

Projektexposé
Förderpreis "Alter und Arbeit"
der Marie-Luise und Ernst Becker Stiftung

Altersdifferenzierte Arbeitsplatzgestaltung auf Basis digitaler Menschmodelle

Integration altersassoziierter physiologischer Leistungsparameter in das AnyBody Menschmodell

1. Motivation und Einführung

Der demographische Wandel erfordert neue arbeitswissenschaftliche Konzepte und Methoden zur Unterstützung älterer Arbeitspersonen, die aufgrund der Erhöhung des Renteneintrittsalters zukünftig länger im Arbeitsverhältnis bleiben werden. Ein wichtiger Ansatz zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit älterer Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer ist die ergonomische Gestaltung und altersgerechte Anpassung von Arbeitsplätzen. Die ergonomische Gestaltung der Arbeitsplätze muss dabei auf die Leistungsfähigkeit dieser Beschäftigungsgruppe ausgerichtet sein und gleichzeitig die hohe interindividuelle Variabilität der physischen, psychischen und kognitiven Fähigkeiten berücksichtigen.

Traditionelle arbeitswissenschaftliche Ansätze der Arbeitsplatzgestaltung berücksichtigen vorrangig anthropometrische Aspekte wie bspw. die Körperhaltung, Körperstellung, Greifräume sowie Bewegungsräume. Da der größte Teil menschlicher Arbeit jedoch dynamisch ausgeführt wird besteht die Notwendigkeit, auch bewegungsbezogene Risikofaktoren eines Arbeitsplatzes zu identifizieren. Biomechanische Analyseverfahren bieten hier die Möglichkeit, Bewegungstrajektorien und deren zeitliche Interdependenzen zu untersuchen. Mittels biomechanischer Gesetzmäßigkeiten kann so auf die im Körper herrschenden Kräfte und die entsprechende muskuläre Beanspruchung geschlossen werden. Bei den meisten Ansätzen zur Bestimmung der muskulären Beanspruchung (Abschätzung anhand nachlassender Maximalkraft, Elektromyographie (EMG)) handelt es sich jedoch um korrektive Analyseverfahren, so dass nur bestehende Arbeitsplätze mit diesen Verfahren bewertet werden können. Bei der Neugestaltung von Arbeitssystemen und Arbeitsplätzen ist es jedoch besonders wichtig den zukünftigen Benutzer und seine Fähigkeiten, Fertigkeiten und Anforderungen frühzeitig in den Gestaltungsprozess zu integrieren. Ein großes Potential zur konzeptiven ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen und Produkten bieten sogenannte digitale Menschmodelle (Digital Human Models, DHM). Diese werden bereits frühzeitig im Gestaltungsprozess eingesetzt und bieten die Möglichkeit unterschiedliche Gestaltungsvarianten virtuell zu entwickeln und prospektiv hinsichtlich ihrer Ergonomie zu vergleichen.

Bisher sind jedoch nur wenige Ansätze digitaler Menschmodelle bekannt, die Leistungsveränderungen ältere Arbeitspersonen in der Modellierung berücksichtigen und somit zu einer altersgerechten Gestaltung von Arbeitssystemen, Produkten oder Arbeitsplätzen herangezogen werden könnten. Ziel des in diesem Projektexposé beschriebenen Ansatzes ist die Integration altersassoziierter physiologischer

Leistungsparameter (insbesondere muskulärer Veränderungen) in das AnyBody Menschmodell. Anhand eines exemplarischen Anwendungsbeispiels sollen die Möglichkeiten der altersgerechten Arbeitsplatzgestaltung mit Hilfe eines „alten/alternden“ Menschmodells aufgezeigt werden. Dabei werden insbesondere altersspezifische muskuläre Veränderungen, wie bspw. Veränderungen der Muskelmasse, Knochenmasse oder Muskelfasern usw. sowie deren Integration in das Menschmodell AnyBody betrachtet.

