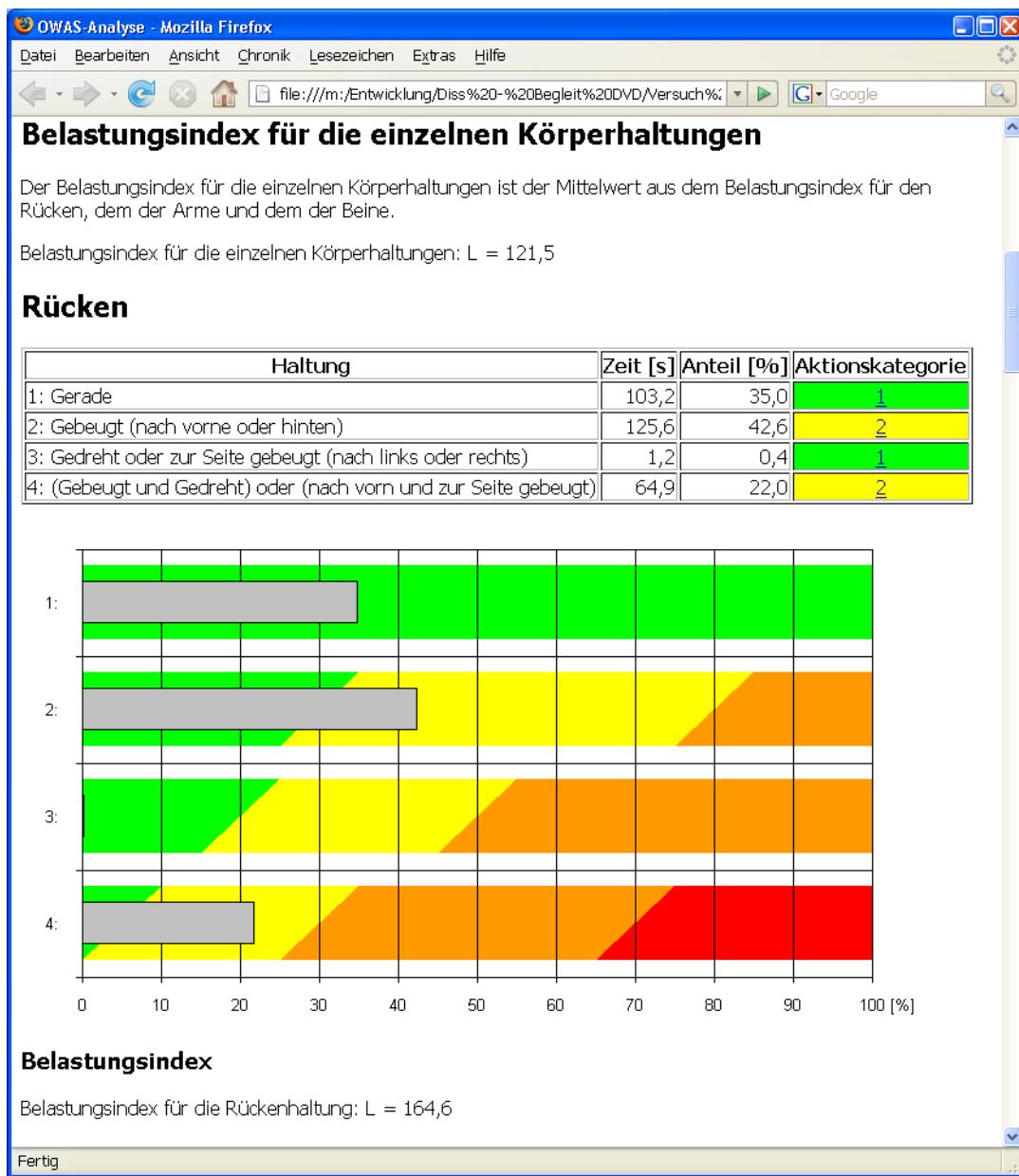


Abbildung 48: Screenshot der vom Programm OwasEvaluator erzeugten OWAS-Analyse für Aufzeichnung 1

9.2.7.3.3 Vergleich zwischen manueller und semi-automatischer OWAS-Analyse

Im Vergleich zur manuellen OWAS-Analyse fällt bei der semi-automatischen OWAS-Analyse auf, dass deutlich mehr Haltungskombinationen gefunden werden. Dabei handelt es sich allerdings durchweg um Körperhaltungen mit geringem zeitlichen Anteil. Dieser Effekt lässt sich durch höhere Anzahl von OWAS-Kodierungen erklären: Diese Körperhaltung wurden nur für eine so kurze Zeit eingenommen, dass sie bei der manuellen OWAS-Analyse nicht auffielen.

9.2.7.3.4 Lundqvist-Indexe

Tabelle 31 zeigt die Gesamt-Lundqvist-Indexe für die manuelle und die semi-automatische OWAS-Analyse für alle vier Aufzeichnungen. Der Gesamt-Lundqvist-Index ist der Mittelwert zwischen dem Lundqvist-Index für die einzelnen Körperhaltungen und dem Lundqvist-Index für die Haltungskombinationen.

Tabelle 31: Gesamt-Lundqvist-Indexe für manuelle und semi-automatische OWAS-Analyse

Aufzeichnung	L-Index einzelne Körperhaltungen		L-Index Haltungskombinationen		L-Index Gesamt	
	manuell	semi-automatisch	manuell	semi-automatisch	manuell	semi-automatisch
1	121,2	121,5	174,7	175,9	148,0	148,7
2	125,3	126,3	183,8	187,9	154,5	157,1
3	123,6	123,7	184,5	187,5	154,0	155,6
4	121,3	121,9	176,0	176,0	148,7	148,9

Tabelle 32: Lundqvist-Indexe der einzelnen Körperhaltungen für manuelle und semi-automatische OWAS-Analyse

Aufzeichnung	L-Index Rücken		L-Index Arme		L-Index Beine	
	manuell	semi-automatisch	manuell	semi-automatisch	manuell	semi-automatisch
1	163,6	164,6	100,0	100,0	100,0	100,0
2	175,8	178,8	100,0	100,0	100,0	100,0
3	170,9	171,0	100,0	100,0	100,0	100,0
4	164,0	165,7	100,0	100,0	100,0	100,0

Wie aus Tabelle 32 zu entnehmen ist, ergeben sich nur für den Rücken Werte von mehr als 100. Dies war angesichts der untersuchten Tätigkeit (mit deutlichem Schwerpunkt auf problematischen Rückenhaltungen) zu erwarten.

Für Arme und Beine liefern sowohl die manuelle als auch die semi-automatische OWAS-Analyse fast identische Ergebnisse. Der Grund dafür ist, dass in allen vier Aufzeichnungen sowohl für die Arme als auch für die Beine die aus den kodierten Werten resultierenden Anteile jeweils der Aktionskategorie „1“ zugeordnet sind. Die Zeitanteile der Körperhaltungen für Arme und Beine sind da-

bei teilweise so weit vom Grenzwert für die Zuordnung zur Aktionskategorie „2“ entfernt, dass selbst Abweichungen von 20 % das Ergebnis des Lundqvist-Indexes nicht verändern würden.

Der Lundqvist-Index für die Haltung des Rückens liefert (ebenfalls zu erwartende) deutlich von 100 abweichende Werte: Die Bandbreite reicht von 163,6 (Aufzeichnung 1, manuell) bis 178,8 (Aufzeichnung 2, semi-automatisch); siehe auch Abbildung 49.

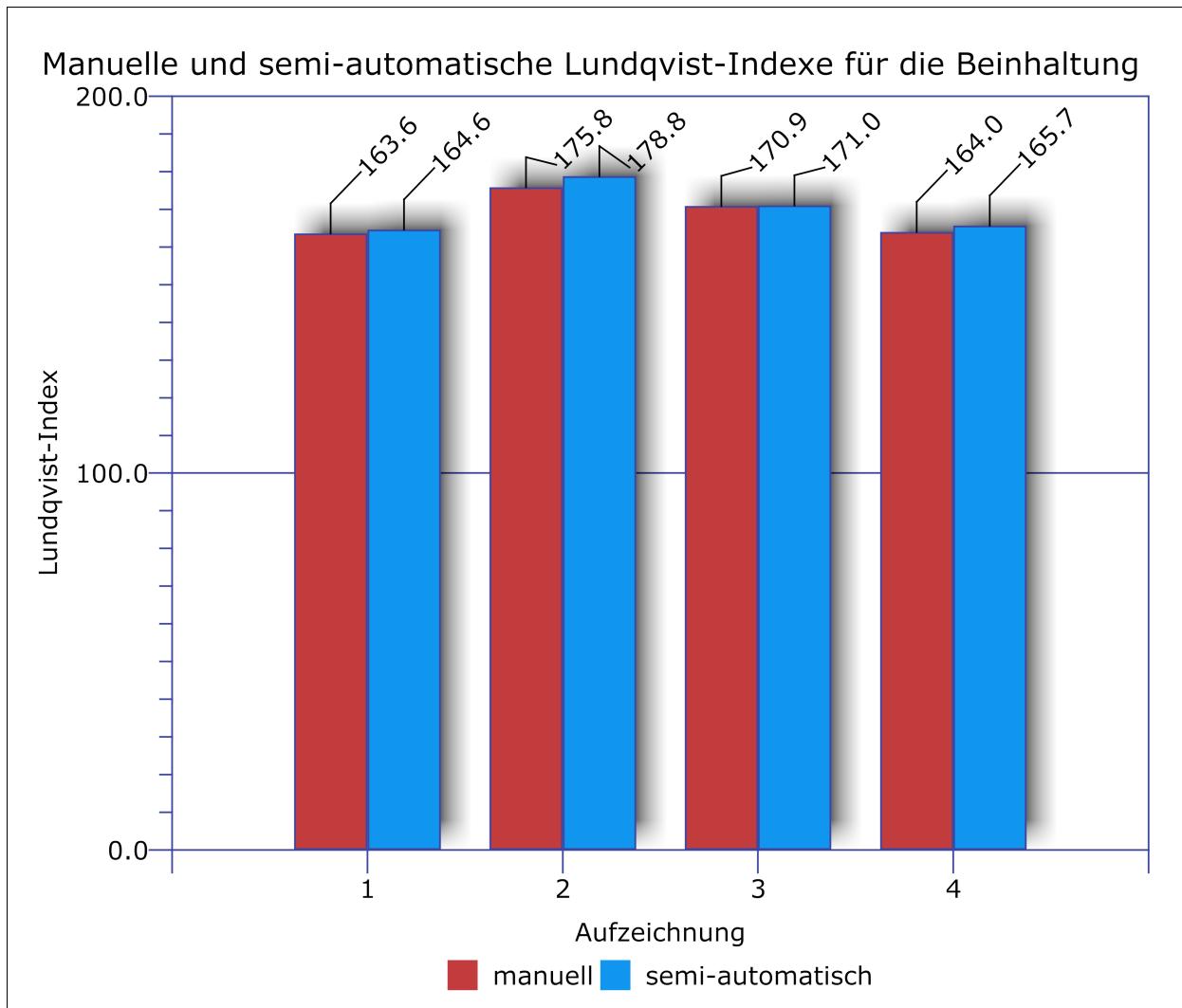


Abbildung 49: Manuelle und semi-automatische Lundqvist-Indexe für die Beinhaltung für die Aufzeichnungen 1 bis 4

Der Unterschied zwischen manueller und semi-automatischer OWAS-Analyse liegt zwischen 0,1 (Aufzeichnung 3) und 3,0 (Aufzeichnung 2). Stets liefert die semi-automatische OWAS-Analyse den höheren Lundqvist-Index für die Beinhaltung. Der größte Unterschied zwischen manuell und semi-automatisch berechneten Lundqvist-Index liegt mit 3,0 deutlich unter dem größten gemessenen Unterschied zwischen zwei Lundqvist-Indexen auf Basis manueller Kodierung mit 12,2 (gemessen zwischen Aufzeichnung 1 und Aufzeichnung 2).

9.2.8 Interpretation der Ergebnisse

9.2.8.1 Eignung der Methode

Die Anforderung an die entwickelte Methode war, dass Aufnahme und anschließende Auswertung in einem realistischen Szenario eingesetzt werden können.

Dies konnte durch den Versuch 2 bestätigt werden: Sowohl die Aufnahme als auch die anschließende Erstellung der OWAS-Analyse gelang ohne Probleme. Die Handhabung der Technik konnte in wenigen Stunden erlernt werden; für die Erstellung der OWAS-Analyse selbst war keine Einarbeitungszeit nötig.

Im Vergleich zur herkömmlichen OWAS-Analyse erhält der Benutzer mit der interaktiven Analyse ein Werkzeug, um den oder die Schwerpunkte einer zu vermeidenden Körperhaltung schnell und einfach zu lokalisieren.

9.2.8.2 Mögliche Verbesserungen

Aus den Daten der Aufzeichnung 2 errechnete das Programm OwasEvaluator aus dem Prototyp 4 für etwas weniger als vier Sekunden ein fehlerhafte Kodierung für den Rücken (ab TimeStamp 00:04:54.000). Eine Untersuchung der in diesem Zeitraum aufgezeichneten Bewegungsdaten erbrachte, dass *auf Basis der Bewegungsdaten* die Kodierung für den Rücken korrekt war. Mit anderen Worten: Die Bewegungsdaten selbst waren zu diesem Zeitpunkt fehlerhaft.

Dies kann durch verrutschte Sensoren auf dem Anzug verursacht werden, der als Träger für die Sensoren selbst fungiert. Verrutschte Sensoren wurden auch zu Beginn von Versuch 1 beobachtet; als Abhilfe wurde die Position der Sensoren auf dem Anzug verändert sowie auf einen festeren Sitz des Anzugs geachtet, um ein Verrutschen zu vermeiden.

Offensichtlich konnte die ergriffene Maßnahme bei Aufzeichnung 2 die fehlerhaften Bewegungsdaten nicht verhindern. Abhilfe ließe sich durch einen enger sitzenden Anzug schaffen. Für unterschiedlich große Probanden müsste dann ein passender Anzug verwendet werden.

9.2.8.3 Korrektheit

Der Versuch 2 hat gezeigt, dass bei drei von vier Aufzeichnungen die vom Prototyp generierten OWAS-Analyse der zur Kontrolle erstellten OWAS-Analyse auf Basis manueller OWAS-Kodierung entspricht. Nur in Aufzeichnung 3 gab es für weniger als vier Sekunden eine fehlerhafte Kodierung der Haltung des Rückens.

Li und Lee [31] führten im Jahr 1999 Untersuchungen der Körperhaltungen in der taiwanischen Bauindustrie nach der OWAS-Methode durch. Die auf Video aufgezeichneten Tätigkeiten der Arbeitspersonen wurden mit einer Taktdauer von 30 Sekunden von zwei von einander unabhängigen Beobachtern mit der OWAS-Methode kodiert. Li und Lee konnten dadurch die Abweichung in den Kodierungen ermitteln, die durch unterschiedlich Interpretation der auf dem Video zu sehenden Körperhaltungen durch die beiden Beobachter entstanden: Für den Rücken konnten sie einen Wert von 87 bis 98 % gleich kodierter Haltungen ermitteln, für die Armhaltung 97 bis 100 % und für die Haltung der Beine schließlich 93 bis 98 %. Für den Rücken liegt der Anteil unterschiedlicher Kodierungen damit bei 2 bis 13%.

Die von Kivi und Mattila ermittelten (1991, [32]) Werte für gleiche Kodierungen liegen bei 86 % für den Rücken, 94 % für die Arme, 85 % für die Beine und 94 % für die Kodierung der gehabten Last.

Im Vergleich zu diesen Werten liegt auch Aufzeichnung 3 mit einer Abweichung von weniger als 1 % in einem sehr guten Rahmen.

9.2.8.4 Aufwand

9.2.8.4.1 Zeitlicher Aufwand

Der Versuch 2 hat sehr eindrucksvoll den Zeitvorteil demonstriert, der durch den Einsatz der entwickelten Methode erreicht werden kann: Während die manuelle Kodierung pro Aufzeichnung ca. eine Stunde in Anspruch nahm, lag bei der semi-automatischen Erstellung der OWAS-Analyse das Ergebnis schon nach 8 bis 14 Minuten vor, wobei darin Zeit zur Ausführung der Tätigkeit schon enthalten ist.

9.2.8.4.2 Kosten

Eine OWAS-Analyse auf Basis manueller Kodierung verursacht nur geringe Hardwarekosten: Neben einer Videokamera fallen (abgesehen von einem PC für die spätere Auswertung) keine Investitionen an.

Hier ist die entwickelte Methode deutlich im Nachteil: Allein das System zur Aufzeichnung der Bewegungsdaten kostete (2007) rund 90.000 €. Allerdings war das verwendete Animazoo-System zu diesem Zeitpunkt noch weitgehend ohne Konkurrenz auf dem Markt. Inzwischen (März 2008) gibt es Wettbewerber, unter anderem das Produkt „Moven“ der Fa. Xsens [49] zu einem Preis von etwa 30.000 €. Erste Tests beim Forschungspartner Daimler in Ulm zeigten eine vergleichbare Leistungsfähigkeit. Mit mehr Wettbewerbern auf dem Markt ist ein weiterer Preisverfall abzusehen.

Die tatsächlichen Mehrkosten einer Messung mit Aufzeichnung der Bewegungsdaten hängen vom Nutzungsgrad des Motion-Capturing-Systems ab: Je mehr Messungen mit dem System durchgeführt werden, desto günstiger fallen die Kosten pro Messung aus, da das System selbst außer Strom keine weiteren Kosten verursacht.

Damit hängt letztlich die Frage der Wirtschaftlichkeit gegenüber der manuellen OWAS-Analyse von deren Personalkosten ab. Über das reine Kostenargument hinaus ergibt sich aber mit der entwickelten Methode eine höhere Flexibilität für den Nutzer, da dieser nicht mehr auf einen Experten für die OWAS-Analyse angewiesen ist (und die Analyse auch nicht selbst erstellen muss). Für Produktionsplaner eröffnet sich mit den kurzen Zeiten die Möglichkeit, in einem iterativen Verfahren als problematisch erkannte Arbeitsplätze zu verbessern und die Alternativen jeweils durch die OWAS-Analyse abzusichern.

9.2.8.5 Framerate

Schließlich sollte noch eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Aufzeichnung mit höherer Framerate (60 Hz statt 30 Hz) andere Ergebnisse liefert.

Nach den vorliegenden Untersuchungen kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Verwendung von 60 Hz bessere Ergebnisse liefert als bei Verwendung von 30 Hz. „Bessere Ergebnisse“ müssten sich in abweichenden OWAS-Kodierungen zeigen. Diese waren aber nur in Aufzeichnung 3 (aufgezeichnet mit 60 Hz) zu beobachten; und lieferten eine falsche Kodierung. Allerdings gibt es keinen Hinweis darauf, dass durch eine andere Framerate eine andere Kodierung hätte erreicht werden können.

10 Schlussbetrachtungen

10.1 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, die es in einem automatisierten Verfahren erlaubt, eine automatische ergonomische Analyse einer Tätigkeit auf Basis von Körperhaltungen zu erstellen.

Die eingenommene Körperhaltung wird semi-automatisch aus Bewegungsdaten bestimmt, die von einem kommerziell verfügbaren Motion-Capturing-System geliefert werden. Das System ist portabel, schnell in Betrieb zu nehmen und lässt sich nach kurzer Einweisung auch von Menschen benutzen, die keine Experten im Erfassung von Bewegungsdaten sind. Die drahtlose Übertragung der Daten gibt der Testperson einen sehr großen Raum, innerhalb der sie sich während der Messung bewegen kann. Die verwendete Messtechnik kann unter der Kleidung getragen werden, so dass sich praktisch keine Einschränkungen in der Bewegungsfreiheit der Testperson ergeben.

Die Methode kann in einer echten Produktionsumgebung, in Umgebungen der Virtuellen Realität als auch in Mischformen eingesetzt werden. Dies erlaubt es, eine ergonomische Untersuchung von Arbeitsplätzen vorzunehmen, die physikalisch noch nicht implementiert sind, sondern zu einem frühen Zeitpunkt der Produktionsplanung lediglich in der Virtuellen Realität dargestellt werden. Die ergonomische Absicherung hilft dabei, mögliche Belastungen der zukünftig an einem solchen Arbeitsplatz tätigen Mitarbeiter zu vermeiden.

Zur ergonomischen Analyse der aus den Bewegungsdaten ermittelten Körperhaltungen wird die OWAS-Methode verwendet. Mit dem Lundqvist-Index wird neben der eigentlichen OWAS-Analyse auch ein Zahlenwert berechnet, der das Ergebnis der OWAS-Analyse in einen Zahlenwert zusammenfasst. Dies erlaubt die Vergleichbarkeit mehrerer Varianten einer Tätigkeit. Schließlich erlaubt die interaktive Darstellung der OWAS-Analyse dem Nutzer des Systems, schnell und intuitiv mögliche Schwerpunkte der Belastung zu ermitteln.

Zentraler Bestandteil der entwickelten Methode ist eine Software, die den Workflow von der Aufnahme der Bewegungsdaten bis zur Auswertung abbildet. Die Software wurde in einem iterativem Verfahren entwickelt und einer experimentellen Überprüfung unterzogen. Dabei entstand zum einen ein Archiv von 124 Aufnahmen mit Körperhaltungen, die je einer OWAS-Kodierung zuzuordnen sind. Zum anderen wurde die Methode mehrfach in einer beispielhaften Arbeitssituation getestet und die von ihr gelieferte OWAS-Analyse mit jeweils einer konventionell erstellten OWAS-Analyse verglichen.

Dabei konnte die Praxistauglichkeit der Methode demonstriert werden. Die Ergebnisse lagen erheblich schneller vor als bei einer durch einen Menschen durchgeführten OWAS-Analyse. Die durch den Einsatz der Methode begangenen Fehler in der Kodierung der Körperhaltung war vernachlässigbar gering und lagen damit deutlich unter den Werten, die beim Einsatz von OWAS durch einen Menschen zu erwarten sind.

10.2 Zukünftige Entwicklung

Mit Bedacht wurde OWAS als Methode der ergonomischen Analyse gewählt: Sie setzt im Wesentlichen auf die Beobachtung der Körperhaltung, verbunden mit der Information über die auftretenden Lasten (wobei diese recht grob in drei Klassen eingeteilt werden). Dieses Konzept kommt der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methode entgegen, da die Körperhaltung aus den vom Motion-Capturing-System gelieferten Bewegungsdaten automatisch bestimmt werden kann. Der Nut-

zer muss lediglich noch die während einer zu untersuchenden Tätigkeit auftretenden Lasten manuell erfassen.

Andere Methoden zur ergonomischen Analyse (z. B. RULA und das AAWS) beziehen zusätzlich die auf die Arbeitsperson wirkenden Kräfte erheblicher detaillierter mit ein. Zudem werden Faktoren wie Repetition berücksichtigt. Als nächsten Schritt ist daher die Integration weiterer Methoden zur ergonomischen Analyse geplant.

Zudem gibt es die Überlegung, den Nutzer des Systems weiter zu unterstützen: Wurde durch die ergonomische Analyse ein nicht akzeptabler Teil in einer Tätigkeit festgestellt, stellt sich sofort die Frage, wie das Problem behoben werden kann. Gerade in Unternehmen, in denen mehrere Personen mit solchen Fragestellungen befasst sind, wäre es sinnvoll, einmal gefundene Lösungswege wiederzuverwenden zu können. Dazu müssten diese dokumentiert und zentral zur Verfügung gestellt werden. Innovative Werkzeuge zur Dokumentation, etwa in Form eines Wiki, können eine hohe Akzeptanz bei den Nutzern erreichen und so dazu beitragen, gefundene Lösungen allen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Eine geschickte Einbindung in die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Software könnte die Gebrauchstauglichkeit einer solchen Lösung noch verstärken.

Glossar

Animazoo: Der Name des Herstellers des Motion-Capturing-Systems „GypsyGyro18“.

Animazoo-Knochen: Ein im Animazoo-Skelett-Modell verwendete Verbindung zwischen zwei Animazoo-Knoten. Erscheint als Analogon zum Knochen als Verbindung zwischen zwei Gelenken.

Animazoo-Knoten: Eine im Animazoo-Skelett-Modell verwendete Verbindung zwischen zwei Animazoo-Knochen. Erscheint als Analogon zum Gelenk als Verbindung zwischen zwei Knochen.

Animazoo-Skelett-Modell: Das Animazoo-Skelett-Modell ist eine Vereinfachung eines menschlichen Skelettes, wobei die Zahl der Knochen und Gelenke von der Zahl der im Motion-Capturing-System verwendeten Gyroskope abgeleitet ist.

AVI-Format: Ein von Microsoft entwickeltes Dateiformat zur Speicherung von Video- und Audiodaten („Container-Format“). „AVI“ ist ein Akronym für „Audio Video Interleaved“. Eine Definition des Formates ist in [50] veröffentlicht [51].

BVH-Format: Ein Dateiformat für die Speicherung von Bewegungsdaten. „BVH“ ist ein Akronym für „Biovision Hierarchy“. Biovision ist der Name der Firma, die das Format ursprünglich entwickelt hat. Das Format besteht aus zwei Teilen: Zunächst wird der (hierarchische, daher der Name) Aufbau eines Skelettes beschrieben. Im zweiten Teil stehen dann die eigentlichen Bewegungsdaten. [36] enthält eine kurze Beschreibung des Formates.

Compilieren: Übersetzen des Quellcodes in eine ausführbare Datei. Für diesen Vorgang wird ein Compiler benötigt.

CyberManS: Akronym für „Cybernetic Manufacturing Systems“. CyberManS ist ein Forschungsprojekt aus dem 6. Europäischen Forschungsrahmenprogramms.

Datei-Endung: Der Teil des Dateinamens nach dem letzten Punkt. Für „Test.mocap“ ist die Endung „.mocap“

Delmia: Akronym für „Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application“. Delmia ist eine Softwarelösung zur Planung, Visualisierung, Simulation und Absicherung von Produktionsplanungen. Dabei verfolgt Delmia erste Ansätze in Richtung Umsetzung der Digitalen Fabrik [52].

Frame: Ein Block von Daten, die zusammen übertragen oder verarbeitet werden.

Framerate: Gibt die Zahl der Frames pro Zeiteinheit an. Als Zeiteinheit wird meistens 1 Sekunde gewählt.

HAL TLVs: Akronym für „Hand Activity Level Threshold Limit Values“. HAL TLVs ist eine Methode zur ergonomischen Beurteilung der Belastungen der Hand bei einer Tätigkeit von mindestens vier Stunden Dauer.

HTML: Akronym für „Hyper Text Markup Language“. Mit HTML können Daten in einer Textdatei hierarchisch strukturiert gespeichert werden. HTML wird häufig für die Darstellung von Webseiten im Internet verwendet. Mit speziellen Programmen („Browser“) lassen sich HTML-Dateien anzeigen und drucken.

MEMS: Akronym für „Micro-Electro-Mechanical System“. Ein MEMS „ist die Kombination aus mechanischen Elementen, Sensoren, Aktoren und elektronischen Schaltungen auf einem Substrat bzw. Chip“ [53].

NIOSH: Akronym für „National Institute of Occupational Safety and Health“, das Institut für Arbeitssicherheit und Gesundheit der USA.

OWAS: Ovako Working Posture Analysis System. Siehe auch: OWAS-Methode.

OWAS-Kodierung: Eine vierstellige Folge von Ziffern, mit der die Haltung von Rücken (erste Ziffer), Armen (zweite Ziffer), Beinen (dritte Ziffer) und Lasten (vierte Ziffer) entsprechend dem Schema in der OWAS-Methode beschrieben wird.

OWAS-Methode: Methode zur systematischen Beobachtung von eingenommenen Körperhaltungen während einer Tätigkeit am Arbeitsplatz. Die beobachteten Körperhaltungen werden zunächst kodiert. In einem zweiten Schritt wird aus Vorkommen und zeitlichen Anteil der beobachteten Körperhaltungen Notwendigkeit und Dringlichkeit von Maßnahmen zur Änderung des Arbeitsplatzes abgeleitet.

PDF: Akronym für „Portable Document Format“. PDF ist ein Dateiformat für die Darstellung von Dokumenten.

Root-Sensor: Beim Motion-Capturing-System „GypsyGyro18“ an der Hüfte befestigter Gyroskop, auf den sich die Haltung der restlichen Körperteile bezieht.

RULA: Akronym für „Rapid Upper Limbs Assessment“. Eine von McAtamney und Nigel entwickelte Methode zur ergonomischen Bewertung von Tätigkeiten. RULA berücksichtigt besonders die oberen Extremitäten (Kopf, Arme, Rücken).

Screenshot: Eine Abbildung des Bildschirmhaltes.

SDK: Akronym für „Software Development Kit“. Eine Programm-Schnittstelle, die eigene Erweiterungen einer Software ermöglicht.

Thread: Im Kontext von Microsoft Windows ein zu einem Programm gehörender Prozess. Threads können parallel ablaufen.

USB: Akronym für „Universal Serial Bus“. USB ist ein universelles Bussystem zum Anschluss von externen Geräten an einen Computer.

XML: Akronym für „Extensible Markup Language“ („erweiterbare Auszeichnungssprache“). Mit XML können Daten in einer Textdatei hierarchisch strukturiert gespeichert werden.

Abbildungsverzeichnis

- 1: RULA-Arbeitsbogen Teil 1 zur Erfassung der Arm- und Handgelenkshaltung. Aus [6].
- 2: Eine zur Aufnahme der Bewegungsdaten mit reflektierenden Markern (weiße Bälle) ausgerüstete Person. Aus [17].
- 3: Ein Marker für das Motion-Capturing-System „OptiTrack“. Der Durchmesser des Markers beträgt 7/16“ (ca. 1,1 cm). Aus [17].
- 4: Eine der im Motion-Capturing-System „OptiTrack“ verwendeten Kameras. Das Objektiv befindet sich in der Mitte des Kreises; die um das Objektiv herum angeordneten LEDs sorgen für die infrarote Beleuchtung der Marker. Aus [17].
- 5: Eine vom Hersteller „NaturalPoint“ für das Motion Capturing System „OptiTrack“ empfohlene Anordnung mit sechs Kameras. Aus [21].
- 6: Eine Auswahl am Körper anzubringender Sensoren zur Erfassung der Körperhaltung. Aus [20].
- 7: Beispiel für ein Motion-Capturing-System auf Basis eines Exoskeletts (Animazoo Gypsy-6). Aus [21].
- 8: InertiaCube3 von InterSense kombiniert neun Sensoren und Kalman-Filter in einem Bauelement. Die Kantenlängen des Bauelements ist 26,2x39,2x14,8 mm. Aus [25].
- 9: Motion-Capturing-System „GypsyGyro18“ von Animazoo.
- 10: Skelett-Modell für das Motion-Capturing-System „GypsyGyro18“ von Animazoo.
- 11: Am Proband angelegtes CUELA-System. Aus [26].
- 12: Zusammensetzung einer OWAS-Kodierung
- 13: Zuordnung der Haltung des Rückens zu einer Aktionskategorie, abhängig von der Zeit.
- 14: Zuordnung der Haltung der Arme zu einer Aktionskategorie, abhängig von der Zeit.
- 15: Zuordnung der Haltung der Beine zu einer Aktionskategorie, abhängig von der Zeit.
- 16: Zuordnung von Haltungskombinationen zu einer Aktionskategorie
- 17: Spiralmodell nach Boehm. Aus [35].
- 18: Screenshot des Fensters mit der Ansicht der von der Kamera aufgenommenen Szene.
- 19: Screenshot des Fensters mit der Ansicht der aufgenommenen Bewegungsdaten.
- 20: Frame 156 aus der Datei „StandKneelUpWalk.bvh“. Zeigt die Namen der Knoten im Animazoo-Skelett-Modell.
- 21: Namen der Knochen im Animazoo-Skelett-Modell.
- 22: Haltung und Ausrichtung des Körpers in Nullposition.
- 23: Haltung und Ausrichtung des Körpers in Nullposition, Arme seitlich ausgestreckt.
- 24: Frame 137 aus der Datei „StandKneelUpWalk.bvh“. 137.tif“
- 25: Frame 213 aus der Datei „StandKneelUpWalk.bvh“. 213.tif“
- 26: Auszug aus der durch den dritten Prototyp generierten OWAS-Analyse für die Kofferraummontage („Exp1.xml“).
- 27: Ausschnitt aus einer interaktiven OWAS-Analyse.

- 28: Verteilung der Vorkommen der mit „2311“ kodierten Körperhaltung über die Zeit der Aufnahme.
- 29: Ausschnitt der Verteilung der mit „2311“ kodierten Körperhaltung über die Zeit der Aufnahme mit einem Vergrößerungsfaktor von 250%.
- 30: Anzeige des Video-Players nach einem Klick in das Diagramm in Abbildung 29 (Aufnahmezeit 2:53.281).
- 31: Anzeige der Bedeutung des Codes „4141“ nach Klick auf „4141“ in OWAS-Analyse der Prototyps 4. Dateiname: „ScreenShot Pt4 OwasAnalyse Code 4141.tif“
- 32: Eingabemöglichkeit der Sitzgelegenheit
- 33: Flussdiagramm für die Bestimmung der Beinhaltung
- 34: Möglichkeit der Korrektur von fehlerhaft erkannten OWAS-Kodierungen in OwasEvaluator
- 35: Testperson bei der Aufnahme der ersten Staffel für den Versuch 1.
- 36: Je höher der Anteil an Interaktivität, desto sinnvoller ist die Verwendung eines physikalischen Prototyps. Nach Vincent G. Duffy: „Modified Virtual Build Methodology for Computer-Aided Ergonomics and Safety“ in „Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 17 (5)“, Seiten 413-422 aus 2007. („Figure 1: Human aspects of design in a digital enterprise are shown on a continuum“)
- 37: Bild des Holzmockups
- 38: Lageplan für den Versuch 2.
- 39: Zeitbedarf für manuelle und semi-automatische Kodierung im Vergleich zur Aufnahmedauer.
- 40: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 1, einzelne Körperhaltungen
- 41: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 1, Haltungskombinationen
- 42: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 2, einzelne Körperhaltungen
- 43: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 2, Haltungskombinationen
- 44: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 3, einzelne Körperhaltungen
- 45: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 3, Haltungskombinationen
- 46: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 4, einzelne Körperhaltungen
- 47: Screenshot OWAS-Analyse aus WinOWAS, Aufzeichnung 4, Haltungskombinationen
- 48: Screenshot der vom Programm OwasEvaluator erzeugten OWAS-Analyse für Aufzeichnung 1
- 49: Manuelle und semi-automatische Lundqvist-Index für die Beinhaltung für die Aufzeichnungen 1 bis 4

Verzeichnis der Tabellen

- 1: Aktionskategorien der OWAS-Methode
- 2: Gesamtpunktwerte in RULA und daraus abgeleitetes Vorgehen
- 3: Methoden, die primär die Körperhaltung berücksichtigen
- 4: Kodierungen der Körperhaltungen für den Rücken in der OWAS-Methode
- 5: Kodierungen der Körperhaltungen für die Arme in der OWAS-Methode
- 6: Kodierungen der Körperhaltungen für die Beine in der OWAS-Methode
- 7: Kodierungen der Körperhaltungen für die Lasten in der OWAS-Methode
- 8: Fehlerquelle bei äquidistanten Beobachtungsintervallen
- 9: Zuordnung der Zahl der Beobachtungen zur Grenze des Fehlers
- 10: Aktionskategorien der OWAS-Methode
- 11: Anforderung an den Prototyp 1
- 12: Anforderung an den Prototyp 2
- 13: Mögliche OWAS-Kodierung für den Rücken
- 14: Mögliche OWAS-Kodierung für die Arme
- 15: Mögliche OWAS-Kodierung für die Beine
- 16: Anforderung an den Prototyp 3
- 17: Von den Nutzern der Prototypen 2 und 3 angeregte Änderungen
- 18: Anforderung an den Prototyp 4
- 19: Name und Beschreibung der im Prototyp 4 verwendeten Module.
- 20: Liste der im Versuch 1 in der ersten Staffel erstellten Aufnahmen
- 21: Liste der in der ersten Staffel aufgenommenen Dateien, die für weitere Tests unter neuen Namen geführt werden
- 22: Liste der im Versuch 1 in der zweiten Staffel erstellten Aufnahmen
- 23: Beschreibung der im Versuch 2 durchzuführenden Tätigkeit
- 24: Während des Versuchs 2 vom Probanden benötigte Teile
- 25: Anordnung der im Versuch 2 verwendeten Teile zu Beginn des Versuchs
- 26: Während des Versuchs 2 erstellte Aufzeichnungen
- 27: Zeiten für Beginn und Ende der Tätigkeit für die semi-automatische OWAS-Analyse
- 28: Kodierungen für die manuelle OWAS-Analyse
- 29: Für die manuelle OWAS-Kodierung benötigter Zeitaufwand
- 30: Unterschiede zwischen semi-automatischer und manueller Kodierung der Körperhaltungen
- 31: Gesamt-Lundqvist-Indexe für manuelle und semi-automatische OWAS-Analyse
- 32: Lundqvist-Indexe der einzelnen Körperhaltungen für manuelle und semi-automatische OWAS-Analyse

Quellen

- [1]: Eigene Zählung der von BMW, Mercedes und Volkswagen 1985 und 2008 angebotenen PKW-Modelle. Quellen für die Zählung sind:
- (1): Artikel BMW. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 18. August 2008, 09:56 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=BMW&oldid=49682363> (Abgerufen: 18. August 2008, 20:29 UTC)
- (2): Artikel Mercedes-Benz-PKW. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 11. August 2008, 02:36 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Mercedes-Benz-PKW&oldid=49409328> (Abgerufen: 18. August 2008, 20:31 UTC)
- (3): Artikel Volkswagen. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 17. August 2008, 16:01 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Volkswagen&oldid=49657227> (Abgerufen: 18. August 2008, 20:31 UTC)
- [2]: Holger Luczak: „Arbeitswissenschaft“. 2. Auflage. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, 1998.
- [3]: Webseite der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) mit der Leitmerkmalmethode „Heben, Halten, Tragen“.
URL: „http://www.baua.de/nn_12238/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Heben-Halten-Tragen.pdf“. Abgerufen am 19. August 2008, 10:34 UTC.
- [4]: Webseite der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) mit der Leitmerkmalmethode „Ziehen, Schieben“.
URL: „http://www.baua.de/nn_12238/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Ziehen-Schieben.pdf“. Abgerufen am 19. August 2008, 10:34 UTC.
- [5]: Rolf Ellegast: „Verfahren zur Bewertung von manuellen Lastenhandhabungen“. In: BGIA-Report 4/2005. Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BGIA). St. Augustin, 2005.
- [6]: Ulrike Hoehne-Hückstädt: „Verfahren zur Bewertung repetitiver Tätigkeiten“. In: BGIA-Report 4/2005. Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BGIA). St. Augustin, 2005.
- [7]: Martin Lawaczeck: „Zur ergonomischen Beurteilung von Montagetätigkeiten in der Automobilindustrie“. ERGON GmbH, Stuttgart, 2000.
- [8]: Christoph Motzko, Markus Stürmer, Alexander Fuchs, Karlheinz Schaub: „Ergonomiestudie bei Arbeiten zur Erstellung von Abschottungssystemen“. URL: „<http://www1.tu-darmstadt.de/fb/bi/baubetrieb/files/ErgonomiestudieAbschottungen.pdf>“. Abgerufen: 24. März 2008, 14:33 UTC.
- [9]: „NPW (New Production Worksheet) – Formular“ (V5.1) auf der Webseite der Initiative Neue Qualität der Arbeit (INQA). URL: „http://www.inqa.de/Inqa/Datenbank/Uploads/Praxis__Anlage__62904__62904__pdf,property=blob.pdf“. Abgerufen: 19. August 2008, 11:13 UTC.
- [10]: Osmo Karhu, Pekka Kansi and Ilkka Kuorinka: „Correcting working postures in industry: A practical method for analysis“. Applied Ergonomics, Vol. 8.4, 1977, pages 199-201.
- [11]: Gerhard Stoffert: „Analyse und Einstufung von Körperhaltungen bei der Arbeit nach der OWAS-Methode“. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 39 (11NF) (1985) Nr. 1, S.
- [12]: Lynn McAtamney und Nigel Corlett: „RULA -: A survey method for investigation of work-related upper limb disorders“. Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99.

- [13]: Artikel *Eadweard Muybridge*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 14. Juli 2008, 07:16 UTC. URL: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Eadweard_Muybridge&oldid=48360709 (Abgerufen: 24. Juli 2008, 21:54 UTC)
- [14]: Hans Martin: „Grundlagen der menschengerechten Arbeitsgestaltung. Handbuch für die betriebliche Praxis“. Bund-Verlag GmbH, Köln, 1994.
- [15]: Brett Allan King and Linda Dailey Paulson: „Motion Capture Moves into New Realms“. IEEE Computer 40(9): Pages 13-16 (2007).
- [16]: Webseite für MeMoMan. URL: „<http://vision.cs.tum.edu/projects/memoman/>“. Abgerufen: 18. August 2008, 20:03 UTC.
- [17]: Webseite für das Produkt „OptiTrack“: „<http://www.naturalpoint.com/optitrack/products/motion-capture/>“. (Abgerufen: 1. August 2008, 21:53 UTC).
- [18]: Webseite von SIMI Reality Motion Systems GmbH: „<http://www.simi.com>“. Abgerufen: 14. August 2008, 16:31 UTC.
- [19]: Webseite von Vicon: „<http://www.vicon.com>“. Abgerufen: 14. August 2008, 16:33 UTC.
- [20]: Kamiar Aminian und Bijan Najafi: „Capturing human motion using body-fixed sensors: outdoor measurement and clinical applications“. Computer Animation and Virtual Worlds, Volume 15 Issue 2, Pages 79–94.
- [21]: Bild mit angelegtem Motion-Capturing-System Animazoo Gypsy-6. URL: „http://www.inition.com/inition/product.php?URL_=product_mocaptrack_animazoo_gypsy&SubCatID_=0“. (Abgerufen: 3. August 2008, 21:10 UTC).
- [22]: Lasse Klingbeil: „Entwicklung eines modularen und skalierbaren Sensorsystems zur Erfassung von Position und Orientierung bewegter Objekte“. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn. Bonn, 2006. Elektronisch publiziert über den Hochschulschriftenserver der ULB Bonn (URL: „http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online“, abgerufen: 12. August 2008, 21:39 UTC).
- [23]: Artikel „Motion capture“. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: 10. August 2008, 04:40 UTC. URL: „http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Motion_capture&oldid=230953443“. (Abgerufen: 12. August 2008, 22:45 UTC).
- [24]: Produktbroschüre für das Produkt „MotionStar“ von Ascension Technology, Inc. Burlington, 2004.
- [25]: Spezifikationen für „InterSense InertiaCube3 and IC3 Processor“ von InterSense, Inc. Bedford, ohne Jahr.
- [26]: Ulrike Hoehne-Hückstädt, Christa Herda, Rolf Ellegast u. a.: „BGIA-Report 2/2007“. Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BGIA). St. Augustin, 2007.
- [27]: Veikko Louhevaara, Timo Suurnäkki: „OWAS: a method for the evaluation of postural load during work“. Institute of Occupational Health, Centre for Occupational Safety. Helsinki, Finland, 1992.
- [28]: I. Kant, J. H. V. Notermans, P. J. A. Borm: „Observations of working postures in garages using the Ovako Working Posture Analysing System (OWAS) and consequent workload reduction recommendations“. Ergonomics, Vol. 33, No. 2, 1990, pages 209-220.

- [29]: Tampere University of Technology: „WinOWAS“ Webseite. URL: „<http://turval.me.tut.fi/owas/> WinOWAS“. Abgerufen am 16. März 2008. WinOWAS ist eine frei verwendbare Software zur Eingabe von OWAS-Kodierungen. Aus den eingegebenen Kodierungen lässt sich eine OWAS-Analyse generieren.
- [30]: Artikel *Gewicht*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 16. Juli 2008, 20:08 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Gewicht&oldid=48467385> (Abgerufen: 18. Juli 2008, 10:35 UTC).
- [31]: Kai Way Li and Cheng-Lung Lee: „Postural Analysis of Four Jobs on Two Building Construction Sites: an Experience of Using the OWAS Method in Taiwan“. Journal of Occupational Health, Vol. 41, 1999, pages 183-190.
- [32]: P. Kivi and M. Mattila: „Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerised OWAS method“. Applied Ergonomics, Vol. 22.1, 1991, pages 43-48.
- [33]: Lundqvist, P: „Working Environment in Farm Buildings. Results of studies in livestock buildings and greenhouses“. Doctoral thesis, Department of Farm Building, Swedish University of Agricultural Sciences, Lund, Sweden, 1988.
- [34]: Jürgen Bortz: „Statistik für Sozialwissenschaftler“. 5. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio, 1999.
- [35]: Barry W. Boehm: „A Spiral Model of Software Development and Enhancement“. IEEE Computer. Vol. 21, Ausg. 5, Mai 1988, S. 61-72.
- [36]: Kurze Beschreibung des BVH-Formates (auf englisch). Unbekannter Autor. Aus dem Internet: „<http://www.cs.wisc.edu/graphics/Courses/cs-838-1999/Jeff/BVH.html>“, am 28.11.2007.
- [37]: Artikel „Extensible Markup Language“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 3. August 2008, 15:41 UTC. URL: „http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Extensible_Markup_Language&oldid=49126975“ (Abgerufen: 5. August 2008, 21:50 UTC)
- [38]: W3C (Hrsg.): „Extensible Markup Language (XML) 1.1 (Second Edition)“. URL: „<http://www.w3.org/TR/2006/REC-xml11-20060816/>“. (Abgerufen: 5. August 2008, 21:54 UTC)
- [39]: „PDF Reference, sixth edition: Adobe Portable Document Format version 1.7.“. Herausgeber: Adobe Systems Incorporated. November 2006. URL: „http://www.adobe.com/devnet/acrobat/pdfs/pdf_reference.pdf“. Abgerufen: 14. August 2008, 22:15 UTC.
- [40]: Thomas Rießinger: „Mathematik für Ingenieure“. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 1996.
- [41]: Jeff Raskin: „The humane interface: new directions for designing interactive systems“. Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 2000.
- [42]: Unbekannter Autor: Dokumentation zum SDK für das Animazoo-GypsyGyro18-System.
- [43]: Andrew Hill: „CairnTimer. A Replacement for Standard Delphi Timer Based on Windows API Multimedia Timers and Delphi TThreads Type. Freeware. Kontakt: a.hill@cairnweb.com, www.cairnweb.com. Cairn Research Ltd., Unit 3G, Brents Shipyard Ind Est, Faversham, Kent, England, ME13 7DZ.“
- [44]: J. Hübner: Unit „videocap.pas“ aus dem Paket „TVideo“. Aus dem Internet (6.8.2007) unter „<http://homepages.borland.com/torry/vcl/mmedia/video/jhvideocap.zip>“.
- [45]: J. Hübner: Unit „vfw.pas“ aus dem Paket „TVideo“. Aus dem Internet (6.8.2007) unter „<http://homepages.borland.com/torry/vcl/mmedia/video/jhvideocap.zip>“.

- [46]: Stefan Heymann: Unit „LibXmlComps“ aus dem Paket „XML Parser“. Aus dem Internet (24.8.2007) unter „<http://www.destructor.de/xmlparser/xmlparser.zip>“.
- [47]: Stefan Heymann: Unit „LibXmlParser“ aus dem Paket „XML Parser“. Aus dem Internet (24.8.2007) unter „<http://www.destructor.de/xmlparser/xmlparser.zip>“.
- [48]: Vincent G. Duffy: „Modified Virtual Build Methodology for Computer-Aided Ergonomics and Safety“. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 17 (5), Seiten 413-422 aus 2007.
- [49]: Webseite für das Produkt „Moven“: „www.moven.com“. (Abgerufen: 23. März 2008, 15:44 UTC)
- [50]: Beschreibung des AVI-Formates von Microsoft (auf englisch). Unbekannter Autor. Aus dem Internet: „<http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms779636.aspx>“, am 8.12.2007.
- [51]: Artikel „Audio Video Interleave“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 6. Dezember 2007, 18:24 UTC. URL: „http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Audio_Video_Interleave&oldid=39765743“ (Abgerufen: 8. Dezember 2007, 03:13 UTC)
- [52]: Artikel DELMIA. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 7. Mai 2008, 07:11 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=DELMIA&oldid=45737227> (Abgerufen: 18. Juli 2008, 09:30 UTC).
- [53]: Artikel „Micro-Electro-Mechanical System“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 9. August 2008, 11:19 UTC. URL: „http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Micro-Electro-Mechanical_System&oldid=49345420“ (Abgerufen: 13. August 2008, 16:25 UTC)
- [54]: Unbekannter Autor: Delphi-Quelltext mit der Definition einiger Klassen zur Analyse von AVI-Dateien. Aus dem Internet (27.9.2007):
„<http://www.swissdelphicenter.ch/torry/showcode.php?id=2050>“

Anhänge

Anhang 1: Anleitung MocapRecorder.....	127
Anhang 2: Anleitung OwasEvaluator.....	141
Anhang 3: Anleitung für den Versuchsleiter für den Versuch 2.....	163
Anhang 4: Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 1.....	171
Anhang 5: Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 2.....	183
Anhang 6: Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 3.....	195
Anhang 7: Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 4.....	207

Anhang 1

Anleitung MocapRecorder

Content

Introduction.....	130
Contact.....	130
Preparations.....	131
System requirements.....	131
User requirements.....	131
Installation.....	131
Start.....	131
Using the program.....	132
Overview.....	132
Step 1: Make sure that the Animazoo Gypsy Gyro 18 software is started.....	132
Step 2: Start the program.....	132
Step 3: Set the video compression method to Intel Indeo video 5.10.....	133
Step 4: Connect to the Animazoo Gypsy Gyro 18 suit.....	134
Step 5: Start recording.....	135
Step 6: Stop recording.....	135
Step 7: Wait.....	136
Step 8: End the program.....	136
Program states and lifetime.....	136
Troubleshooting.....	138
MotionCapturing.....	138
Video.....	138
Exception (fatal error) during PostProcessing.....	138
Customizing the program.....	139
Language.....	139
Passing the filename of the recorded files.....	139
Modifying Settings.....	139

Introduction

MocapRecorder.exe (MocapRecorder) is a program to record human motion data and video data synchronously. Recorded data can afterwards be used by the program OwesEvaluator.exe (OwasEvaluator) to perform a semi automatic ergonomic analysis based on the OWAS method. Although the video data will not be used for the analysis itself, it is used for creating a context when viewing the motion capturing data.

To record the motion capturing data, the program uses a Animazoo Gypsy Gyro 18 motion capturing device. The source for the video data can be a USB or FireWire camera.