2. Stand der Forschung

2.1 Digitale Menschmodelle

Unter digitalen Menschmodellen werden im Rechner erzeugte Repräsentationen des Menschen verstanden, die, je nach Anwendungsbereich, verschiedene seiner Eigenschaften wiedergeben. Im Laufe der Zeit wurden viele unterschiedliche Ansätze verfolgt und entsprechende Modelle entwickelt. Die zwei wesentlichen Entwicklungslinien (1) anthropometrische Menschmodelle und (2) biomechanischen Modelle können hier differenziert werden. Anthropometrische Menschmodelle im Sinne der Arbeitswissenschaft helfen dem Konstrukteur als Teil eines CAD-Systems bei der ergonomischen Produktentwicklung und dem Planer als Bestandteil der Digitalen Fabrik bei der arbeitswissenschaftlichen Prozessplanung. Sie ermöglichen dabei die integrative Nutzung anthropometrischer Daten sowie verschiedener ergonomischer Analyse- und Bewertungsfunktionen. Biomechanische Modelle hingegen ermöglichen die Modellierung und Analyse des zeitveränderlichen, dynamischen Verhaltens des menschlichen Bewegungsapparats unter Berücksichtigung der aufzubringenden Kräfte (Bubb, 2004; Chaffin, 2005; Mühlstedt & Spanner-Ulmer, 2009; Mühlstedt et al., 2008).

Bedeutende Vertreter anthropometrischer digitaler Menschmodelle sind das Modell Jack von Siemens PLM (Siemens, 2009), RAMSIS von Human Solutions (Seidl, 1994) und Human Builder von Dassault Systèmes (Dassault Systèmes, 2009) eine Weiterentwicklung des SafeWork Modells. Die Modelle stellen unterschiedliche ergonomische Analysemethoden, wie z.B. Sicht- und Erreichbarkeitsanalysen oder Funktionen zur Komfortbewertung unter Berücksichtigung anthropometrischer Variablen (Geschlecht, Perzentile, Nationalitäten und Somatotypen), zur Verfügung.

Die bekanntesten Vertreter biomechanischer Menschmodelle sind das AnyBody Menschmodell, welches von der Aalborg Universität in Dänemark entwickelt wurde (Rasmussen et al., 2001), MADYMO von TNO Madymo (TNO, 2001) sowie das Modell HUGO von Computer Simulation Technologie (Computer Simulation Technologie, 2009). Die Anwendungsbereiche der drei Ansätze sind sehr unterschiedlich. Während Madymo vorrangig für die Simulation von Crash Test Dummies entwickelt wurde und die Reaktion des menschlichen Körpers bei Verkehrsunfällen nachempfunden, können mit Hilfe des Menschmodells Hugo elektromagnetische Felder im menschlichen Körper sowie Operationsplanungen simuliert werden. Die ergonomische Analyse und Bewertung von

Körperhaltungen und Bewegungsbahnen unter Berücksichtigung muskulärer Beanspruchung ermöglicht ausschließlich das AnyBody Menschmodell, so dass dieses für den hier vorgestellten Forschungsansatz ausgewählt werden soll und im Folgenden kurz beschrieben wird.

2.2 Das Menschmodell AnyBody

Das Menschmodell AnyBody ist ein System zur biodynamischen Simulation von menschlichen Bewegungen. Durch das Modell kann das Gesamtkörpersystem inklusive detaillierter Modelle für die Knochen und Muskeln des menschlichen Körpers abgebildet werden. So besteht bspw. das stehende Grundmodell aus insgesamt 22 Starrköpern, 23 Gelenken und 456 Muskeln mit individueller Geometrie, Stärke und Wirkungslinie. Darüber hinaus bietet das System die Möglichkeit, anthropometrisch differenzierte Sub-Modelle zu untersuchen. So kann das Menschmodell hinsichtlich Größe, Gewicht und aufzubringender Muskelkräfte skaliert werden (Rausch et al. 2006).