Both types of data will be synchronized during the recording. The motion capturing and the synchronization data is stored in a XML file with the extension “*.mocap”, while the video data is stored in a separate file (“*.avi”).

The program can be called by other programs, using a parameter for determine the name of the files about to be created.

Contact

Thomas Gudehus
Institut für Arbeitswissenschaft
Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40
34109 Kassel
Germany

E-Mail: tgudehus@ifa.uni-kassel.de
Fax: +49 561 804 4162
Phone: +49 561 804 4327

Jürgen Klippert
Institut für Arbeitswissenschaft
Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40
34109 Kassel
Germany

E-Mail: jkippert@ifa.uni-kassel.de
Fax: +49 561 804 4162
Phone: +49 561 804 4203

Preparations

System requirements

- MotionCapturing system Animazoo Gypsy Gyro 18.
- The Animazoo software must have been installed. MocapRecorder uses the Animazoo software dated 2007-07-07, 12:01. To check this, the following files must be dated of 2007-07-07, 12:01: CobraRead.exe (the program that actually receives the data from the Animazoo suit), ExacTrax.dll and Cobra.dll. **Important: MocapRecorder will not run properly without the correct version installed.**
- Video source, e. g. an USB camera
- 2 GByte of RAM
- Windows XP SP2
- 2.6 GHz CPU or better
- Enough free space on the hard disc for recording.
- MocapRecorder uses the user's temporary directory to store files during actual recording. Make sure that this directory is on a local hard drive (not mapped to network share).
- The program has been designed for a screen resolution of 1280x1024 pixels or better. Running the program on a system with a higher resolution shall not arise any problems. Running the program with a lower screen resolution will obscure parts of the windows used by MocapRecorder.

User requirements

Besides knowledge about how to use Windows XP, including handling of files, this manual provides that the user is familiar with the use of the Animazoo Gypsy Gyro 18 MotionCapturing system.

Installation

Extract the ZIP file “MocapRecorder.zip” containing the software in an empty directory. After the installation, the following files must be present in that directory:

```
ExacTrax.dll
MocapRecorder.exe
MocapRecorder.ini
DLLs\Cobra.dll
Texte\ProgrammTexteDE.txt
Texte\ProgrammTexteEN.txt
Texte\XmlPrefix.txt
Texte\XmlSuffix.txt
```

Start

Launch MocapRecorder.exe.

Using the program

Overview

In general, using the program takes eight steps:

1. Make sure that the Animazoo Gypsy Gyro 18 software is started.
2. Start the program.
3. Set the video compression method to Intel Indeo video 5.10.
4. Connect to the Animazoo Gypsy Gyro 18 suit.
5. Start recording.
6. Stop recording.
7. Wait until the program has performed the Saving, CleanUp and PostProcessing states.
8. End the program.

Each step is explained below.

Step 1: Make sure that the Animazoo Gypsy Gyro 18 software is started

Since the program uses the Animazoo Gypsy Gyro 18 to record the motion capturing data, the Animazoo system needs to be installed and running.

Refer to the Animazoo documentation on how to install and run the system.

It is useful to test the Gypsy Gyro 18 system by its own software e. g. by the program “CobraView.exe” first.

Use a rate of 30 or 60 frames per second for the recording with MocapRecorder.

In the Gypsy Gyro 18 software of 2007-07-07, this can be done by launching “Go30FPS.bat” or “Go60FPS.bat”.

The startup process of the Gypsy Gyro 18 software will take a couple of minutes.

It is important that the suit is not to be moved during the startup of Gypsy Gyro 18 software (the subject has to stand still during that process).

When the startup is finished, continue with step 2.

Step 2: Start the program

The program connects to the video camera during startup automatically. The program comes up with the main window, the “Camera” window and the “MotionCapturing” window.

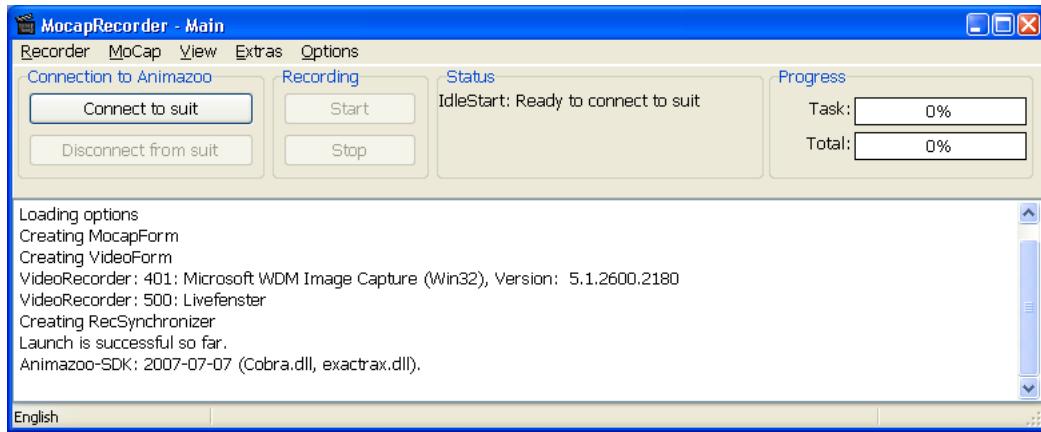


Figure 1: Main window of MocapRecorder, just after the start. Note the “Status” area displaying the current state of the program (“IdleStart”).

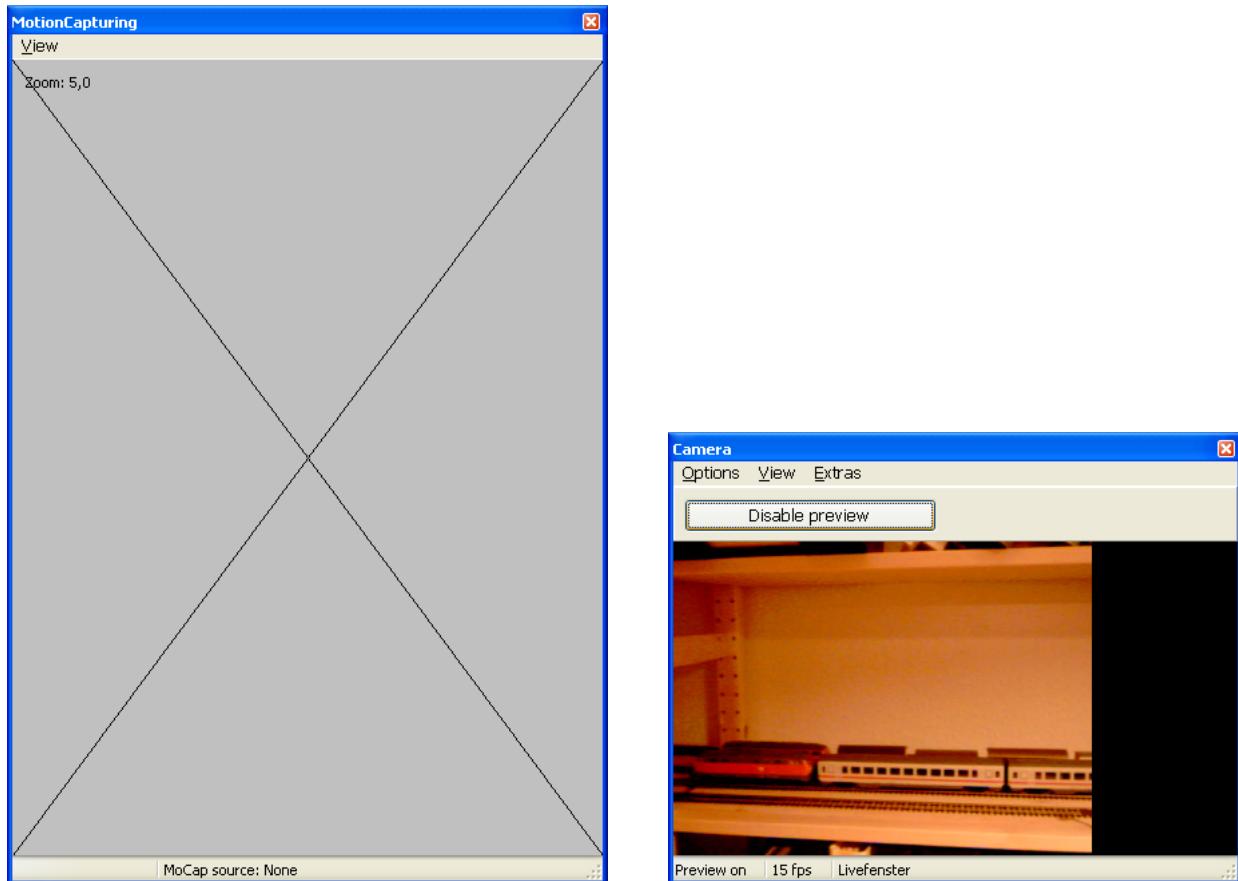


Figure 2 (left) and Figure 3 (right): “MotionCapturing” and “Camera” windows of MocapRecorder after the start of the program. Note that the “MotionCapturing” window shows just a “x” because it is not connected to a suit yet (indicated by “MoCap source: None” in the status bar).

Step 3: Set the video compression method to Intel Indeo video 5.10

Use the “Compression method...” command in the “Options” menu of the “Camera” window to open the dialog for selecting the compression method.

Select “Indeo Video 5.10” as compression method in the dialog.

Note that the language of the dialog depends on the operating system in use as shown in figure 4.

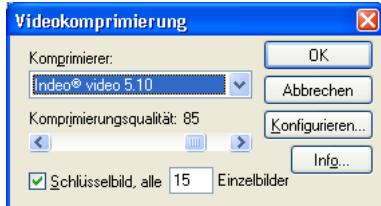


Figure 4: Dialog for selecting a video compression method. Note: The language of this dialog depends on the language of the operating system used.

Important: Do not forget to set the correct compression method! Otherwise, MocapRecorder may fail or create faulty recordings. This is caused by the amount of data that needs to be written to the hard disk and/or the CPU load caused by the compression during recording.

Step 4: Connect to the Animazoo Gypsy Gyro 18 suit

Make sure that the Animazoo software used for gathering the motion data (the program “CobraRead.exe”, maybe started by a batch file like “Go30FPS.bat”) has been started and has found all devices of the suit.

Refer to the Animazoo documentation on how to start a measurement.

A frame rate of 30 Hz is sufficient for creating a OWAS analysis later (using OwasEvaluator).

Use the “Connect to suit” button to launch this command. If the command is successful carried out, an avatar with the movements currently gathered is shown in the “MotionCapturing” window. In addition, the status bar displays “Live” and an increasing value for the currently shown frame.

Figure 5 shows an example. Note that in the status bar (at the bottom of the window), the program shows the current frame number received from the Animazoo interface. If connected properly, this number is increasing at a speed depending of the selected frame rate. The frame rate itself is shown in the status bar further to the right.

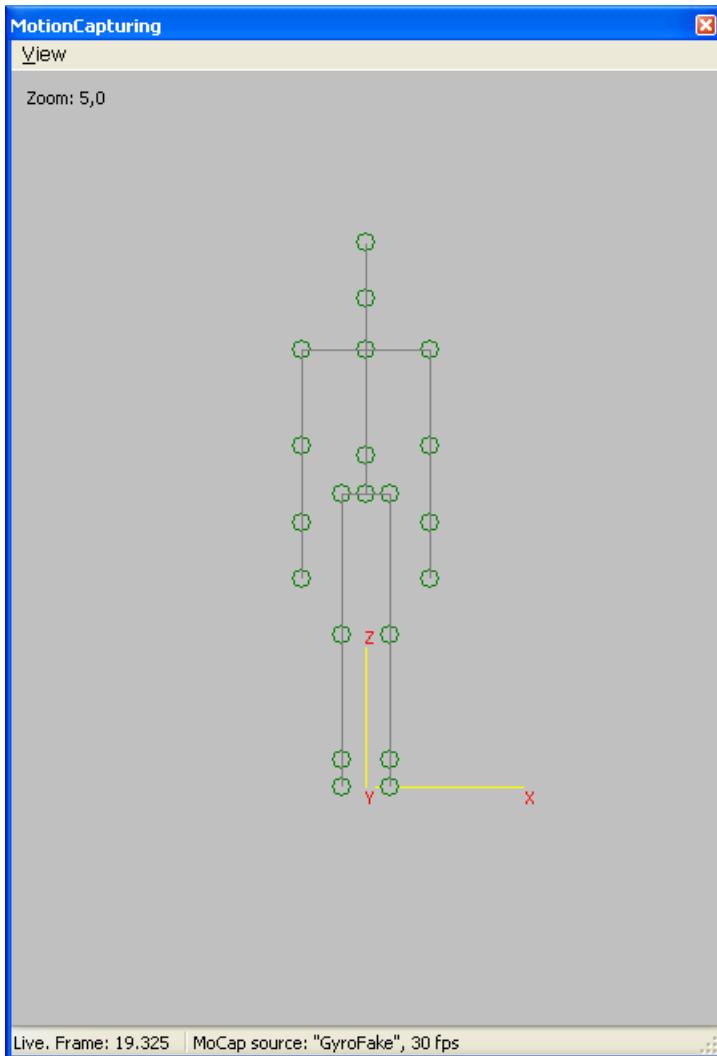


Figure 5: “MotionCapturing” window showing an avatar with the recorded movements. Currently, the person is standing in the “Null” position.

Optionally, load an actor file for the person about to be captured to get a more precise recording. Refer to the Animazoo documentation on how to create and use such a file. To load an actor file, use the “Load actor file...” command in the “MoCap” menu and select its filename in the dialog.

Step 5: Start recording

To calibrate the inertial sensors, it is recommended that the person wearing the suit takes the “Zero” position. Refer to the Animazoo documentation for the proper “Zero” position.

Once the person stands in the “Zero” position, use the “Zero position” command in the “MoCap” menu of the main window.

Alternatively, use the “Zero position facing north” command to calibrate the sensors with respect to the earth magnetic field. See the Animazoo documentation for details.

Just before the beginning of the scene to be captured, use the “Start” button in the “Recording” area to start the recording.

Step 6: Stop recording

After the scene has been captured, use the “Stop” button in the “Recording” area to end the recording.

Step 7: Wait

Wait until the program has performed its Saving, CleanUp and PostProcessing tasks.

During the processing, the program shows the progress of the work in the “Progress” area in the upper right part of the main window. The duration of the processing depends on the length of the recording and the CPU speed of the system used.

By default, the recorded files are stored in the user's “My files” folder in the directory “MoCap Recordings”. For the file name, the current system's date and time will be used.

Example: A recording finished at 03:56:39 pm, on 9th of February, 2008. Two files will be created (the video file and the file with MotionCapturing and synchronization data).

On a German Windows XP, the name of the file with the MotionCapturing data will be “C:\Dokumente und Einstellungen\tc\Eigene Dateien\MoCap Recordings\2008-02-09 15-36-38.mocap”, while the name of the video file will be “C:\Dokumente und Einstellungen\tc\Eigene Dateien\MoCap Recordings\2008-02-09 15-36-38.avi”.

Note: This behavior can be modified by passing the filename as a parameter to the program during its start. See section “Customizing the program” for details.

Step 8: End the program

Do this by closing the main window. Note that closing the window is possible in the states IdleStart, Connected, and IdleEnd only.

Program states and lifetime

During the eight steps, the program runs through different states. Depending on the current state of the program, only certain commands are available, e. g. it is not possible to stop a recording if the program is not in the “Recording” state. Hence, the “Stop” button in the recording area will be grayed out if it is not available in the current state of the program.

The current state is displayed in the “Status” area of the main window. Figure 6 illustrates the states of the program, their connections and the possible commands for each state. Table 1 shows the assignment from the names used in figure 6 to the texts used in MocapRecorder.

Table 1: Assignment of the states used in figure 6 to the displayed states in MocapRecorder

Name in figure	Displayed in the “Status” area of the main window
IdleStart	IdleStart: Ready to connect to suit
Connected	Connected: Connected to suit, ready to start recording
Recording	Recording: Waiting for "Stop recording"
Saving	Saving
CleanUp	CleanUp: Preparing for PostProcessing
PostProcessing	PostProcessing
IdleEnd	IdleEnd: Ready to quit

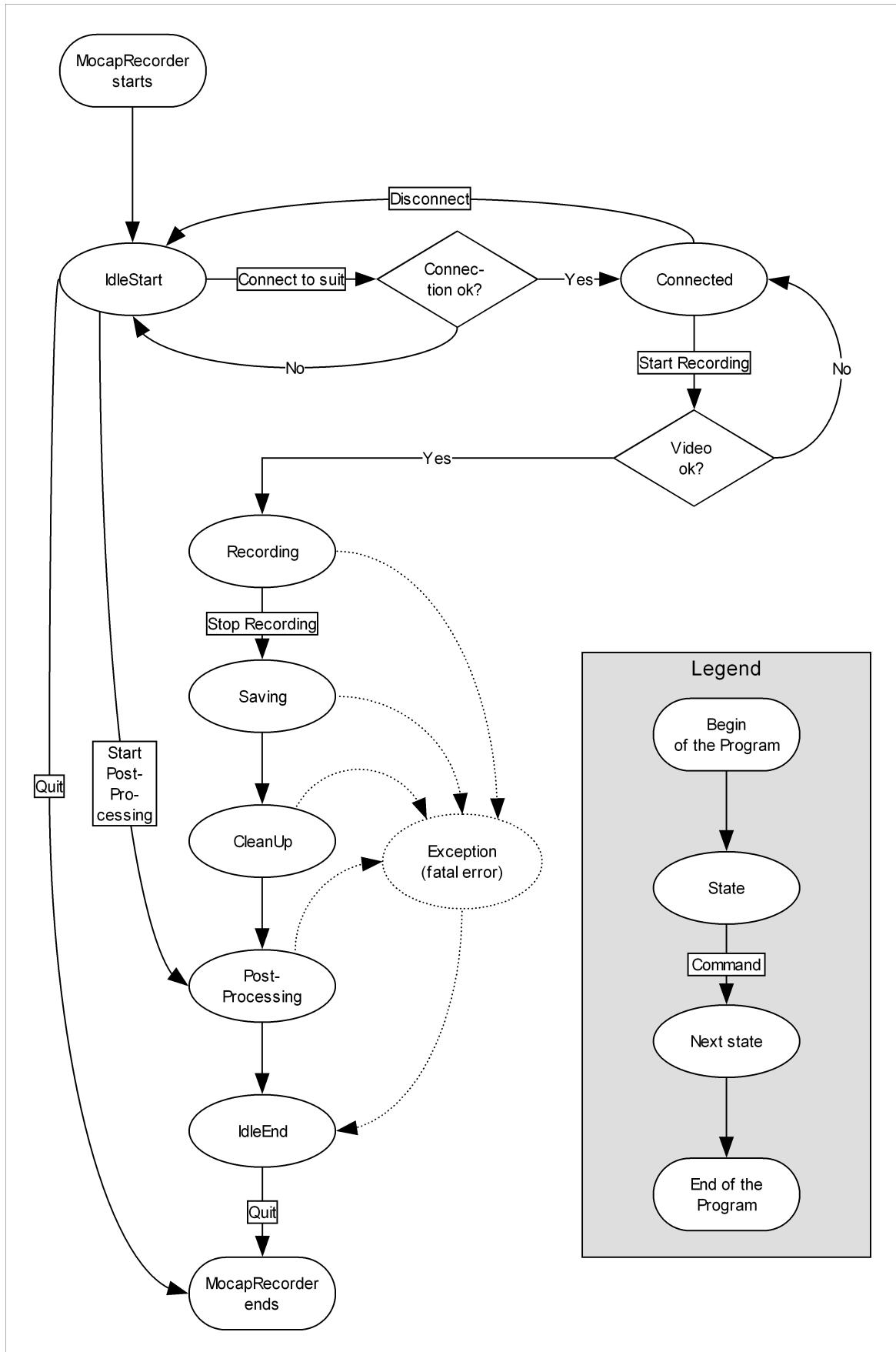


Figure 6: Overview about the states of MocapRecorder

Due to technical reasons, the program can perform just one recording during its lifetime. For

another recording, the program have to be terminated and started again.

Troubleshooting

Note: If you are wondering why a certain command does not work, make sure that it can be used in the current state of the program. E. g., to start a recording, the program has to be in the “Connected” state. Refer to figure 6 for details.

MotionCapturing

- “Connect to suit” command fails with a message “Could not find an Animazoo Gypsy Gyro 18 suit”: Make sure that the Animazoo software is properly installed and running. In particular, a program like “Go30fps.bat” must have been started before trying to connect to the suit.
- No avatar is displayed in the “MotionCapturing” window: Use the left and the right mouse button in combination with the “Shift” key to change the viewing position and zoom of the avatar. Alternatively, use the “Standard view” command in the “View” menu to reset these settings.

Video

During the start of the program, it tries to connect to a video source available via the Video for Windows (VfW) interface of Microsoft Windows XP. Normally, USB video cameras can be accessed by using this interface. This is also true for many cameras connected by the FireWire interface. However, when using a DV camera, a video codec supporting the format of the recorded file must be installed on the system.

If during the start of the program a video source could not be found (e. g. because the camera was not connected to the computer at startup), the connection to the camera can be established by using the “Enable preview” button of the video window. Note: The program must be in the state “IdleStart” or “Connected” to permit this.

Exception (fatal error) during PostProcessing

If the program fails after saving the temporary files, the missing PostProcessing steps can be executed manually: Use the “Start PostProcessing” command in the “Extras” menu to do this.

Customizing the program

Language

Currently, the user can select one of two languages at the runtime of the program: English and German. However, since both the text for English and German is stored in a separate text file, most of the text used by the program can be modified (some merely internal parts can not be modified).

Both text files are contained in the folder “Texte” (relative to the path to MocapRecorder.exe). The German text file is named “ProgrammTexteDE.txt”, while the English text file is named “ProgrammTexteEN.txt”.

To select a language, use the “English” or “German” command in the “Options” menu in the main window.

Passing the filename of the recorded files

By default, the recorded files are stored in the user's “My files” folder in the directory “MoCap Recordings”. For the file name, the current system's date and time will be used (see section “Using the program” (Step 7) for an example).

If provided with a parameter, MocapRecorder takes this as file name instead of creating its own file names.

Example:

If started by “MocapRecorder.exe c:\temp\test.mocap”, the program will create two files after a successful recording:

The video file, named “C:\Temp\test.avi” and the file with the motion data, named “C:\Temp\test.mocap”

Modifying Settings

Some settings can be changed by editing a configuration file. An example of such a configuration file is shown below.

```
[General]
LanguageId=EN
StorageDir=C:\Dokumente und Einstellungen\tc\Desktop
```

The language at startup of the program can be changed by assigning “LanguageId” a value. Use “EN” for English and “DE” for German.

By changing the value of “StorageDir”, the directory used for storing the created motion capturing and video files can be set. Note that a passed filename takes precedence over the setting set in “StorageDir”.

Anhang 2

Anleitung OwasEvaluator

Content

Introduction.....	144
Contact.....	144
Preparations.....	145
System requirements.....	145
User requirements.....	145
Installation.....	145
Using the program.....	146
Overview.....	146
Step 1: Start the program.....	146
Step 2: Open a file.....	146
Step 3: Playback of the recording.....	147
Step 4: Modify or add user defined data.....	148
Set begin and end of the task.....	148
Enter handled loads.....	150
Sitting.....	152
Description of the recording.....	153
Manual corrections.....	154
Step 5: Create an OWAS analysis.....	154
Create a static analysis.....	154
Save a static analysis.....	155
Create an interactive analysis.....	155
Distribution window.....	156
“MotionCapturing player” window.....	159
Step 6: Quit the program.....	160
Customizing OwasEvaluator.....	161
Language.....	161
Passing the filename of the file to be opened.....	161
Modifying Settings.....	161
References.....	162

Introduction

OwasEvaluator.exe (OwasEvaluator) is a program to create a semi automatic ergonomic analysis based on the OWAS method. The motion data for the semi automatic ergonomic analysis is gathered by MocapRecorder.exe (MocapRecorder).

In addition, OwasEvaluator allows the playback of the recorded motion data synchronously with the video data which is also recorded by MocapRecorder. While the video data will not be used for the analysis itself, it is used for creating a context when viewing the motion capturing data.

OwasEvaluator can be called by other programs, e. g. the CyberManS software interface. A parameter can be passed to determine the name of the file to opened at startup of OwasEvaluator.

Contact

Thomas Gudehus
Institut für Arbeitswissenschaft
Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40
34109 Kassel
Germany

E-Mail: tgudehus@ifa.uni-kassel.de

Fax: +49 561 804 4162

Phone: +49 561 804 4327

Jürgen Klippert
Institut für Arbeitswissenschaft
Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40
34109 Kassel
Germany

E-Mail: jkippert@ifa.uni-kassel.de

Fax: +49 561 804 4162

Phone: +49 561 804 4203

Preparations

System requirements

- 2 GByte of RAM
- Windows XP SP2
- 2.6 GHz CPU or better
- PDF reader
- HTML browser
- Internet Explorer 6.0 or later

The program has been designed for a screen resolution of 1280x1024 pixels or better. Running the program with a different resolution may work, but the layouts of the windows have to be changed manually.

User requirements

Besides knowledge about how to use Windows XP, including handling of files, this manual assumes that the user is familiar with the concept of motion capturing, the usage of the OWAS method and the interpretation of the results generated by the OWAS method.

Installation

The Software comes with two ZIP files and a PDF file: “OwasEvaluator.zip” contains the essential program files, “Sample.zip” contains data for testing purposes, while “Manual OwasEvaluator.pdf” is the file you currently read.

To install the software, extract the content of the ZIP file “OwasEvaluator.zip” in an empty directory.

The following files must be present to run OwasEvaluator:

```
ExacTrax.dll
OwasEvaluator.exe
OwasEvaluator.ini
DLLs\Cobra.dll
Texte\ProgrammTexteDE.txt
Texte\ProgrammTexteEN.txt
```

There is also a second ZIP file named “Sample.zip” containing data for testing purposes. This ZIP file consists out of three files: “Exp1.avi”, “Exp1.ini”, and “Exp1.mocap”. If you want to test the program with this sample, extract the content of the ZIP file into another directory. Please make sure that you have write access to the file “Exp1.ini”.

Using the program

Overview

In general, using the program takes eight steps:

1. Start the program.
2. Open a file recorded by MocapRecorder.
3. Playback of the recording
4. Modify or add any user defined data to the recorded motion capturing data, if necessary.
5. Generate the analysis.
6. End the program.

Each step is explained below.

Step 1: Start the program

This is quite easy: Just launch the file “OwasEvaluator.exe”.

After the program has started, it shows several windows:

- the main window (named “OwasEvaluator” followed by a hyphen and the name of file currently opened)
- a window called “OWAS codes”
- the window “User defined data”
- the “MotionCapturing-Player” and
- the “Video player”.

Step 2: Open a file

OwasEvaluator can handle two formats of motion capturing data:

1. The motion capturing data recorded by MocapRecorder. In this format the motion capturing data has been synchronized with the video data recorded at the same time, thus allowing a synchronously playback of both video and motion capturing data. The file with the motion capturing and synchronization data has the extension “.mocap”. For compatibility reasons, OwasEvaluator will also open files with the extension “.xml”, as this was the extension used by earlier prototypes of MocapRecorder.

Note: The entire information used by OwasEvaluator is divided in up to three files, all of which using the same filename but a different extension:

- (1) The motion capturing data together with the synchronization data is stored in the file with the extension “.mocap”.
- (2) The video data is stored in the file with the extension “.avi”.
- (3) Finally, additional data edited by the user of OwasEvaluator will be stored in a file with the extension “.ini”.

2. The motion capturing data recorded by the Animazoo Gypsy Gyro 18 system. Files with motion capturing data in this format contains just the motion capturing data, but no

additional information that can be used for synchronization. OwasEvaluator will be able to create a OWAS analysis out of this data. However, since there is no video file belonging to such a file, video playback will not be available when using such a file.

To open a file, use the either the “Open mocap file” command or the “Open mocap file with video” command in the “Evaluator” menu of the “OwasEvaluator” window:

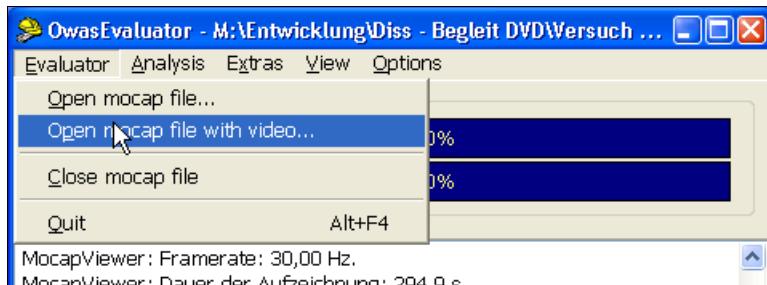


Figure 1: Evaluator menu

In the following dialog, select a file.

Both commands will open the file containing the motion capturing data. By using the “Open mocap file with video...” command, playback of motion capturing data and video is enabled.

Note that BVH files can be opened with the “Open mocap file...” command only. Use the open dialog to select the BVH files to list them in the dialog.

After the name if the file is selected, the program may need a few seconds for opening the file. The progress of the process is displayed in the “Progress” area.

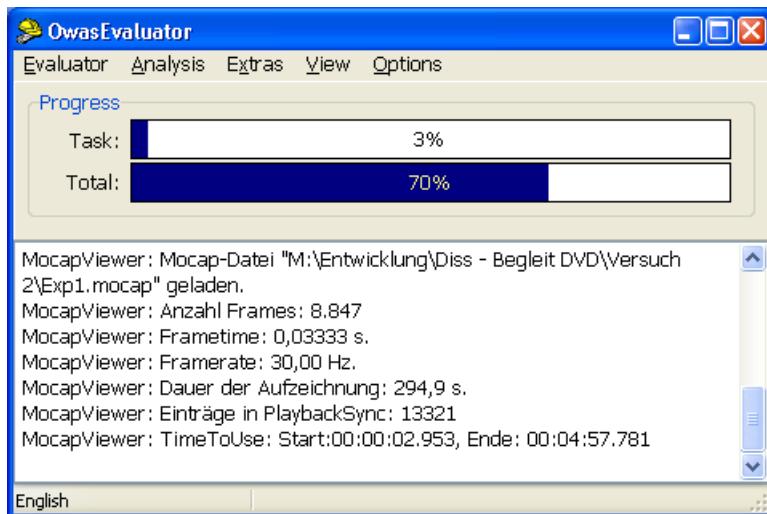


Figure 2: Progress indicator

In the area below the progress indicators, some debug information will be displayed. For creating an OWAS analysis, this area is not relevant.

Step 3: Playback of the recording

To start the playback, use the “Play” button: If you opened a file with video, use the “Play” button in the “Video player” window, else use the “Play” button of the “MotionCapturing player”. Note that only one of the two “Play” buttons is active at a time.

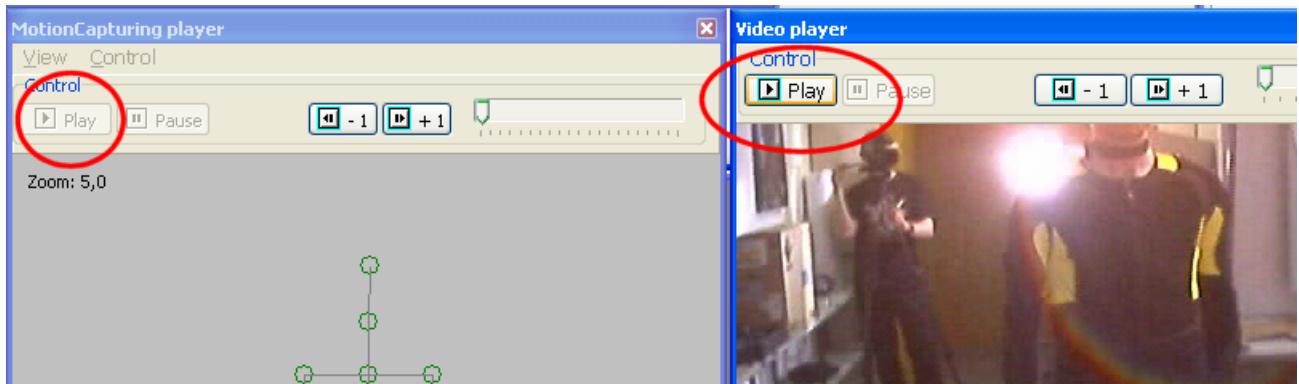


Figure 3: Location of the “Play” button at the “MotionCapturing player” and “Video player” windows.

Step 4: Modify or add user defined data

After opening the file, user defined data can be added.

To get correct results from the OWAS analysis, *it is mandatory to add the following information:*

- Begin and end of the task: Most likely, some time at the begin and the end of the recording belongs not to the task to be examined. This portions of the recording have to be excluded.
- Handled loads during the examined task. If the subject handles loads of more than 10 kg, time and weight has to be added.
- Sitting: If the subject can sit somewhere during the task, the program needs to know that. If the task has no parts with an options to sit down, you can skip this step.

In addition, there are two optional kinds of information that can be entered:

- Description of the recording: A short description of the task to be examined. The text entered will later be used in the OWAS analysis about to be created.
- Manual corrections: Normally, OwasEvaluator recognizes work postures without errors. However, if you disagree with the recognition of a posture of the subject by OwasEvaluator, you can override the automatic recognition.

All of the above mentioned items can be entered in the “User defined data” window. The steps are described in detail below. All screenshots refer to the sample file that comes with OwasEvaluator (in “Sample.zip”).

Although any added or modified data is saved automatically, you can apply the changes immediately by using the “Submit changes” command in the “Data” menu of the “User defined data” window. On the other hand, the “Discard changes” command in the “Data” menu restores the status of the user defined data since the last submission.

Set begin and end of the task

Most likely, some time at the begin and the end of the recording belongs not to the task to be examined. This portions of the recording have to be excluded, otherwise the OWAS analysis may create incorrect results. To exclude the unwanted parts, the program needs to know the begin and the end of the task. “Begin” and “end” are referring to a so called TimeStamp, which is displayed by OwasEvaluator in the window “User defined data” during the playback of the recording. One can think of the TimeStamp as a kind of a stop watch which has been started at “00:00:00.000” by MocapRecorder at the very beginning of the recording.

To set the begin:

1. Select the “Begin and End” section of the “User defined data” window.

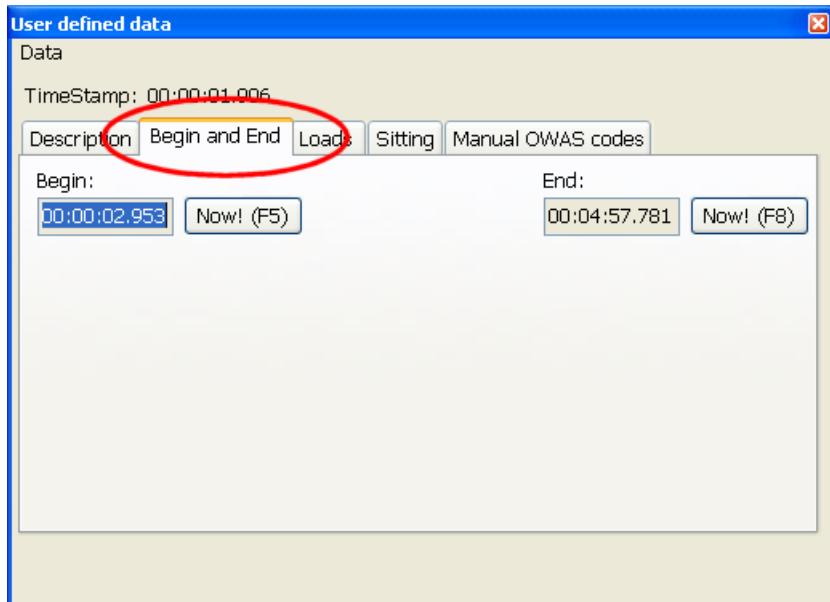


Figure 4: “Begin and End” section of the “User defined data” window.

2. Select the “Video player” window. Use the “Pause” button to pause the playback, if it is still active. Use the track bar, the “+ 1”, and the “- 1“ button (marked) to navigate to the beginning of the task, until it is shown in the video.

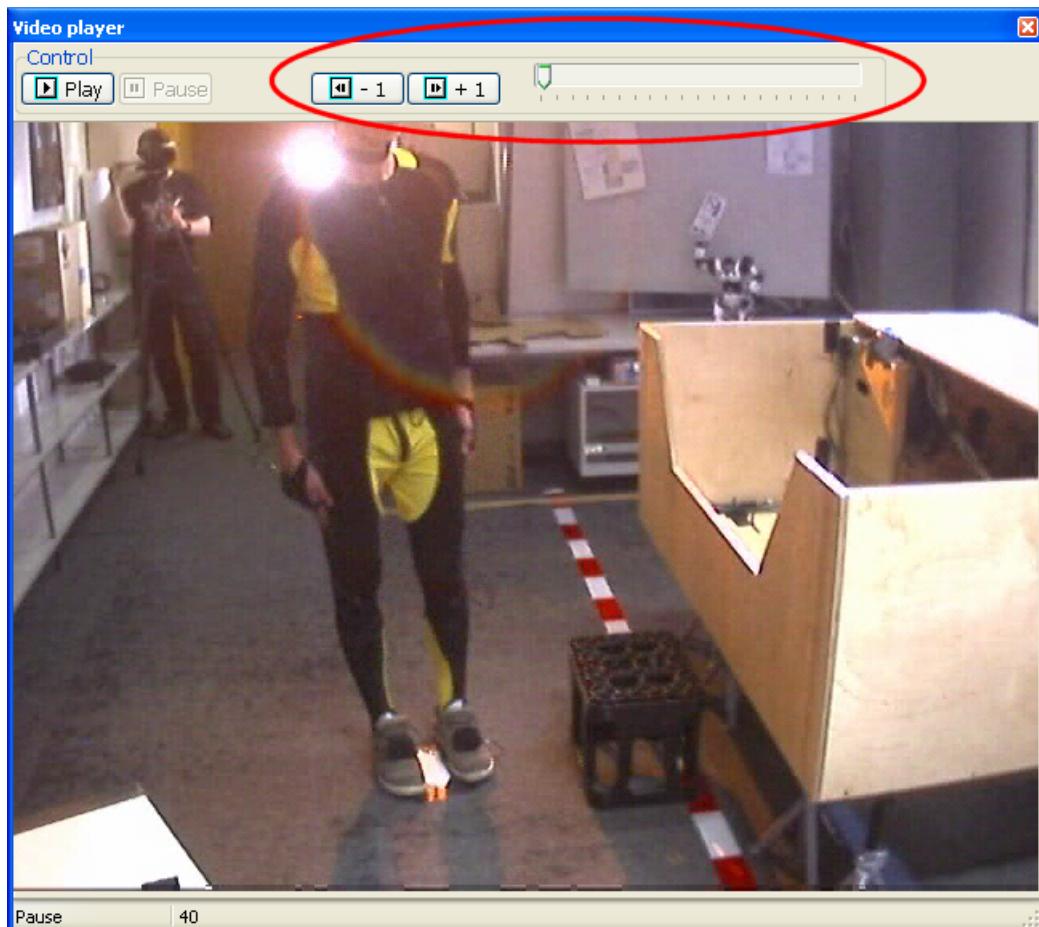


Figure 5: “+1”, “-1” button and track bar in the “Video player” window

3. Press “F5” or click on the “Now (F5)” button in the “User defined data” window.

The TimeStamp shown in the “User defined data” window is now used for the beginning of the task to be examined (marked in figure 6).

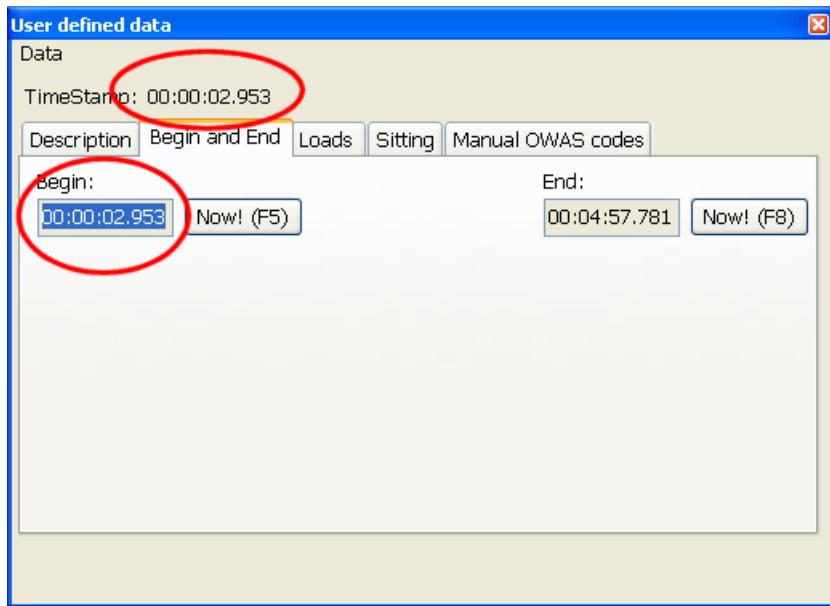


Figure 6: Current TimeStamp used for marking the beginning of the task

To set the end:

Use the same technique for marking the end of the task. Navigate to the end of the task and click on the “Now! (F8)” button in the “User defined data” window. Note that for marking the end, the “F8” instead of the “F5” key has to be used.

Enter handled loads

If the subject handles loads of more than 10 kg, time and weight has to be added. Note that this refers not only to objects handled but also to the application of forces that may arise out of pushing, pulling, etc.

The loads can be entered in the “Loads” section of the “User defined data” window. Unlike the settings for the beginning and the end of the task, the “Loads” section contains a list of items. If there are no such loads, the list of loads have to be empty.

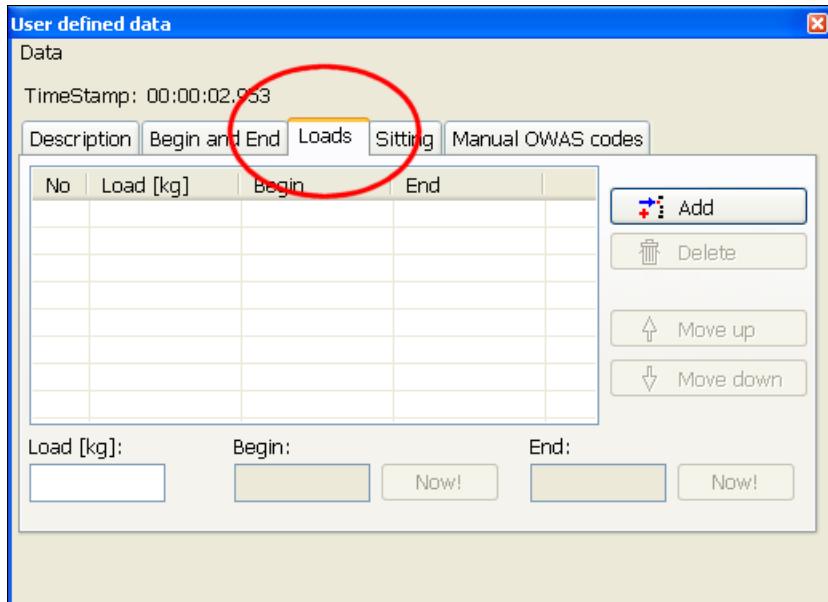


Figure 7: “Loads” section of the “User defined data” window

To add an item, click on the “Add” button. An empty item has been added to the list and “Load” edit is now enabled, allowing to enter the handled load in kg (marked in figure 8):

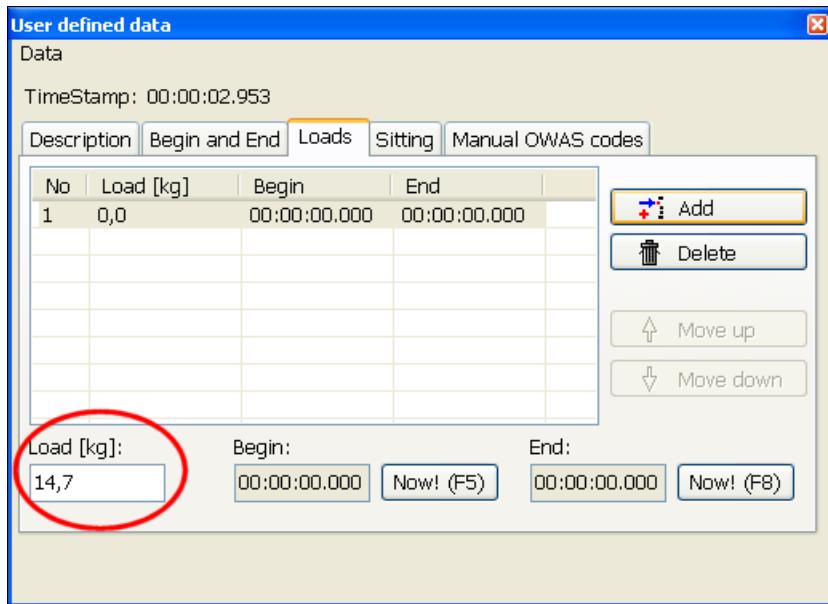


Figure 8: Just created new load item, value of 14.7 kg has been entered

Note that the actual decimal separator character (the “,” in figure 8) depends on your local Windows settings.

After entering the value of the load, use the technique described in “Set Begin and End of the Task” above to set the begin and the end the time where the load applies to the subject. After setting the begin and the end, the item should look like this:

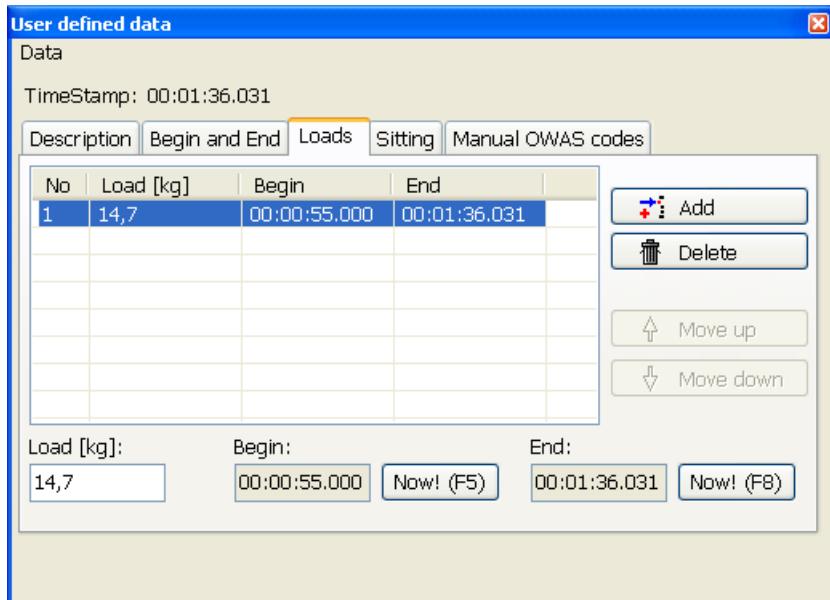


Figure 9: Complete item in the “Loads” section

If there are more items to be added, use the “Add” button again. An unwanted item can be deleted: Select it by a click on the list and click on the “Delete” button.

Note: The program does not check whether the time ranges of the items overlap or not. If you enter overlapping time ranges, the program always uses the first matching item in the list. To change the order of the items, select an item and use the “Move up” and “Move down” to move it up or down in the list.

Sitting

Due to theoretical limitations, OwasEvaluator is not able to distinguish whether a subject is sitting or squatting in a rather awkward posture. To resolve this problem, OwasEvaluator needs to know if there is a possibility to sit down or not. If there is one, OwasEvaluator assumes that a subject is sitting rather than squatting and vice versa.

To pass this information to OwasEvaluator, use the “Sitting” section of the “User defined data” window (marked in figure 10):

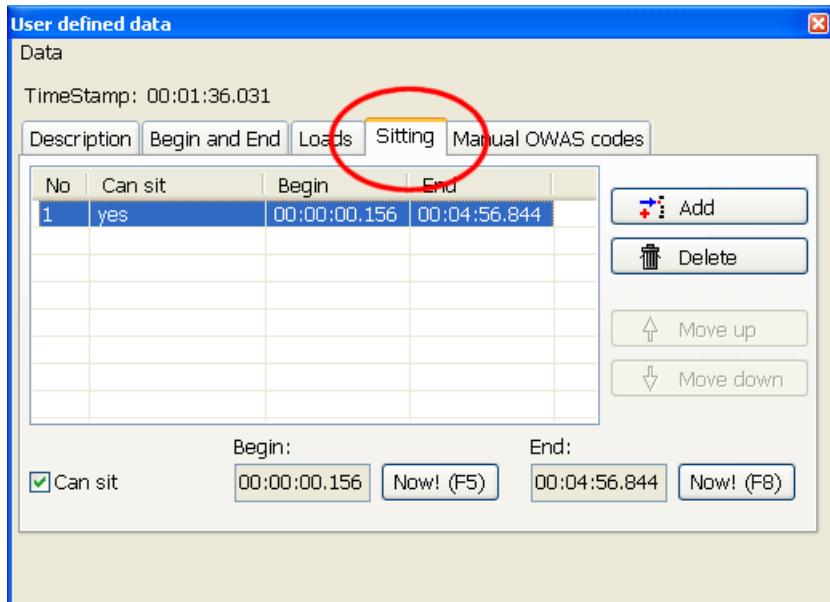


Figure 10: The “Sitting” section in the “User defined data” window

For adding an item, use the same technique as described for the “Loads” section above. Instead of entering the value for the load, check or uncheck the “Can sit” checkbox below the list.

Note: Normally it is safe to mark the entire time range, like shown in figure 10 when there is an option to sit down. However, multiple items can be added to model more complex situations.

Description of the recording

While the settings in the “Begin and End”, “Loads”, and “Sitting” sections are mandatory, entering a description of the recording is optional.

The text entered here will be used in the OWAS analysis about to created and has an illustrative character only.

To enter the text, select the “Description” section of the “User defined data” window and use the edit “Description” to type in the description.