Zur Berechnung der internen Muskelkräfte wird die Methodik der inversen Kinematik angewandt und die Beanspruchung des Modells anhand der Muskelaktivierung, d.h. die vom Muskel erzeugte Kraft in Bezug zur maximal möglichen Kraft, gemessen (siehe Abbildung 1). Dazu muss in einem ersten Schritt der notwendige Input, d.h. sämtliche kinematischen Freiheitsgrade und externen Kräfte, zur Berechnung der inversen Kinematik zur Verfügung gestellt werden. Darauf aufbauend werden in einem zweiten Schritt, der kinematischen Analyse, die Positionen und Orientierungen aller Segmente berechnet. Anschließend werden die Muskellänge, Kontraktionsgeschwindigkeit und Beanspruchbarkeit der Muskeln bestimmt und basierend auf dem Ziel die Muskelaktivität zu minimieren (Rasmussen et al., 2003) die für die jeweilige Körperhaltung bzw. Bewegung benötigten Muskeln bestimmt. Als Output des Systems werden die Muskel und Gelenkkräfte, Muskelaktivität und mechanische Leistung ausgegeben (Rasmussen et al., 2001).

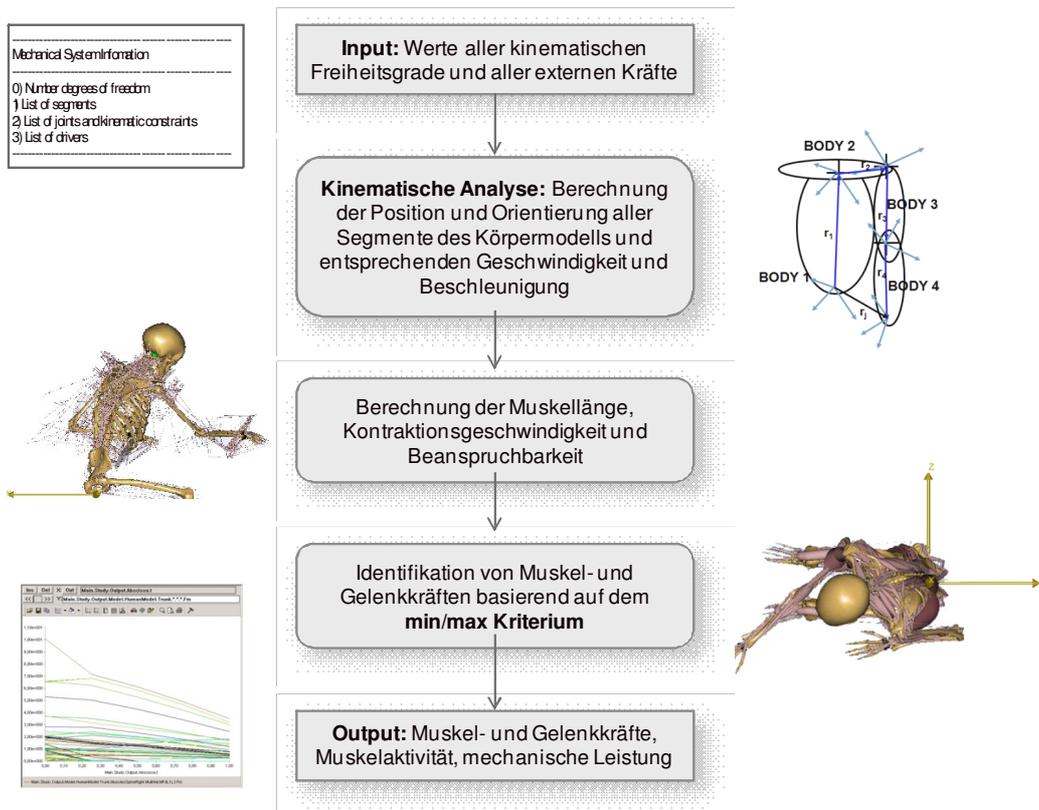


Abbildung 1: Grafische Darstellung der mathematischen Berechnungen innerhalb des Menschmodells (Jochems, 2009)

Die Architektur des Menschmodells ist für den Benutzer vollständig visualisiert, so dass dieser die Möglichkeit hat, neue Modelle zu erstellen oder bestehende Modelle weiterzuentwickeln. Darüber hinaus bietet das System die Möglichkeit, die Interaktion mit Umgebungselementen für jedes Mehrkörpersystem zu simulieren.