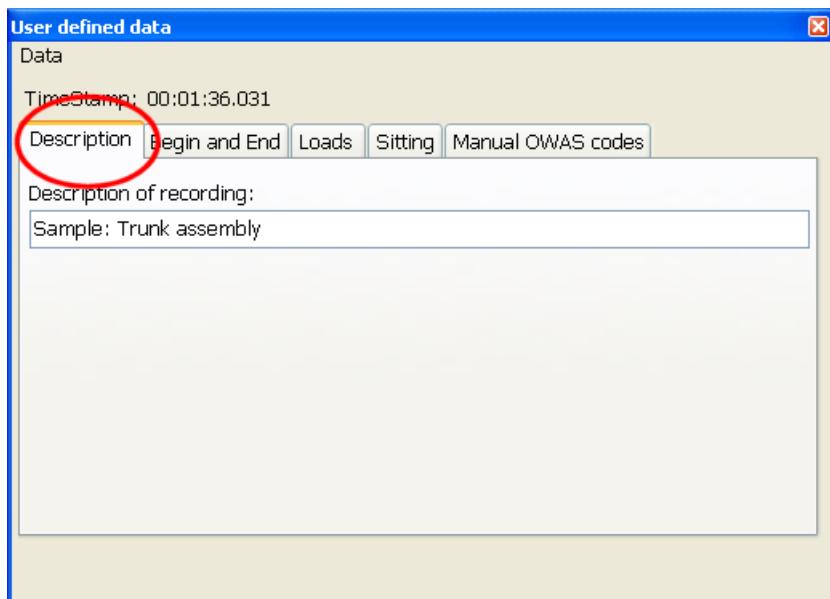


Figure 11: The “Description” section of the “User defined data” window

Manual corrections

Normally, OwasEvaluator recognizes work postures without errors. However, if you disagree with the recognition of a posture, you can override the automatic recognition by a OWAS code of your own choice.

Caution: You must know the OWAS codings in details in order to achieve correct results when using this option. Refer to [1] for more information about the OWAS method,

To enter an overriding OWAS code, select the “Manuel OWAS codes” section of the “User defined data” window (marked in figure 12).

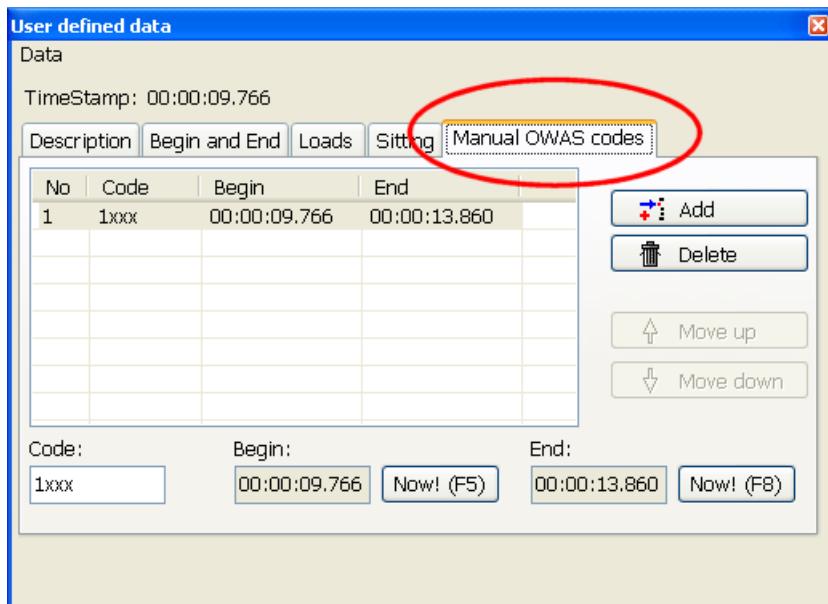


Figure 12: The “Manual OWAS codes” section of the “User defined data” window

For the procedure to add a corrective item to the list, refer to the “Enter handled loads” section above. In the edit “Code”, an four digit code is expected.

You do not have to enter a fully OWAS coding for the time range. By using an “x” instead of a number, the program still recognizes this posture marked by a “x” itself.

In the example shown in figure 12, a manual override for the back has been entered (the “1” entered as first digit), while the recognition for the arms, the legs, and the handled load is still done by OwasEvaluator (the following three “x”).

Step 5: Create an OWAS analysis

Once all settings have been made, OwasEvaluator is ready to create the OWAS analysis.

OwasEvaluator is able to generate a static and a interactive OWAS analysis.

While at a first glance the content shown in both analyses seems to be the same, the interactive analysis gives the user a better insight in the nature of the task analyzed by the OWAS method due to a additional distribution graph.

Create a static analysis

The static analysis contains a complete OWAS analysis for the recorded task. Refer to [1] for a description of an OWAS analysis.

The created OWAS analysis will be displayed not by OwasEvaluator itself, but by the standard

browser associated with the file extension “.html”.

Primary result of an OWAS analysis is the assignment of action categories to the examined task.

When using OwasEvaluator, the OWAS analysis has been extended by a calculation of a Lundqvist index for each working posture and for the posture combinations recognized in the recorded task. In addition, a Lundqvist index will be calculated for the overall task, combining the index from the work postures and the posture combinations.

Save a static analysis

OwasEvaluator uses HTML as output format for the OWAS analysis. Besides two HTML files, three bitmaps will be generated for an OWAS analysis.

If you want to save the OWAS analysis (e. g. for documentation purposes), you can do so by using the “Save OWAS analysis...” command in the “Analysis” menu. The following dialog prompts for a file name and a location. The file named in the dialog is contains the OWAS analysis itself. The other files will be named similar. Example: When saving an OWAS analysis as “c:\test\Analysis.html”, you will get the following files in the directory “c:\test”: “Analysis.html”, “Analysis-arms.bmp”, “Analysis-back.bmp”, “Analysis-legs.bmp”, and “Analysis-OWAS-codes.html”. After creating the files, “c:\test\Analysis.html” will be opened by the standard browser (the application with the association to the extension “.html”).

Create an interactive analysis

The interactive analysis enables the user to display the distribution of a working posture or a posture combination over the recorded time. It is called interactive because of the ability of the used distribution diagram to respond to user inputs.

To create an interactive analysis, use the “Interactive OWAS analysis...” command in the “Analysis” menu. After a small time used for preparing the analysis, a new window displaying the analysis opens. It looks very similar to the static analysis and it uses indeed the same text as in the static analysis. However, it has more links than the static analysis: All numbers showing percentages of time for a working posture or a posture combination are now linked. Figure 13 and figure 14 showing the difference.

Arms			
Posture	Time [s]	Percentage [%]	Action category
1: Both arms are below shoulder level	235,1	79,7	1
2: One arm is at or above shoulder level	37,4	12,7	1
3: Both arms are at or above shoulder level	22,4	7,6	1

Figure 13: Working postures for the arms, static analysis

Arms			
Posture	Time [s]	Percentage [%]	Action category
1: Both arms are below shoulder level	235,1	79,7	1
2: One arm is at or above shoulder level	37,4	12,7	1
3: Both arms are at or above shoulder level	22,4	7,6	1

Figure 14: Working postures for the arms, interactive analysis. Note the additional links in the “Time” and “Percentage” columns.

When clicking on the link “22,4” or “7,6” in the last row, a new distribution window opens showing where the work posture “both arms are at or above shoulder level” are located in the recorded task. (see figure 15)

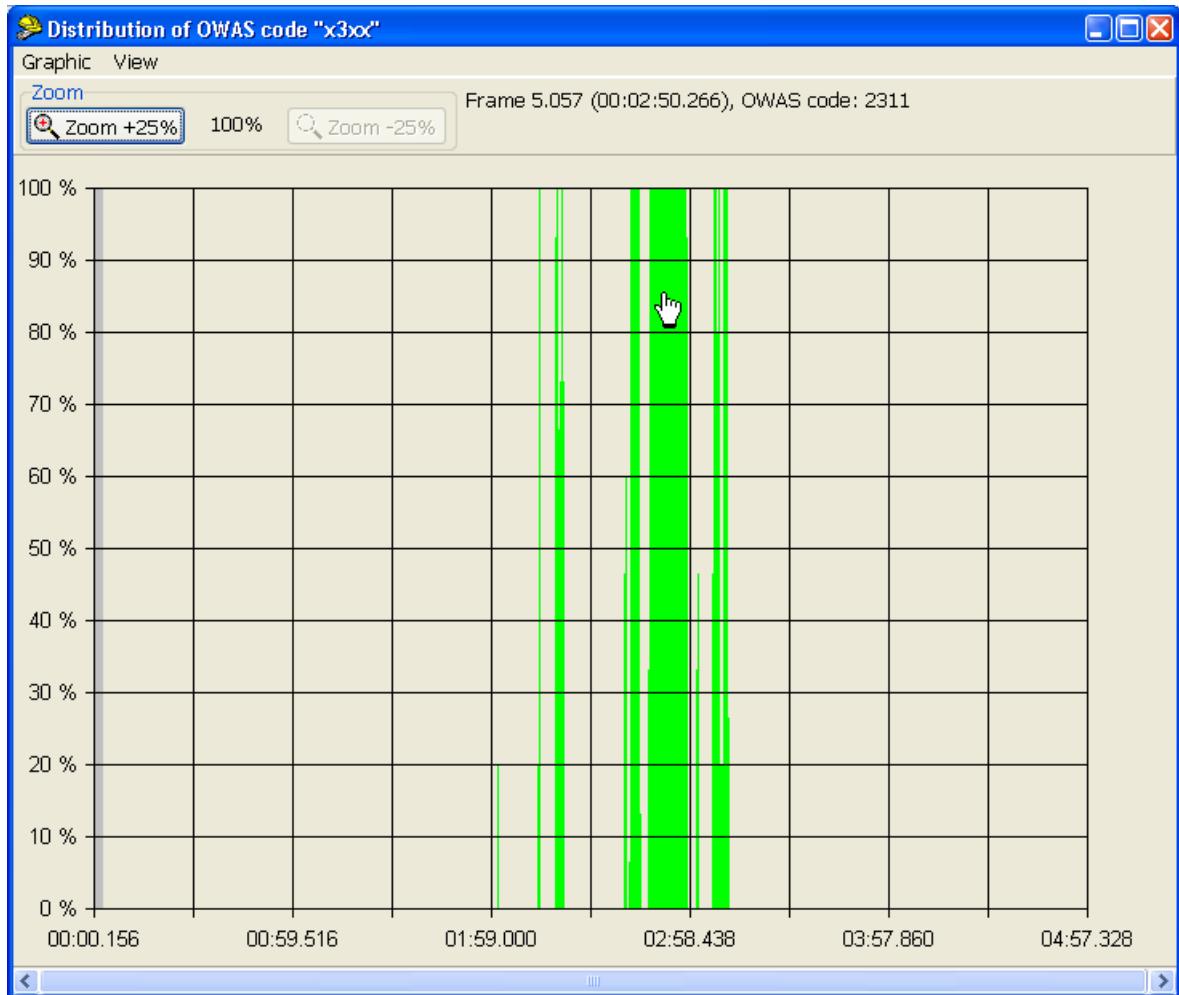


Figure 15: Distribution diagram for OWAS codes “x3xx” i. e. OWAS code “3” for the arm posture.

Notes: (1) Notice the hand shaped cursor pointing at the green area of the diagram. The frame and TimeStamp belonging to the part of the diagram under the cursor is shown above the graph, along with the complete OWAS code at that time.

(2): At the left border of the diagram, an area is painted in dark gray. This indicates that this part of the recording is before the beginning of the task as assigned by the user in the “User defined data” window.

Distribution window

The distribution window displays a diagram showing the distribution of a specific OWAS code (at the Y-axis) over the time of the recording (at the X-axis). When created, the entire recording is shown. This leads to a rather condensed view, i. e. one pixel of the diagram represents a number of frames of the recording. The height of a colored area indicates the amount of frames belonging to the OWAS code in question. The color used in that area indicates the assignment to an action category as explained at the end of the OWAS analysis (1: green, 2: yellow, 3: orange, 4: red). A darker flavor of the color will be used in times that are before the begin or after the end of the task as specified by the user in the “User defined data” window.

Example: In figure 15, there is a small green peak just right to the “01:59.000” mark of the X-axis with a height of 20 %. This means that just after the “01:59.000” TimeStamp some frames has been coded with a “3” for the posture of the arms. However, at first sight one can see that there are much

larger areas colored green at different places, especially around the “02:58.438” mark.

So, if the goal is to avoid a bad working posture, the distribution window shows the times where the posture can be found, allowing to concentrate on the focal point of that posture first, thereby gaining the greatest effect.

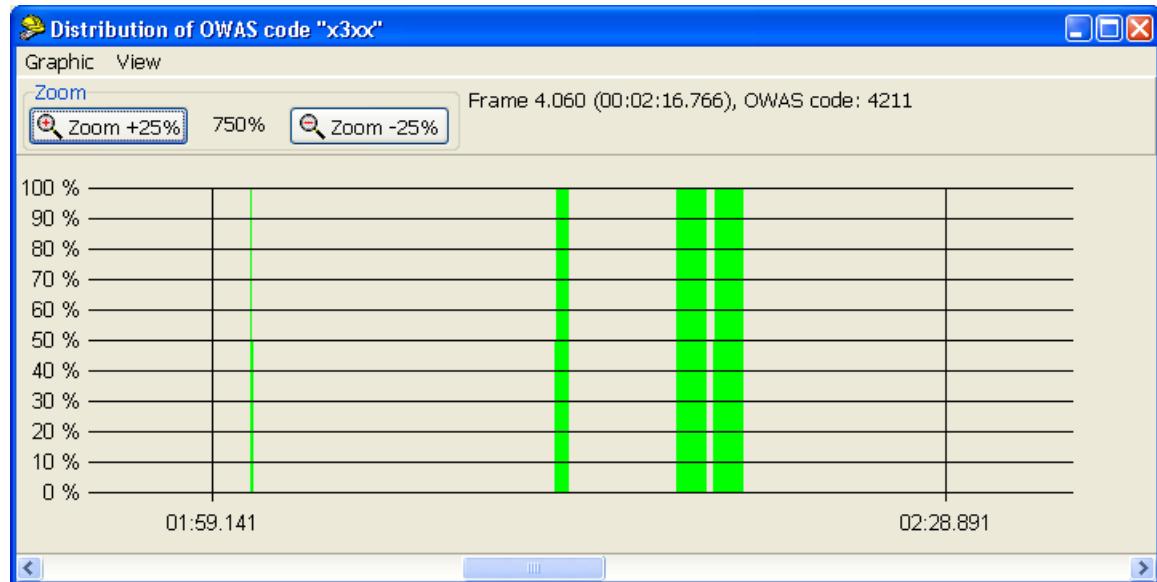


Figure 16: Distribution window with the same data as in figure 15, but with a zoom of 750 %. Note that the window also has been resized.

The distribution window has a number of features described below:

Choose a different OWAS code to be displayed: Use the “Set OWAS code pattern...” command in the “Graphic” menu to enter an OWAS code pattern in the following dialog. An OWAS code pattern can be a valid OWAS code. In addition, some of the digits can be substituted by the letter “x”. “x” is a wildcard, standing for “any number”. Example: “1xxx” displays all times where the worker had a straight back. This command especially allows to display OWAS codes that are not shown in the OWAS analysis itself, e. g. “23xx” will display all times where the worker has a bent back and both arms at or above the height of the shoulder while the posture of the legs and the handled load is not relevant for the selection.

Moving the diagram: For a zoom of more than 100 %, only a part of the diagram is shown. The displayed part can be modified, i. e. the diagram can be moved to left or right, thus showing earlier or later parts of the recording. To move the diagram, use the scroll bar below the diagram. As an alternative, click and hold the right mouse button on the diagram. Moving the mouse will now change the displayed part of the diagram, too.

Resize: The distribution window can be resized in some constraints. When resizing the window, the diagram will also resize accordingly. See figure 16 for an example.

Select a different color: Use the “Set color...” command in the “Graphic” menu to use a different color than currently used. This is especially useful if a different OWAS code has been chosen by the “Set OWAS code pattern” command.

Show TimeStamp and OWAS code: When the mouse cursor is moved over the diagram, the TimeStamp for the recording belonging to that part of the diagram is shown above the diagram. In addition, the OWAS code at that time is shown, too. See figure 15 for an example.

Show what has been recorded: Just click with left mouse button on the diagram. The “Video player” window will then seek to the part of the recording belonging to the position clicked on. The “MotionCapturing player” window will display the recorded motion data, too. This is a very

effective feature to see what the worker actually has been doing at that time.

Example: The posture combination “4311” belongs to the action category 4 (“Corrective measures to improve the work postures should be taken immediately”). To learn about its distribution, the link of the “time” row has been followed. In the newly created distribution window, the zoom command has been used repeatedly (figure 17) and the window has been resized.

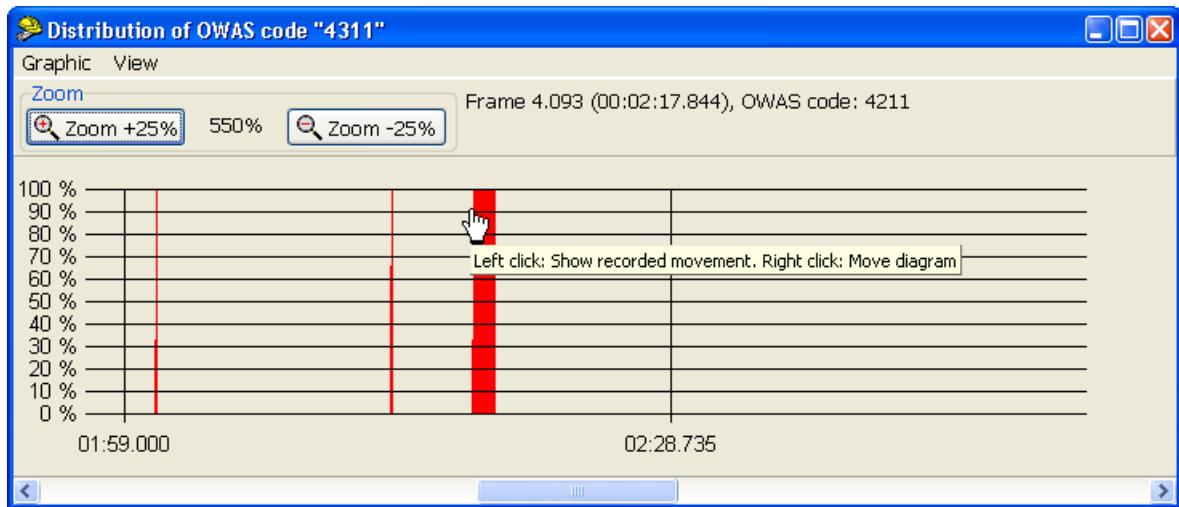


Figure 17: Distribution window showing the distribution of OWAS code “4311”

Now, a left click at the position indicated by the cursor in figure 17 lets the “Video player” window display the recording just before the posture combination “4311” begins (see figure 18).

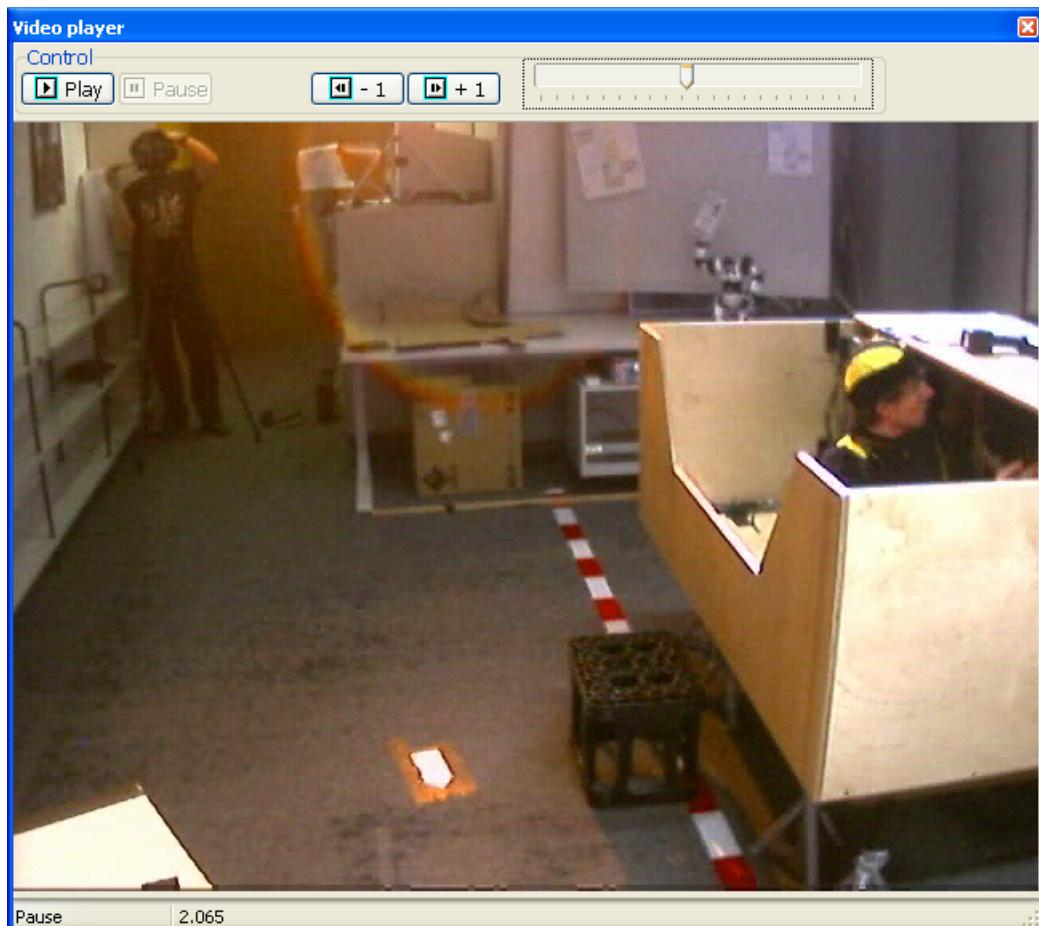


Figure 18: Corresponding video recording at the time just before OWAS code “4311” begins in the distribution window

Now you can use the “Play” button in the “Video player” window to see what the worker is doing. While playing, a small vertical line is moving at the top of the diagram in the distribution window, indicating the currently displayed scene in the “Video player” window.

Zoom in: Zooming into the diagram (by clicking the button “Zoom +25%”, or by using the mouse wheel) will display a particular part of the recording in greater detail. Figure 16 illustrates the effect.

Zoom out: Zooming out of the diagram (by clicking the button “Zoom -25%”, or by using the mouse wheel) gives a more complete overview of the recording. Zooming to a lower value than 100 % is not possible.

As figure 18 shows, there may be situations where the worker is obscured by other objects (in this case, by the mock up of the trunk). This is where the “MotionCapturing player” window gets very useful.

“MotionCapturing player” window

Figure 19 shows the “MotionCapturing player” window displaying the same scene as the “Video player” window in figure 18.

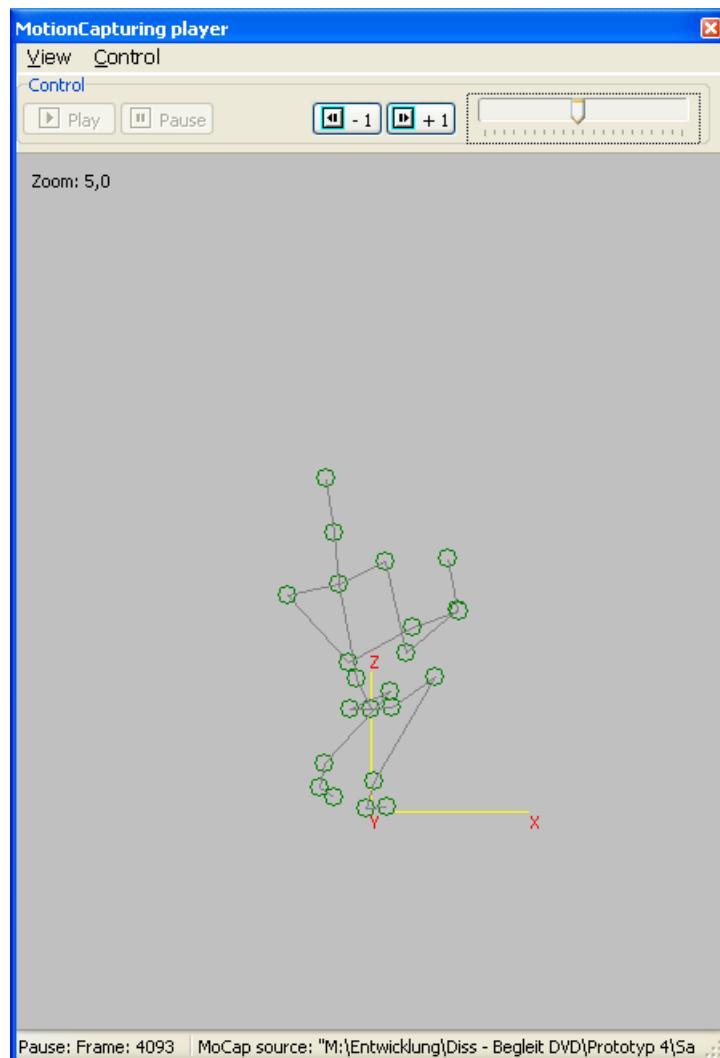


Figure 19: Corresponding motion recording at the time just before OWAS code “4311” begins in the distribution window

The “MotionCapturing player” window uses a simplified skeleton where the “joints” are symbolized by small green circles while the “bones” are displayed as gray lines. The features of this

window are described below:

Always see the avatar: Normally, the avatar would “leave” the window as the worker moves. To avoid this, check the “Ignore X and Y coordinates” item in the “View” menu. Note: Sometimes a working posture may be difficult to determine because it is hard to decide what parts of the body are moving or not. Check the “Ignore Hips rotation” item to fix the avatar in a certain position may help in such a situation.

Navigate: Use the track bar and/or the “+ 1” and the “- 1“ button to navigate to a scene of interest. If a video recording is available, the “Video player” window will seek accordingly.

Play and Pause: These buttons are enabled only if there is no video available.

Reset view: There are a number of commands to reset to view of the avatar to preset views: Use the “Front”, “Left”, “Right”, “Above” and “Below” commands in the “View” menu to do so.

Rotate: To look at the avatar at a different angle: Click and hold the left mouse button on the dark gray area. Now move the mouse left or right for rotating around the Z-axis. Move the mouse up and down for rotating around the X-axis. Use the right mouse button and move the mouse to left or right to rotate around the Y-axis.

Turn: The avatar can be turned: Click and hold the right mouse button on the dark gray area. Move left to turn counter clockwise and right to turn clockwise.

Zoom in and out: The zoom factor can be changed: Click and hold the right mouse button on the dark gray area while pressing the “Shift” key. Now move the mouse up (zoom in) or down (zoom out)

Step 6: Quit the program

You can quit the program any time the progress indicator shows “100%” by closing the main window. Any entered or modified data will be saved automatically.

Customizing OwasEvaluator

Language

Currently, the user can select one of two languages at the runtime of the program: English and German. However, since both the text for English and German is stored in a separate text file, most of the text used by the program can be modified (some merely internal parts can not be modified).

Both text files are contained in the folder “Texte” (relative to the path to OwasEvaluator.exe). The German text file is named “ProgrammTexteDE.txt”, while the English text file is named “ProgrammTexteEN.txt”.

To select a language, use the “English” or “German” command in the “Options” menu in the main window.

In the “Extras” menu of OwasEvaluator, you find two commands for dealing with a language file: “Check language file” and “Recreate language file”.

“Check language file” adds a list of missing or unchanged items of the language file currently in use to the memo field of the main window. The comparison is based on the default language (German).

“Recreate language file” creates a new language file for the language currently in use. Caution: This will overwrite the existing language file.

Passing the filename of the file to be opened

By default, OwasEvaluator do not open any file during startup. If provided with a parameter, OwasEvaluator takes this as file name and tries to open the file immediately after starting the program.

Modifying Settings

Some settings can be changed by editing a configuration file. An example of such a configuration file is shown below.

```
[General]
LanguageId=EN
```

The language at startup of the program can be changed by assigning “LanguageId” a value. Use “EN” for English and “DE” for German.

References

- [1]: Veikko Louhevaara, Timo Suurnäkki: „OWAS: a method for the evaluation of postural load during work“. Institute of Occupational Health, Centre for Occupational Safety. Helsinki, Finland, 1992.
- [2]: Lundqvist, P., 1988. Working Environment in Farm Buildings. Results of studies in livestock buildings and greenhouses. Doctoral thesis, Department of Farm Building, Swedish University of Agricultural Sciences, Lund, Sweden.

Anhang 3

Anleitung für den Versuchsleiter für den Versuch 2

Unterlagen für den Versuchsleiter

Dieses Dokument enthält die Unterlagen, die der Versuchsleiter für die Durchführung des Versuchs „Kofferraummontage“ (geplanter Termin: 17. Januar 2008) benötigt.

Die Einweisung in den Versuch selbst wird durch Thomas Gudehus mündlich vorgenommen.

Inhaltsverzeichnis

Tätigkeitsbeschreibung.....	166
Benötigte Teile.....	168
Vorbereitung des Versuchs.....	169

Tätigkeitsbeschreibung

Tabelle 1: Beschreibung der Tätigkeit, die im Versuch von der Testperson durchzuführen ist

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Plan-Zeit
1	Vorbereitung Montage	<ul style="list-style-type: none"> ● Sichten des Laufzettels ● Steuergeräteträger holen und rechts hinter Heck abstellen ● Schraubenträger mit Schrauben und Kabelbindern füllen und auf Hutablage mittig ablegen ● Schaumstoffisolierung holen und auf Hutablage rechts ablegen ● Verkleidung Hutablage holen und auf Hutablage links ablegen ● Akkuschrauber holen und auf Hutablage, neben den Schraubenträger ablegen 	65 s
2	Steuergeräteträger einfügen	<ul style="list-style-type: none"> ● Steuergeräteträger aufnehmen und in Kofferraum rechts ablegen ● In Kofferraum einsteigen, sitzen auf Rand ● Steuergeräteträger positionieren ● Kabelbaum oberhalb Steuergeräteträger mit drei Kabelbindern (aus Schraubenträger) befestigen 	50 s
3	Steuergeräteträger fixieren	<ul style="list-style-type: none"> ● Umsetzen auf Schemel ● Akkuschrauber aufnehmen ● Akkuschrauber positionieren und 2 bereits vormontierte Muttern fixieren ● Akkuschrauber ablegen (Mitte Hutablage) 	15 s
4	Schaumstoffisolierung montieren	<ul style="list-style-type: none"> ● Schaumstoffisolierung aufnehmen ● Schaumstoffisolierung oberhalb des Steuergeräteträgers einfügen und ausrichten 	10 s
5	Befestigung Isolierung und Steuergeräteträger	<ul style="list-style-type: none"> ● Schraubenträger aufnehmen ● 6 Muttern M5 montieren ● Schraubenträger ablegen 	40 s
6	Verkleidung Hutablage montieren	<ul style="list-style-type: none"> ● Verkleidung aufnehmen ● Positionieren, mit drei Clips einrasten 	10 s
7	Vorbereitung Montage Seitenverkleidungen	<ul style="list-style-type: none"> ● Aussteigen ● Akkuschrauber und Schraubenträger zurück zu Regal 1 bringen ● Verkleidungen (Teile Nr. 5, 6) auf Hutablage bereitstellen 	30 s
8	Seitenverkleidung montieren	<ul style="list-style-type: none"> ● Einstiegen ● Aufsitzen auf Rand ● Rechte Innenverkleidung aufnehmen ● Positionieren rechts, Teil dabei knicken ● Sechs Clips einrasten ● Linke Innenverkleidung aufnehmen ● Positionieren links, Teil dabei knicken ● Sechs Clips einrasten 	40 s

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Plan-Zeit
9	Reserveradabdeckung montieren	<ul style="list-style-type: none"> ● Aus Kofferraum aussteigen ● Reserveradabdeckung aufnehmen ● Reserveradabdeckung einlegen ● Vier Clips einrasten 	30 s
10	Laufzettel ausfüllen	<ul style="list-style-type: none"> ● Zum Laufzettel gehen ● Namenszeichen eintragen ● Zur Ausgangsposition zurück gehen 	10 s
	Kofferraummontage gesamt		300 Sekunden (5 Minuten)

Benötigte Teile

Tabelle 2: Während des Versuchs von der Testperson benötigte Teile

Nr.	Beschreibung
1	6 Schrauben M5
2	Schraubenträger (Plastikschale)
3	Schaumstoffisolierung
4	Steuergeräteträger
5	Innenverkleidung links, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung
6	Innenverkleidung rechts, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung
7	Verkleidung Hutablage, mit zwei vormontierten Clips zur Befestigung
8	Reserveradabdeckung, mit vier vormontierten Clips zur Befestigung
9	Akkuschrauber, mit Nuss für Mutter M5
10	3 Kabelbinder
11	Vorrat an Schrauben zur Entnahme der Schrauben für den Schraubenträger
12	Holzmockup mit der Nachbildung eines Kofferraums, mit Einsätzen zur Nachbildung von Radkästen und vorbereiteten Kabelbäumen, die während der Montage mit dem Steuergeräteträger verbunden werden.
13	Vorrat Kabelbinder
14	Laufzettel für Fahrzeugmontage

Vorbereitung des Versuchs

Alle Teile werden an ihre Startposition gelegt. Tabelle 3 zeigt die Position für jedes Teil zu Beginn des Versuchs.

Der Holzmockup wird so vorbereitet, dass die in einer eventuell vorher erstellten Aufzeichnung montierten Teile wieder entfernt sind.

Tabelle 3: Anordnung der im Versuch verwendeten Teile zu Beginn des Versuchs

Nr.	Bezeichnung	Startposition
1	6 Schrauben M5	Werden von der Testperson dem Schraubenvorrat (Nr. 11) entnommen
2	Schraubenträger (Plastikschale)	Regal 1, Mitte rechts.
3	Schaumstoffisolierung	Regal 2, links
4	Steuergeräteträger	Regal 2 (rechts, heckwärtige Seite zeigt zur Testperson)
5	Innenverkleidung links, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 6, links. Innenseite zeigt nach oben, nach unten zu montierendes Ende zeigt zur Testperson
6	Innenverkleidung rechts, mit sechs vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 6, rechts. Innenseite zeigt nach oben, nach unten zu montierendes Ende zeigt zur Testperson
7	Verkleidung Hutablage, mit zwei vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 5, rechts. Testperson sieht auf die Unterseite
8	Reserveradabdeckung, mit vier vormontierten Clips zur Befestigung	Regal 5, links. Zum Heck weisende Seite zeigt zur Testperson, obere Seite zeigt nach oben
9	Akkuschrauber, mit Nuss für Mutter M5	Regal 1, ganz links
10	3 Kabelbinder	Werden von der Testperson aus Kabelbindervorrat (Nr. 13) entnommen
11	Vorrat an Schrauben zur Entnahme der Schrauben für den Schraubenträger	Regal 1, ganz rechts
12	Holzmockup mit der Nachbildung eines Kofferraums, mit Einsätzen zur Nachbildung von Radkästen und vorbereiteten Kabelbäumen, die während der Montage mit dem Steuergeräteträger verbunden werden.	In der Mitte der Regale
13	Vorrat Kabelbinder	Regal 1, Mitte links
14	Laufzettel für Fahrzeugmontage	Auf dem Holzmockup, linke Seite

Anhang 4

Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 1

OWAS-Analyse

Die OWAS-Analyse wurde erstellt am 31.03.2008, 12:41:22.

Beschreibung der Aufnahme

Versuch 2, Aufzeichnung 1: Kofferraummontage, Framerate 30 Hz.

Datei-Informationen

Dateiname: "M:\Entwicklung\DISS - Begleit DVD\Versuch 2\Exp1.mocap"

Letzte Änderung der Mocap-Datei: 17.01.2008, 15:37:18.

Letzte Änderung der Datei mit den vom Benutzer erfassten Daten: 18.03.2008, 18:03:28.

Beginn und Ende der Tätigkeit

Vom Benutzer angegebener zu berücksichtigender Zeitraum

Beginn: 00:00:02.953

Ende: 00:04:57.814

Dauer: 294,9 Sekunden

Überblick über die Belastungsindices

Belastungsindex für einzelnen Körperhaltungen: **L = 121,5**

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: **L = 175,9**

Gesamt-Belastungsindex: L = 148,7

Einzelne Körperhaltungen

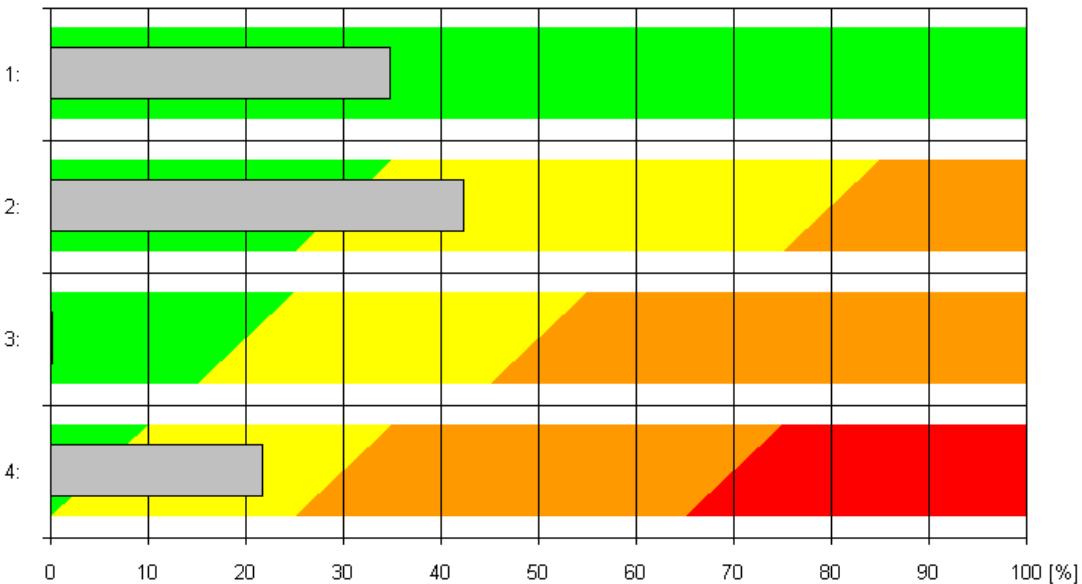
Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen: $L = 121,5$

Rücken

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Gerade	103,2	35,0	1
2: Gebeugt (nach vorne oder hinten)	125,6	42,6	2
3: Gedreht oder zur Seite gebeugt (nach links oder rechts)	1,2	0,4	1
4: (Gebeugt und Gedreht) oder (nach vorn und zur Seite gebeugt)	64,9	22,0	2

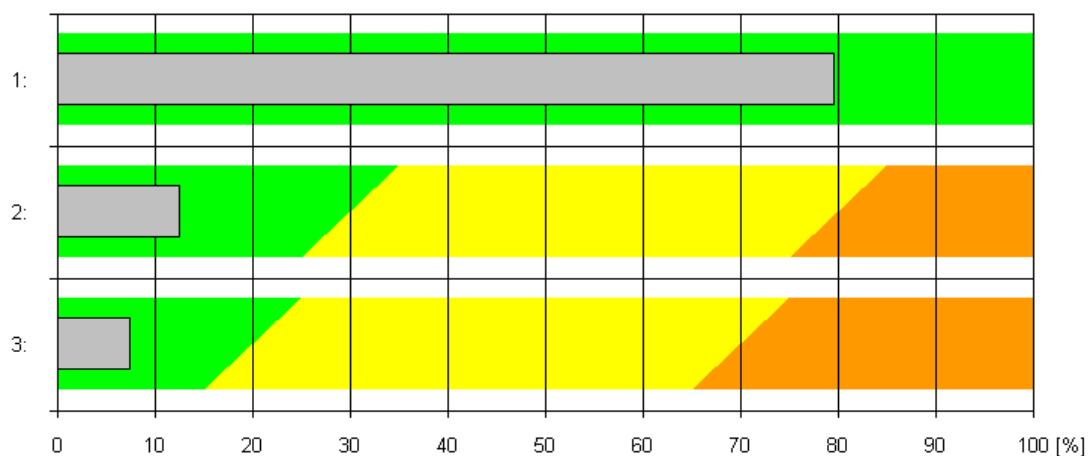


Belastungsindex

Belastungsindex für die Rückenhaltung: $L = 164,6$

Arme

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Beide Arme unterhalb Schulterhöhe	235,1	79,7	1
2: Ein Arm mindestens auf Schulterhöhe	37,4	12,7	1
3: Beide Arme mindestens auf Schulterhöhe	22,4	7,6	1

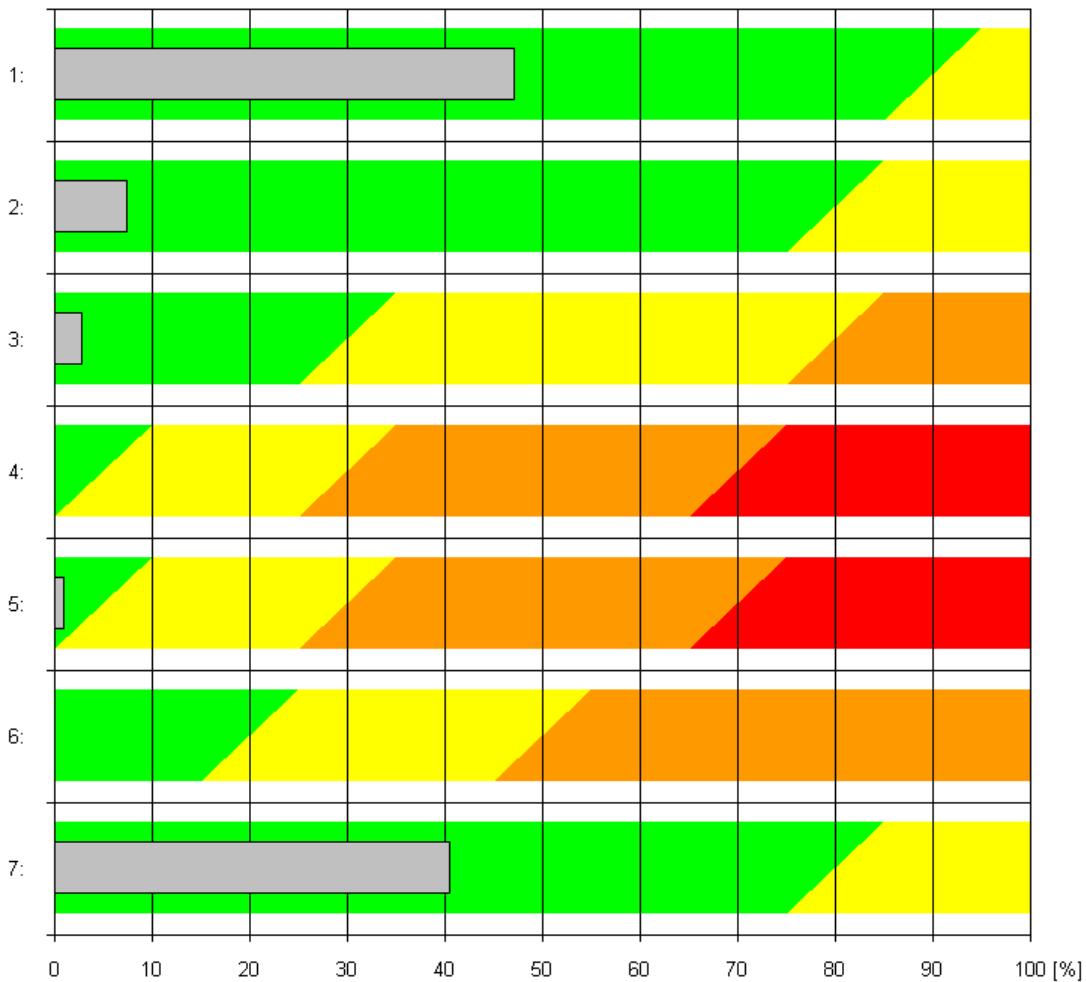


Belastungsindex

Belastungsindex für die Armhaltung: L = 100,0

Beine

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Sitzen	139,6	47,3	1
2: Stehen, beide Beine gerade	22,4	7,6	1
3: Stehen auf einem Bein	9,1	3,1	1
4: Stehen oder kauern, beide Knie gebeugt	0,2	0,1	1
5: Stehen oder kauern, ein Knie gebeugt	3,6	1,2	1
6: Knien auf einem oder beiden Knien	0,0	0,0	1
7: Gehen oder bewegen	120,1	40,7	1



Belastungsindex

Belastungsindex für die Beinhaltung: L = 100,0

Haltungskombinationen

Zeitliche Anteile der Haltungskombinationen, nach Codes

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
<u>1121</u>	7,1	20,9	621	<u>1</u>
<u>1131</u>	0,7	2,2	64	<u>1</u>
<u>1151</u>	0,0	0,1	3	<u>2</u>
<u>1171</u>	27,1	80,0	2.381	<u>1</u>
<u>2111</u>	9,6	28,2	836	<u>2</u>
<u>2121</u>	0,5	1,5	43	<u>2</u>
<u>2131</u>	2,3	6,9	205	<u>2</u>
<u>2141</u>	0,0	0,1	3	<u>3</u>
<u>2151</u>	1,2	3,5	102	<u>3</u>
<u>2171</u>	11,1	32,8	973	<u>2</u>
<u>2211</u>	11,1	32,9	976	<u>2</u>
<u>2311</u>	6,7	19,8	588	<u>3</u>
<u>3131</u>	0,0	0,0	1	<u>1</u>
<u>3171</u>	0,4	1,2	35	<u>1</u>
<u>4111</u>	17,5	51,6	1.533	<u>2</u>
<u>4141</u>	0,0	0,1	3	<u>4</u>
<u>4171</u>	2,1	6,1	182	<u>2</u>
<u>4211</u>	1,5	4,5	137	<u>3</u>
<u>4311</u>	0,9	2,6	76	<u>4</u>

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
<u>1171</u>	27,1	80,0	2.381	<u>1</u>
<u>4111</u>	17,5	51,6	1.533	<u>2</u>
<u>2211</u>	11,1	32,9	976	<u>2</u>
<u>2171</u>	11,1	32,8	973	<u>2</u>
<u>2111</u>	9,6	28,2	836	<u>2</u>
<u>1121</u>	7,1	20,9	621	<u>1</u>
<u>2311</u>	6,7	19,8	588	<u>3</u>
<u>2131</u>	2,3	6,9	205	<u>2</u>
<u>4171</u>	2,1	6,1	182	<u>2</u>
<u>4211</u>	1,5	4,5	137	<u>3</u>
<u>2151</u>	1,2	3,5	102	<u>3</u>
<u>4311</u>	0,9	2,6	76	<u>4</u>
<u>1131</u>	0,7	2,2	64	<u>1</u>
<u>2121</u>	0,5	1,5	43	<u>2</u>
<u>3171</u>	0,4	1,2	35	<u>1</u>
<u>2141</u>	0,0	0,1	3	<u>3</u>
<u>1151</u>	0,0	0,1	3	<u>2</u>
<u>4141</u>	0,0	0,1	3	<u>4</u>
<u>3131</u>	0,0	0,0	1	<u>1</u>

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil, getrennt nach Aktionskategorien

Aktionskategorie 1

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
<u>1171</u>	27,1	80,0	2.381	<u>1</u>
<u>1121</u>	7,1	20,9	621	<u>1</u>
<u>1131</u>	0,7	2,2	64	<u>1</u>
<u>3171</u>	0,4	1,2	35	<u>1</u>
<u>3131</u>	0,0	0,0	1	<u>1</u>

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 1: 35,4 %

Aktionskategorie 2

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
4111	17,5	51,6	1.533	2
2211	11,1	32,9	976	2
2171	11,1	32,8	973	2
2111	9,6	28,2	836	2
2131	2,3	6,9	205	2
4171	2,1	6,1	182	2
2121	0,5	1,5	43	2
1151	0,0	0,1	3	2

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 2: 54,2 %

Aktionskategorie 3

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
2311	6,7	19,8	588	3
4211	1,5	4,5	137	3
2151	1,2	3,5	102	3
2141	0,0	0,1	3	3

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 3: 9,5 %

Aktionskategorie 4

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
4311	0,9	2,6	76	4
4141	0,0	0,1	3	4

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 4: 0,9 %

Belastungsindex für die Haltungskombinationen

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: L = 175,9

Weitere Informationen

Programm

Diese OWAS-Analyse wurde erstellt auf Basis von Bewegungsdaten, die durch MotionCapturing mit dem Animazoo GypsyGyro18-System gewonnen wurden.

Die Analyse wurde vom Programm "OwasEvaluator.exe", Version 2008.3.4.19 vom 31.03.2008, 12:40:44 erstellt.

Das Programm entstand im Rahmen des Projektes "CyberManS" an der Universität Kassel am Institut für Arbeitswissenschaft. Autor: Thomas Gudehus.

Dauer der Aufnahme

Mocap-Frames: 8.847

Zeitpunkt des ersten Frames: 00:00:00.156

Zeitpunkt des letzten Frames: 00:04:57.781

Dauer der Aufnahme: 297,7 Sekunden

Erläuterungen zu OWAS, Aktionskategorien und Belastungsindex

Gewichtsklassen

OWAS verwendet drei Klassen für Lasten:

Klasse	Beschreibung
1	Weniger als 10 kg
2	Zwischen 10 und 20 kg
3	Mehr als 20 kg

Die Gewichtsklasse ist das vierte Zeichen eines OWAS-Codes.

OWAS-Aktionskategorien

OWAS verwendet vier Aktionskategorien:

Aktions-kategorie	Bedeutung lang	Bedeutung kurz	Farbe
1	Die einzelnen Körperhaltungen und die Haltungskombinationen der verschiedenen Körperteile sind normal und natürlich. Die Belastung des Muskel-Skelett-Systems ist normal und im akzeptablen Rahmen. Die Körperhaltungen müssen nicht geändert werden.	Keine Änderungen nötig	grün
2	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen können einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System haben. Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden.	Änderungen in naher Zukunft nötig	gelb
3	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten so schnell wie möglich ergriffen werden.	Änderungen so schnell wie möglich	orange
4	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen sehr gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten sofort ergriffen werden.	Änderungen sofort	rot

Belastungsindex

Der Belastungsindex L (nach Lundqvist, 1988) verrechnet die prozentualen Anteile der Aktionskategorien (PAA1 bis PAA4) nach der Formel

$$L = PAA1 + 2 PAA2 + 3 PAA3 + 4 PAA4$$

PAA1..PAA4 sind jeweils Werte von 0 bis 100; die Summe von PAA1..PAA4 ist 100.

Für L ergibt sich ein Wertebereich von 100 bis 400. Höhere Werte stehen für eine höhere Belastung.

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Der Gesamt-Belastungsindex ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen und dem Belastungsindex für die Haltungskombinationen.

Anhang 5

Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 2

OWAS-Analyse

Die OWAS-Analyse wurde erstellt am 31.03.2008, 12:43:41.

Beschreibung der Aufnahme

Versuch 2, Aufzeichnung 2: Kofferraummontage, Framerate 30 Hz

Datei-Informationen

Dateiname: "M:\Entwicklung\DISS - Begleit DVD\Versuch 2\Exp2.mocap"

Letzte Änderung der Mocap-Datei: 17.01.2008, 16:14:52.

Letzte Änderung der Datei mit den vom Benutzer erfassten Daten: 18.03.2008, 17:48:53.

Beginn und Ende der Tätigkeit

Vom Benutzer angegebener zu berücksichtigender Zeitraum

Beginn: 00:00:06.734

Ende: 00:05:03.015

Dauer: 296,3 Sekunden

Überblick über die Belastungsindices

Belastungsindex für einzelnen Körperhaltungen: **L = 126,3**

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: **L = 187,9**

Gesamt-Belastungsindex: L = 157,1

Einzelne Körperhaltungen

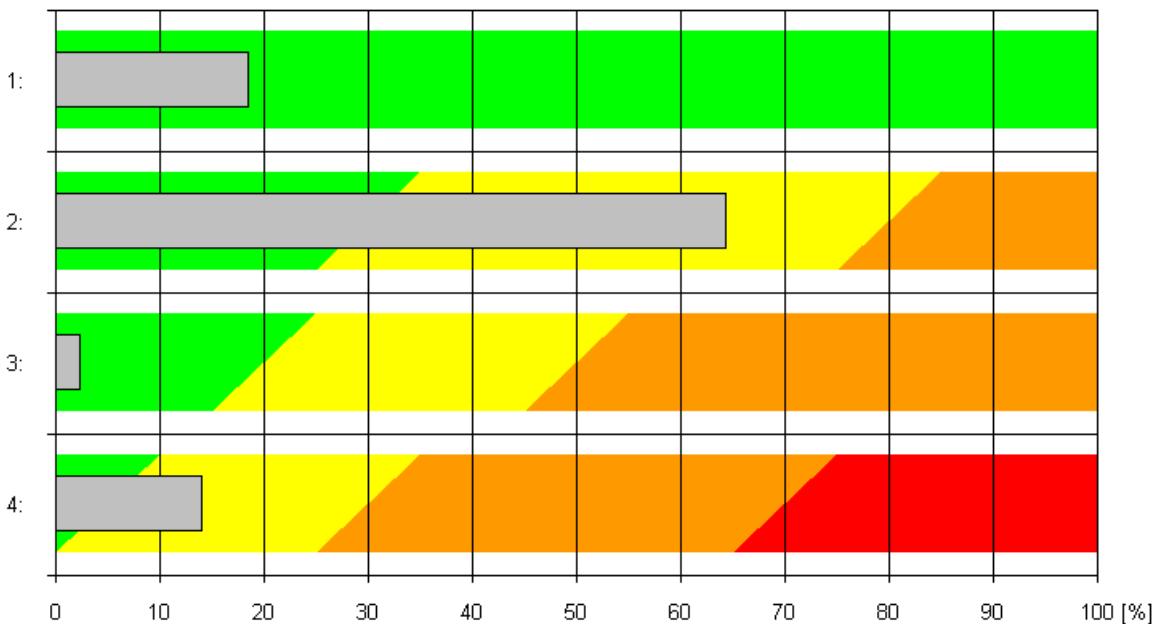
Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen: $L = 126,3$

Rücken

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Gerade	55,2	18,6	1
2: Gebeugt (nach vorne oder hinten)	191,4	64,6	2
3: Gedreht oder zur Seite gebeugt (nach links oder rechts)	7,5	2,5	1
4: (Gebeugt und Gedreht) oder (nach vorn und zur Seite gebeugt)	42,2	14,3	2

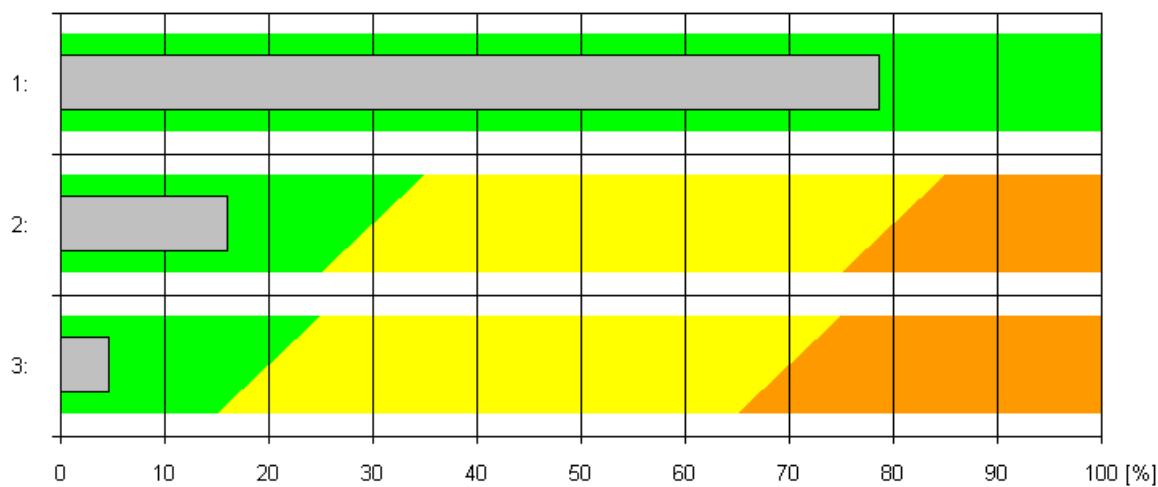


Belastungsindex

Belastungsindex für die Rückenhaltung: $L = 178,8$

Arme

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Beide Arme unterhalb Schulterhöhe	233,8	78,9	1
2: Ein Arm mindestens auf Schulterhöhe	47,9	16,2	1
3: Beide Arme mindestens auf Schulterhöhe	14,6	4,9	1

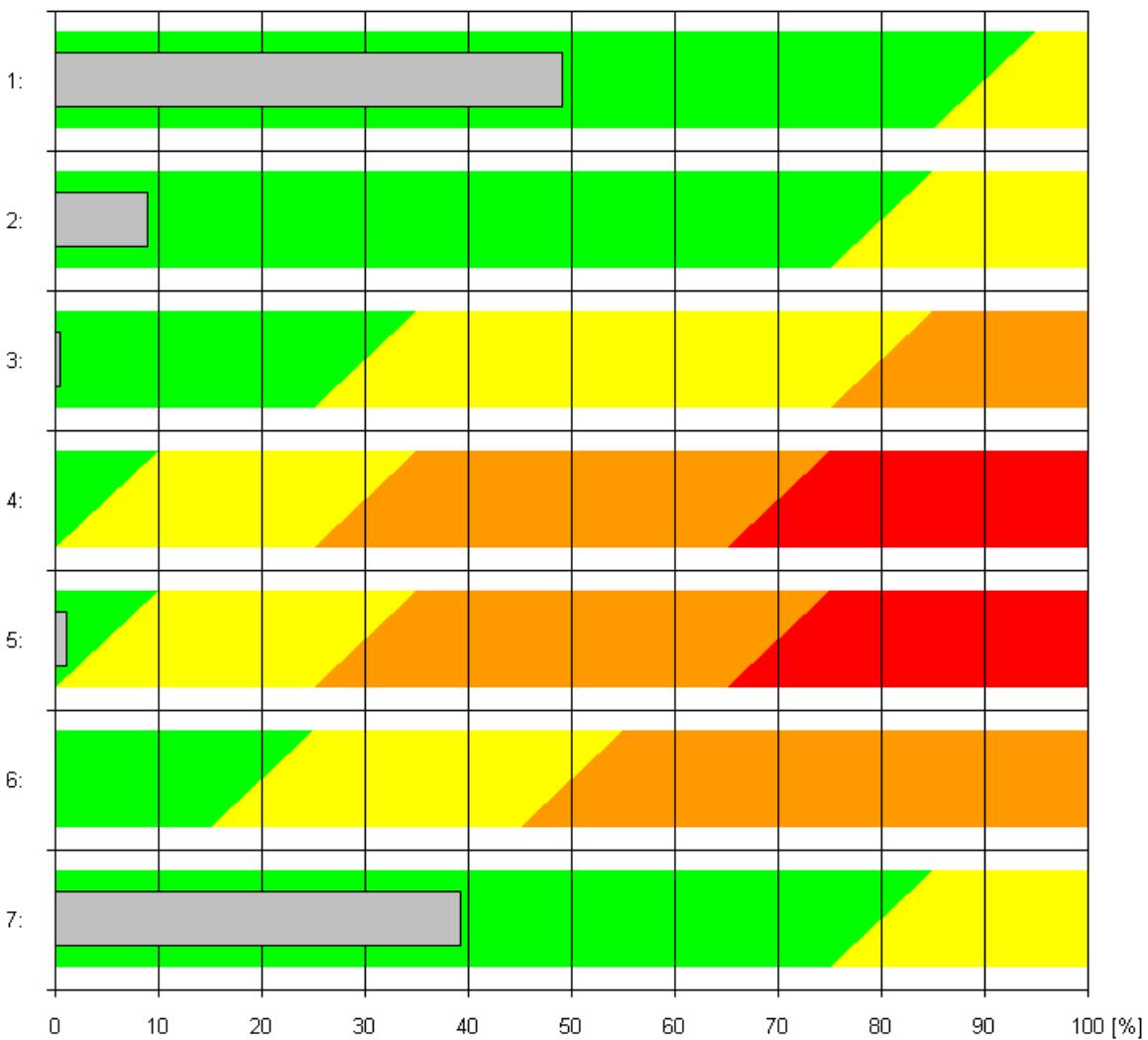


Belastungsindex

Belastungsindex für die Armhaltung: L = 100,0

Beine

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Sitzen	145,9	49,2	1
2: Stehen, beide Beine gerade	27,2	9,2	1
3: Stehen auf einem Bein	2,2	0,7	1
4: Stehen oder kauern, beide Knie gebeugt	0,3	0,1	1
5: Stehen oder kauern, ein Knie gebeugt	3,9	1,3	1
6: Knien auf einem oder beiden Knien	0,0	0,0	1
7: Gehen oder bewegen	116,8	39,4	1



Belastungsindex

Belastungsindex für die Beinhaltung: L = 100,0

Haltungskombinationen

Zeitliche Anteile der Haltungskombinationen, nach Codes

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
<u>1121</u>	3,5	10,4	309	<u>1</u>
<u>1171</u>	15,1	44,8	1.330	<u>1</u>
<u>2111</u>	20,5	60,8	1.808	<u>2</u>
<u>2121</u>	1,8	5,2	154	<u>2</u>
<u>2131</u>	0,6	1,8	53	<u>2</u>
<u>2141</u>	0,1	0,2	6	<u>3</u>
<u>2151</u>	0,1	0,2	7	<u>3</u>
<u>2171</u>	21,8	64,7	1.929	<u>2</u>
<u>2211</u>	15,4	45,7	1.358	<u>2</u>
<u>2271</u>	0,1	0,3	10	<u>2</u>
<u>2311</u>	4,2	12,3	367	<u>3</u>
<u>3121</u>	2,5	7,3	217	<u>1</u>
<u>3131</u>	0,0	0,1	5	<u>1</u>
<u>4111</u>	7,7	22,9	678	<u>2</u>
<u>4121</u>	1,4	4,3	126	<u>2</u>
<u>4131</u>	0,1	0,2	8	<u>2</u>
<u>4141</u>	0,0	0,1	2	<u>4</u>
<u>4151</u>	1,2	3,7	110	<u>4</u>
<u>4171</u>	2,3	6,9	206	<u>2</u>
<u>4211</u>	0,6	1,9	57	<u>3</u>
<u>4311</u>	0,8	2,2	64	<u>4</u>

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
<u>2171</u>	21,8	64,7	1.929	<u>2</u>
<u>2111</u>	20,5	60,8	1.808	<u>2</u>
<u>2211</u>	15,4	45,7	1.358	<u>2</u>
<u>1171</u>	15,1	44,8	1.330	<u>1</u>
<u>4111</u>	7,7	22,9	678	<u>2</u>
<u>2311</u>	4,2	12,3	367	<u>3</u>
<u>1121</u>	3,5	10,4	309	<u>1</u>
<u>3121</u>	2,5	7,3	217	<u>1</u>
<u>4171</u>	2,3	6,9	206	<u>2</u>
<u>2121</u>	1,8	5,2	154	<u>2</u>
<u>4121</u>	1,4	4,3	126	<u>2</u>
<u>4151</u>	1,2	3,7	110	<u>4</u>
<u>4311</u>	0,8	2,2	64	<u>4</u>
<u>4211</u>	0,6	1,9	57	<u>3</u>
<u>2131</u>	0,6	1,8	53	<u>2</u>
<u>2271</u>	0,1	0,3	10	<u>2</u>
<u>4131</u>	0,1	0,2	8	<u>2</u>
<u>2141</u>	0,1	0,2	6	<u>3</u>
<u>2151</u>	0,1	0,2	7	<u>3</u>
<u>3131</u>	0,0	0,1	5	<u>1</u>
<u>4141</u>	0,0	0,1	2	<u>4</u>

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil, getrennt nach Aktionskategorien

Aktionskategorie 1

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
1171	15,1	44,8	1.330	1
1121	3,5	10,4	309	1
3121	2,5	7,3	217	1
3131	0,0	0,1	5	1

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 1: 21,2 %

Aktionskategorie 2

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
2171	21,8	64,7	1.929	2
2111	20,5	60,8	1.808	2
2211	15,4	45,7	1.358	2
4111	7,7	22,9	678	2
4171	2,3	6,9	206	2
2121	1,8	5,2	154	2
4121	1,4	4,3	126	2
2131	0,6	1,8	53	2
2271	0,1	0,3	10	2
4131	0,1	0,2	8	2

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 2: 71,9 %

Aktionskategorie 3

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
2311	4,2	12,3	367	3
4211	0,6	1,9	57	3
2141	0,1	0,2	6	3
2151	0,1	0,2	7	3

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 3: 5,0 %

Aktionskategorie 4

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
4151	1,2	3,7	110	4
4311	0,8	2,2	64	4
4141	0,0	0,1	2	4

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 4: 2,0 %

Belastungsindex für die Haltungskombinationen

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: $L = 187,9$

Weitere Informationen

Programm

Diese OWAS-Analyse wurde erstellt auf Basis von Bewegungsdaten, die durch MotionCapturing mit dem Animazoo GypsyGyro18-System gewonnen wurden.

Die Analyse wurde vom Programm "OwasEvaluator.exe", Version 2008.3.4.19 vom 31.03.2008, 12:40:44 erstellt.

Das Programm entstand im Rahmen des Projektes "CyberManS" an der Universität Kassel am Institut für Arbeitswissenschaft. Autor: Thomas Gudehus.

Dauer der Aufnahme

Mocap-Frames: 9.056

Zeitpunkt des ersten Frames: 00:00:00.109

Zeitpunkt des letzten Frames: 00:05:04.812

Dauer der Aufnahme: 304,7 Sekunden

Erläuterungen zu OWAS, Aktionskategorien und Belastungsindex

Gewichtsklassen

OWAS verwendet drei Klassen für Lasten:

Klasse	Beschreibung
1	Weniger als 10 kg
2	Zwischen 10 und 20 kg
3	Mehr als 20 kg

Die Gewichtsklasse ist das vierte Zeichen eines OWAS-Codes.

OWAS-Aktionskategorien

OWAS verwendet vier Aktionskategorien:

Aktions-kategorie	Bedeutung lang	Bedeutung kurz	Farbe
1	Die einzelnen Körperhaltungen und die Haltungskombinationen der verschiedenen Körperteile sind normal und natürlich. Die Belastung des Muskel-Skelett-Systems ist normal und im akzeptablen Rahmen. Die Körperhaltungen müssen nicht geändert werden.	Keine Änderungen nötig	grün
2	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen können einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System haben. Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden.	Änderungen in naher Zukunft nötig	gelb
3	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten so schnell wie möglich ergriffen werden.	Änderungen so schnell wie möglich	orange
4	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen sehr gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten sofort ergriffen werden.	Änderungen sofort	rot

Belastungsindex

Der Belastungsindex L (nach Lundqvist, 1988) verrechnet die prozentualen Anteile der Aktionskategorien (PAA1 bis PAA4) nach der Formel

$$L = PAA1 + 2 PAA2 + 3 PAA3 + 4 PAA4$$

PAA1..PAA4 sind jeweils Werte von 0 bis 100; die Summe von PAA1..PAA4 ist 100.

Für L ergibt sich ein Wertebereich von 100 bis 400. Höhere Werte stehen für eine höhere Belastung.

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Der Gesamt-Belastungsindex ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen und dem Belastungsindex für die Haltungskombinationen.

Anhang 6

Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 3

OWAS-Analyse

Die OWAS-Analyse wurde erstellt am 31.03.2008, 12:44:17.

Beschreibung der Aufnahme

Versuch 2, Aufzeichnung 3: Kofferraummontage, Framerate 60 Hz

Datei-Informationen

Dateiname: "M:\Entwicklung\DISS - Begleit DVD\Versuch 2\Exp3.mocap"

Letzte Änderung der Mocap-Datei: 17.01.2008, 16:38:46.

Letzte Änderung der Datei mit den vom Benutzer erfassten Daten: 18.03.2008, 17:49:15.

Beginn und Ende der Tätigkeit

Vom Benutzer angegebener zu berücksichtigender Zeitraum

Beginn: 00:00:05.125

Ende: 00:05:11.984

Dauer: 306,9 Sekunden

Überblick über die Belastungsindices

Belastungsindex für einzelnen Körperhaltungen: **L = 123,7**

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: **L = 187,5**

Gesamt-Belastungsindex: L = 155,6

Einzelne Körperhaltungen

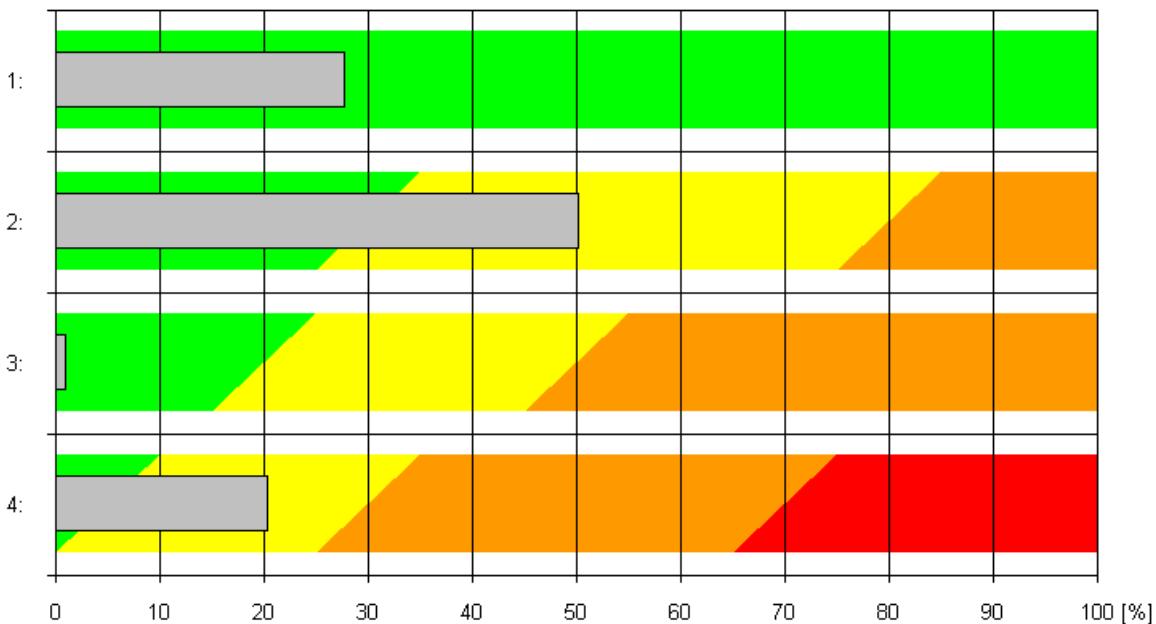
Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen: $L = 123,7$

Rücken

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Gerade	85,5	27,8	1
2: Gebeugt (nach vorne oder hinten)	154,8	50,4	2
3: Gedreht oder zur Seite gebeugt (nach links oder rechts)	3,6	1,2	1
4: (Gebeugt und Gedreht) oder (nach vorn und zur Seite gebeugt)	63,1	20,5	2

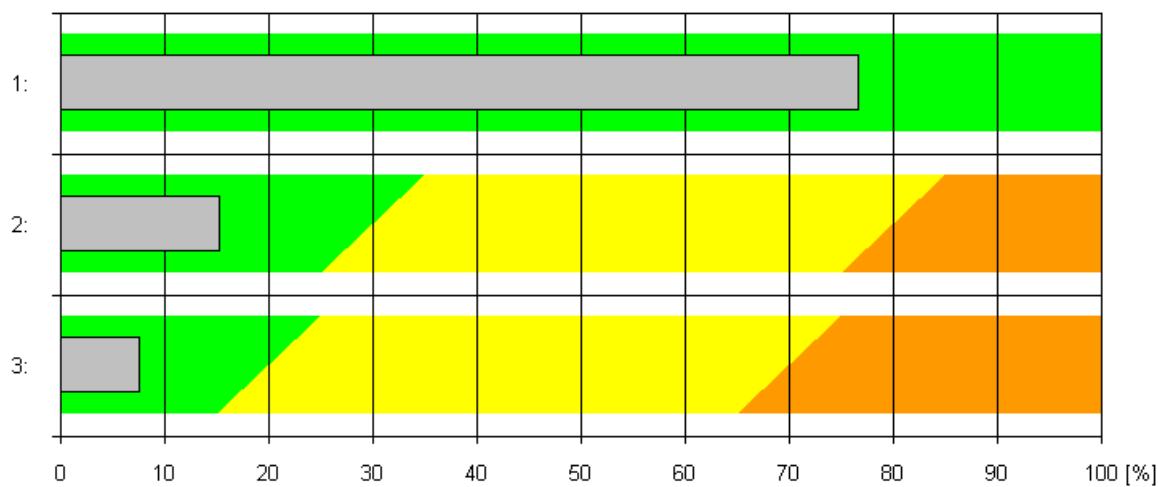


Belastungsindex

Belastungsindex für die Rückenhaltung: $L = 171,0$

Arme

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Beide Arme unterhalb Schulterhöhe	235,7	76,8	1
2: Ein Arm mindestens auf Schulterhöhe	47,4	15,5	1
3: Beide Arme mindestens auf Schulterhöhe	23,8	7,7	1

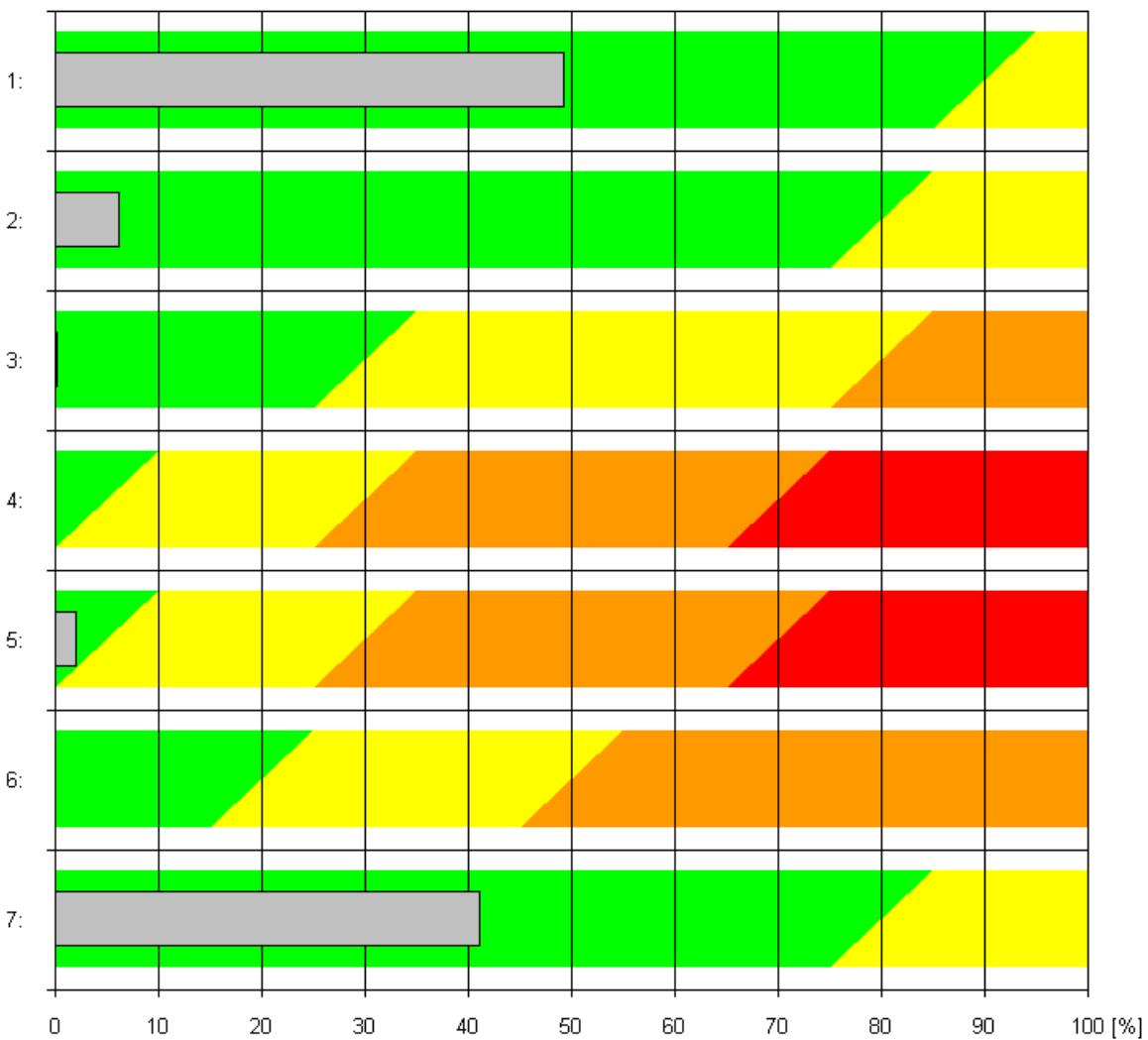


Belastungsindex

Belastungsindex für die Armhaltung: L = 100,0

Beine

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Sitzen	151,8	49,5	1
2: Stehen, beide Beine gerade	19,5	6,4	1
3: Stehen auf einem Bein	1,0	0,3	1
4: Stehen oder kauern, beide Knie gebeugt	0,8	0,3	1
5: Stehen oder kauern, ein Knie gebeugt	7,0	2,3	1
6: Knien auf einem oder beiden Knien	0,0	0,0	1
7: Gehen oder bewegen	126,8	41,3	1



Belastungsindex

Belastungsindex für die Beinhaltung: L = 100,0

Haltungskombinationen

Zeitliche Anteile der Haltungskombinationen, nach Codes

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
1121	5,0	15,2	831	1
1131	0,0	0,0	3	1
1171	22,2	68,1	3.722	1
1271	0,7	2,0	112	1
2111	15,9	48,7	2.678	2
2121	0,3	1,0	56	2
2131	0,2	0,5	26	2
2141	0,1	0,3	13	3
2151	1,9	6,0	324	3
2171	15,2	46,5	2.555	2
2211	8,9	27,4	1.509	2
2271	1,0	3,1	173	2
2311	7,0	21,4	1.185	3
3121	1,0	3,2	175	1
3131	0,0	0,1	3	1
3151	0,1	0,3	17	4
4111	12,1	37,1	2.057	2
4121	0,0	0,1	3	2
4131	0,1	0,4	21	2
4141	0,2	0,5	32	4
4151	0,2	0,7	40	4
4171	2,3	7,0	388	2
4211	4,8	14,8	821	3
4271	0,0	0,0	2	2
4311	0,8	2,4	133	4

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
<u>1171</u>	22,2	68,1	3.722	<u>1</u>
<u>2111</u>	15,9	48,7	2.678	<u>2</u>
<u>2171</u>	15,2	46,5	2.555	<u>2</u>
<u>4111</u>	12,1	37,1	2.057	<u>2</u>
<u>2211</u>	8,9	27,4	1.509	<u>2</u>
<u>2311</u>	7,0	21,4	1.185	<u>3</u>
<u>1121</u>	5,0	15,2	831	<u>1</u>
<u>4211</u>	4,8	14,8	821	<u>3</u>
<u>4171</u>	2,3	7,0	388	<u>2</u>
<u>2151</u>	1,9	6,0	324	<u>3</u>
<u>3121</u>	1,0	3,2	175	<u>1</u>
<u>2271</u>	1,0	3,1	173	<u>2</u>
<u>4311</u>	0,8	2,4	133	<u>4</u>
<u>1271</u>	0,7	2,0	112	<u>1</u>
<u>2121</u>	0,3	1,0	56	<u>2</u>
<u>4151</u>	0,2	0,7	40	<u>4</u>
<u>4141</u>	0,2	0,5	32	<u>4</u>
<u>2131</u>	0,2	0,5	26	<u>2</u>
<u>4131</u>	0,1	0,4	21	<u>2</u>
<u>3151</u>	0,1	0,3	17	<u>4</u>
<u>2141</u>	0,1	0,3	13	<u>3</u>
<u>4121</u>	0,0	0,1	3	<u>2</u>
<u>3131</u>	0,0	0,1	3	<u>1</u>
<u>4271</u>	0,0	0,0	2	<u>2</u>
<u>1131</u>	0,0	0,0	3	<u>1</u>

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil, getrennt nach Aktionskategorien

Aktionskategorie 1

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
1171	22,2	68,1	3.722	1
1121	5,0	15,2	831	1
3121	1,0	3,2	175	1
1271	0,7	2,0	112	1
3131	0,0	0,1	3	1
1131	0,0	0,0	3	1

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 1: 28,9 %

Aktionskategorie 2

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
2111	15,9	48,7	2.678	2
2171	15,2	46,5	2.555	2
4111	12,1	37,1	2.057	2
2211	8,9	27,4	1.509	2
4171	2,3	7,0	388	2
2271	1,0	3,1	173	2
2121	0,3	1,0	56	2
2131	0,2	0,5	26	2
4131	0,1	0,4	21	2
4121	0,0	0,1	3	2
4271	0,0	0,0	2	2

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 2: 56,0 %

Aktionskategorie 3

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
2311	7,0	21,4	1.185	3
4211	4,8	14,8	821	3
2151	1,9	6,0	324	3
2141	0,1	0,3	13	3

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 3: 13,8 %

Aktionskategorie 4

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
4311	0,8	2,4	133	4
4151	0,2	0,7	40	4
4141	0,2	0,5	32	4
3151	0,1	0,3	17	4

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 4: 1,3 %

Belastungsindex für die Haltungskombinationen

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: $L = 187,5$

Weitere Informationen

Programm

Diese OWAS-Analyse wurde erstellt auf Basis von Bewegungsdaten, die durch MotionCapturing mit dem Animazoo GypsyGyro18-System gewonnen wurden.

Die Analyse wurde vom Programm "OwasEvaluator.exe", Version 2008.3.4.19 vom 31.03.2008, 12:40:44 erstellt.

Das Programm entstand im Rahmen des Projektes "CyberManS" an der Universität Kassel am Institut für Arbeitswissenschaft. Autor: Thomas Gudehus.

Dauer der Aufnahme

Mocap-Frames: 17.202

Zeitpunkt des ersten Frames: 00:00:00.109

Zeitpunkt des letzten Frames: 00:05:12.828

Dauer der Aufnahme: 312,7 Sekunden

Erläuterungen zu OWAS, Aktionskategorien und Belastungsindex

Gewichtsklassen

OWAS verwendet drei Klassen für Lasten:

Klasse	Beschreibung
1	Weniger als 10 kg
2	Zwischen 10 und 20 kg
3	Mehr als 20 kg

Die Gewichtsklasse ist das vierte Zeichen eines OWAS-Codes.

OWAS-Aktionskategorien

OWAS verwendet vier Aktionskategorien:

Aktions-kategorie	Bedeutung lang	Bedeutung kurz	Farbe
1	Die einzelnen Körperhaltungen und die Haltungskombinationen der verschiedenen Körperteile sind normal und natürlich. Die Belastung des Muskel-Skelett-Systems ist normal und im akzeptablen Rahmen. Die Körperhaltungen müssen nicht geändert werden.	Keine Änderungen nötig	grün
2	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen können einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System haben. Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden.	Änderungen in naher Zukunft nötig	gelb
3	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten so schnell wie möglich ergriffen werden.	Änderungen so schnell wie möglich	orange
4	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen sehr gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten sofort ergriffen werden.	Änderungen sofort	rot

Belastungsindex

Der Belastungsindex L (nach Lundqvist, 1988) verrechnet die prozentualen Anteile der Aktionskategorien (PAA1 bis PAA4) nach der Formel

$$L = PAA1 + 2 PAA2 + 3 PAA3 + 4 PAA4$$

PAA1..PAA4 sind jeweils Werte von 0 bis 100; die Summe von PAA1..PAA4 ist 100.

Für L ergibt sich ein Wertebereich von 100 bis 400. Höhere Werte stehen für eine höhere Belastung.

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Der Gesamt-Belastungsindex ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen und dem Belastungsindex für die Haltungskombinationen.

Anhang 7

Semi-automatische OWAS-Analyse von Aufzeichnung 4

OWAS-Analyse

Die OWAS-Analyse wurde erstellt am 31.03.2008, 12:45:32.

Beschreibung der Aufnahme

Versuch 2, Aufzeichnung 4: Kofferraummontage, Framerate 60 Hz

Datei-Informationen

Dateiname: "M:\Entwicklung\DISS - Begleit DVD\Versuch 2\Exp4.mocap"

Letzte Änderung der Mocap-Datei: 17.01.2008, 16:48:44.

Letzte Änderung der Datei mit den vom Benutzer erfassten Daten: 18.03.2008, 17:49:41.

Beginn und Ende der Tätigkeit

Vom Benutzer angegebener zu berücksichtigender Zeitraum

Beginn: 00:00:08.110

Ende: 00:05:05.969

Dauer: 297,9 Sekunden

Überblick über die Belastungsindices

Belastungsindex für einzelnen Körperhaltungen: **L = 121,9**

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: **L = 176,0**

Gesamt-Belastungsindex: L = 148,9

Einzelne Körperhaltungen

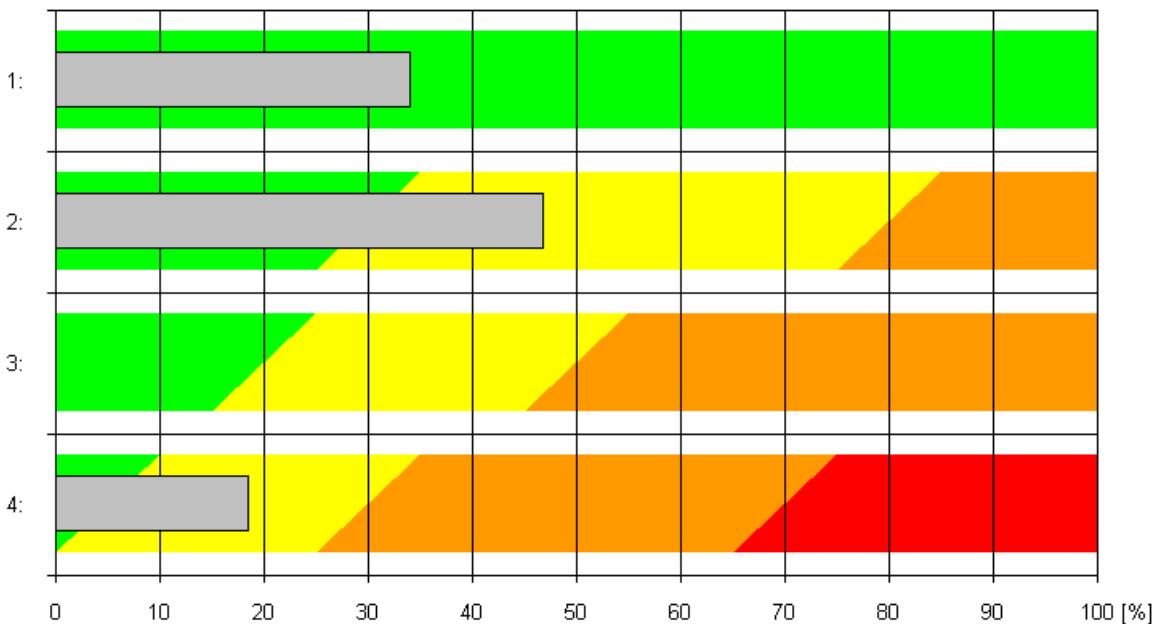
Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen: $L = 121,9$

Rücken

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Gerade	101,9	34,2	1
2: Gebeugt (nach vorne oder hinten)	139,8	46,9	2
3: Gedreht oder zur Seite gebeugt (nach links oder rechts)	0,3	0,1	1
4: (Gebeugt und Gedreht) oder (nach vorn und zur Seite gebeugt)	55,9	18,8	2

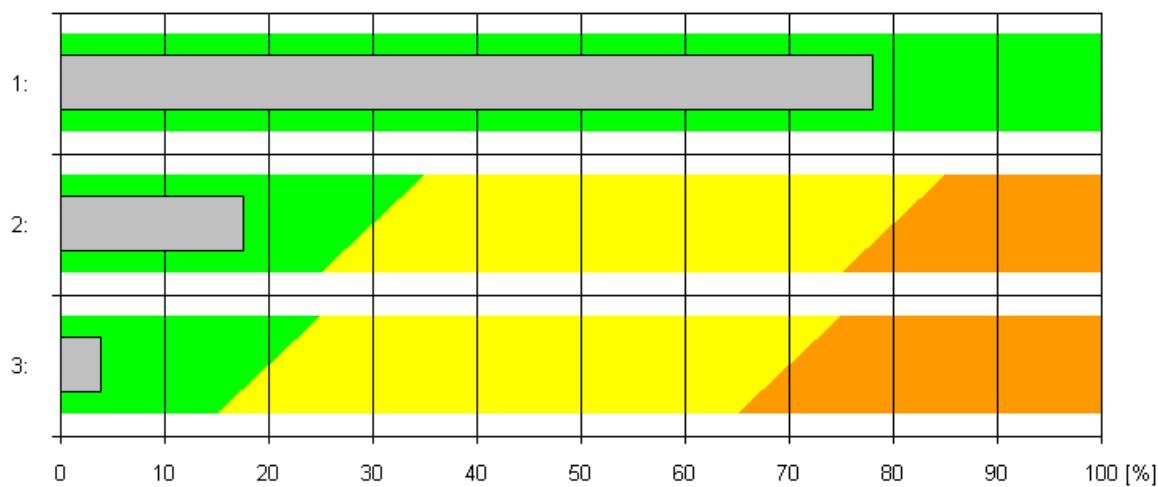


Belastungsindex

Belastungsindex für die Rückenhaltung: $L = 165,7$

Arme

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Beide Arme unterhalb Schulterhöhe	232,8	78,2	1
2: Ein Arm mindestens auf Schulterhöhe	53,0	17,8	1
3: Beide Arme mindestens auf Schulterhöhe	12,0	4,0	1

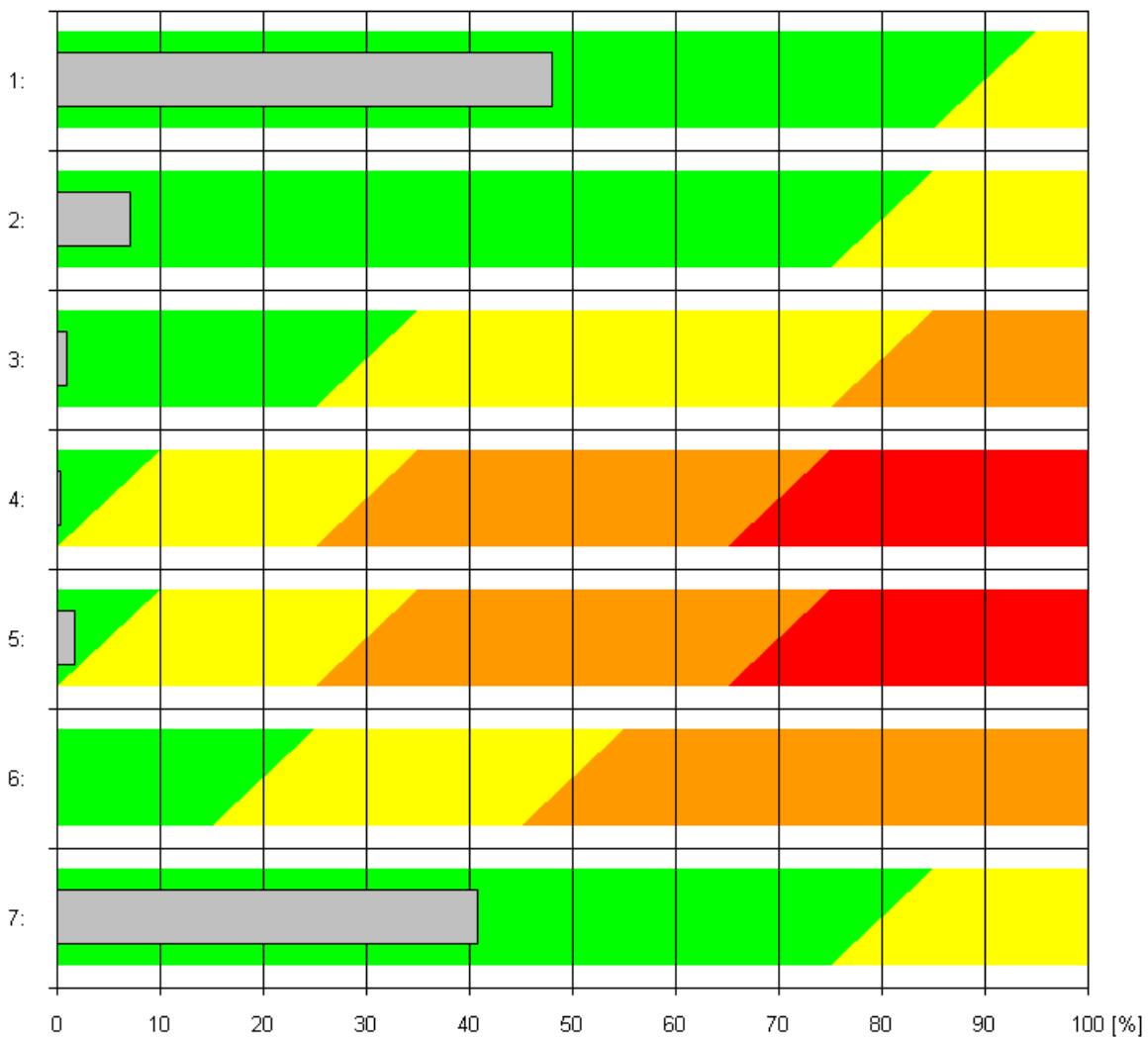


Belastungsindex

Belastungsindex für die Armhaltung: L = 100,0

Beine

Haltung	Zeit [s]	Anteil [%]	Aktionskategorie
1: Sitzen	143,9	48,3	1
2: Stehen, beide Beine gerade	21,6	7,2	1
3: Stehen auf einem Bein	3,2	1,1	1
4: Stehen oder kauern, beide Knie gebeugt	1,7	0,6	1
5: Stehen oder kauern, ein Knie gebeugt	5,6	1,9	1
6: Knien auf einem oder beiden Knien	0,0	0,0	1
7: Gehen oder bewegen	121,9	40,9	1



Belastungsindex

Belastungsindex für die Beinhaltung: L = 100,0

Haltungskombinationen

Zeitliche Anteile der Haltungskombinationen, nach Codes

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
1121	6,6	19,6	1.067	1
1131	0,4	1,2	66	1
1171	26,9	80,1	4.378	1
1271	0,3	1,0	52	1
2111	13,4	40,0	2.202	2
2121	0,7	2,0	109	2
2131	0,3	1,0	50	2
2141	0,1	0,4	25	3
2151	1,3	3,8	203	3
2171	12,3	36,8	2.014	2
2211	15,2	45,1	2.466	2
2271	0,2	0,5	28	2
2311	3,4	10,3	564	3
3131	0,1	0,3	17	1
4111	13,5	40,2	2.215	2
4131	0,3	0,8	41	2
4141	0,4	1,3	71	4
4151	0,6	1,8	99	4
4171	1,2	3,6	198	2
4211	2,2	6,5	360	3
4311	0,6	1,8	98	4

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
<u>1171</u>	26,9	80,1	4.378	<u>1</u>
<u>2211</u>	15,2	45,1	2.466	<u>2</u>
<u>4111</u>	13,5	40,2	2.215	<u>2</u>
<u>2111</u>	13,4	40,0	2.202	<u>2</u>
<u>2171</u>	12,3	36,8	2.014	<u>2</u>
<u>1121</u>	6,6	19,6	1.067	<u>1</u>
<u>2311</u>	3,4	10,3	564	<u>3</u>
<u>4211</u>	2,2	6,5	360	<u>3</u>
<u>2151</u>	1,3	3,8	203	<u>3</u>
<u>4171</u>	1,2	3,6	198	<u>2</u>
<u>2121</u>	0,7	2,0	109	<u>2</u>
<u>4151</u>	0,6	1,8	99	<u>4</u>
<u>4311</u>	0,6	1,8	98	<u>4</u>
<u>4141</u>	0,4	1,3	71	<u>4</u>
<u>1131</u>	0,4	1,2	66	<u>1</u>
<u>1271</u>	0,3	1,0	52	<u>1</u>
<u>2131</u>	0,3	1,0	50	<u>2</u>
<u>4131</u>	0,3	0,8	41	<u>2</u>
<u>2271</u>	0,2	0,5	28	<u>2</u>
<u>2141</u>	0,1	0,4	25	<u>3</u>
<u>3131</u>	0,1	0,3	17	<u>1</u>

Häufigkeiten der Haltungskombinationen, nach zeitlichem Anteil, getrennt nach Aktionskategorien

Aktionskategorie 1

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
1171	26,9	80,1	4.378	1
1121	6,6	19,6	1.067	1
1131	0,4	1,2	66	1
1271	0,3	1,0	52	1
3131	0,1	0,3	17	1

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 1: 34,3 %

Aktionskategorie 2

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
2211	15,2	45,1	2.466	2
4111	13,5	40,2	2.215	2
2111	13,4	40,0	2.202	2
2171	12,3	36,8	2.014	2
4171	1,2	3,6	198	2
2121	0,7	2,0	109	2
2131	0,3	1,0	50	2
4131	0,3	0,8	41	2
2271	0,2	0,5	28	2

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 2: 57,0 %

Aktionskategorie 3

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
2311	3,4	10,3	564	3
4211	2,2	6,5	360	3
2151	1,3	3,8	203	3
2141	0,1	0,4	25	3

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 3: 7,0 %

Aktionskategorie 4

Code	Zeitl. Anteil [%]	Zeit [s]	Frames	Aktionskategorie
4151	0,6	1,8	99	4
4311	0,6	1,8	98	4
4141	0,4	1,3	71	4

Zeitlicher Anteil der Haltungskombinationen in Aktionskategorie 4: 1,6 %

Belastungsindex für die Haltungskombinationen

Belastungsindex für die Haltungskombinationen: $L = 176,0$

Weitere Informationen

Programm

Diese OWAS-Analyse wurde erstellt auf Basis von Bewegungsdaten, die durch MotionCapturing mit dem Animazoo GypsyGyro18-System gewonnen wurden.

Die Analyse wurde vom Programm "OwasEvaluator.exe", Version 2008.3.4.19 vom 31.03.2008, 12:40:44 erstellt.

Das Programm entstand im Rahmen des Projektes "CyberManS" an der Universität Kassel am Institut für Arbeitswissenschaft. Autor: Thomas Gudehus.

Dauer der Aufnahme

Mocap-Frames: 16.764

Zeitpunkt des ersten Frames: 00:00:00.110

Zeitpunkt des letzten Frames: 00:05:06.047

Dauer der Aufnahme: 306,0 Sekunden

Erläuterungen zu OWAS, Aktionskategorien und Belastungsindex

Gewichtsklassen

OWAS verwendet drei Klassen für Lasten:

Klasse	Beschreibung
1	Weniger als 10 kg
2	Zwischen 10 und 20 kg
3	Mehr als 20 kg

Die Gewichtsklasse ist das vierte Zeichen eines OWAS-Codes.

OWAS-Aktionskategorien

OWAS verwendet vier Aktionskategorien:

Aktions-kategorie	Bedeutung lang	Bedeutung kurz	Farbe
1	Die einzelnen Körperhaltungen und die Haltungskombinationen der verschiedenen Körperteile sind normal und natürlich. Die Belastung des Muskel-Skelett-Systems ist normal und im akzeptablen Rahmen. Die Körperhaltungen müssen nicht geändert werden.	Keine Änderungen nötig	grün
2	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen können einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System haben. Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden.	Änderungen in naher Zukunft nötig	gelb
3	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten so schnell wie möglich ergriffen werden.	Änderungen so schnell wie möglich	orange
4	Die Belastung durch die einzelnen Körperhaltungen oder durch die Haltungskombinationen haben einen sehr gesundheitsgefährdenden Effekt auf das Muskel-Skelett-System. Maßnahmen zur Abhilfe sollten sofort ergriffen werden.	Änderungen sofort	rot

Belastungsindex

Der Belastungsindex L (nach Lundqvist, 1988) verrechnet die prozentualen Anteile der Aktionskategorien (PAA1 bis PAA4) nach der Formel

$$L = PAA1 + 2 PAA2 + 3 PAA3 + 4 PAA4$$

PAA1..PAA4 sind jeweils Werte von 0 bis 100; die Summe von PAA1..PAA4 ist 100.

Für L ergibt sich ein Wertebereich von 100 bis 400. Höhere Werte stehen für eine höhere Belastung.

Der Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für den Rücken, dem der Arme und dem der Beine.

Der Gesamt-Belastungsindex ist der Mittelwert aus dem Belastungsindex für die einzelnen Körperhaltungen und dem Belastungsindex für die Haltungskombinationen.

Danksagung

Zum Schluss möchte ich nicht versäumen, den zahlreichen Menschen zu danken, die mich während der Erstellung dieser Arbeit unterstützt und getragen (manchmal auch ertragen) haben. Besonders hervorzuheben sind dabei meine Frau Silke sowie meine Töchter Lena und Svea.

Zu danken habe ich natürlich den Mitgliedern des „CyberManS-Team“ am Institut für Arbeitswissenschaft an der Universität Kassel mit Alberto Bárcenas, Uschi Bauche, Eduard Gaus, Jürgen Klippert und Jürgen Zick sowie den Professoren Hans Martin und Roland Jochem, die mich auf sehr konstruktive Weise bei der Erstellung dieser Arbeit betreut haben.

Prof. Martin danke ich persönlich für die Begleitung während der mehr als fünf Jahre, in denen ich Teil seiner Arbeitsgruppe sein durfte.

Schließlich gilt mein Dank der Europäischen Union, die das Forschungsprojekt „CyberManS“ ermöglichte, ohne das die die vorliegende Arbeit nicht hätte realisiert werden können.