2.3 Altersdifferenzierte Menschmodelle

Bisher sind nur sehr wenige Ansätze digitaler Menschmodelle bekannt, die für die Simulation des Alterns geeignet sind. Erste auf Alterseffekte ausgelegte Funktionen betreffen nur sehr eingeschränkte Bereiche der Menschmodellierung, wie die Anthropometrie oder das Aussehen (Mühlstedt & Spanner-Ulmer, 2009).

So ermöglicht das RAMSIS Menschmodell, welches hauptsächlich zur ergonomischen Fahrzeugauslegung eingesetzt wird (Seidl, 1994), die Körpermaßtypologie auf die Altersgruppe der 50-60 jährigen einzustellen. Darüber hinaus wurden von Remlinger & Bubb (2008) erste Ansätze zur Integration altersspezifischer Parameter des visuellen Systems (Akkommodationseinschränkungen, Abnahme der Sehschärfe, Tragen einer Gleitsichtbrille) in die Modellierung des Sichtfeldes des RAMSIS Modells verfolgt.

Zukünftig soll im Rahmen des von der EU geförderten Verbundprojektes DHErgo ein Schwerpunkt auf die Weiterentwicklung des RAMSIS Menschmodells hinsichtlich zeitlicher und situativer Leistungsveränderungen, wie bspw. die Veränderung der menschlichen Bewegungen mit zunehmendem Alter sowie die Interaktion des Menschen mit seiner Umwelt gelegt werden.

Eine altersdifferenzierte Modellierung und Analyse biomechanischer Aspekte menschlicher Bewegungen, unter Berücksichtigung altersspezifischer Leistungs- und Beanspruchungsveränderungen, ist bisher nicht möglich. Die Integration altersassoziierter Leistungsveränderungen in die Menschmodellierung beschreibt somit einen wichtigen Ansatz zukünftiger Forschungsarbeiten.

3. Eigene Vorarbeiten

Forschungsprojekt „Altersdifferenzierte Adaption der Mensch-Rechner-Interaktion“ und Dissertation im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1184 „Altersdifferenzierte Arbeitssysteme“

Der im Rahmen des Forschungsprojektes verfolgte Ansatz zielt auf die Unterstützung älterer und alternder Erwerbstätiger bei der Arbeit mit dem Computer ab. Die Anpassung an die individuellen altersbedingten Leistungs- und Beanspruchungsbilder sowie die softwareergonomische Individualisierung stehen dabei im Mittelpunkt. Basierend auf dem Modell der menschlichen Informationsverarbeitung nach Wickens und Holland (1999) wurden altersspezifische Veränderungen analysiert und entsprechenden Adoptionsdimensionen gegenübergestellt.

Ausgehend von dem exemplarischen Anwendungsgebiet des Projektmanagements mit komplexen Netzplänen wurden vier Adoptionsdimensionen 1) Schriftgrößen, 2) Layout von Netzplänen, 3) Visualisierungshilfen zur Navigation in Netzplänen und 4) Eingabegeräte identifiziert und anhand prototypischer Systemkonzepte in empirischen Versuchsreihen mit insgesamt 360 Probanden zwischen 20 und 75 Jahren systematisch hinsichtlich ergonomischer sowie altersspezifischer Aspekte betrachtet. Anhand umfangreicher statistischer Analysen der Bearbeitungszeit, Bearbeitungsgenauigkeit sowie der mentalen Beanspruchung der Benutzer wurden die Adoptionsdimensionen altersdifferenziert bewertet und entsprechende Gestaltungsvorschläge für eine ergonomische Mensch-Rechner-Schnittstelle abgeleitet.

Im Gegensatz zu bisher hauptsächlich heuristisch abgeleiteten altersgerechten Gestaltungsansätzen konnten so basierend auf umfangreichen empirischen Studien statistisch valide Ergebnisse abgeleitet werden und ein wichtiger Beitrag zum Forschungsfeld der altersdifferenzierten Gestaltung der Mensch-Rechner-Schnittstelle geleistet werden.

Forschungsarbeiten im Rahmen des Promotionsvortrag „Biomechanische Modellierung von Körperhaltungen bei der Arbeit mit Tabletop Displays auf Basis eines digitalen Menschmodells“

Ziel bisheriger Forschungsarbeiten im Bereich der Menschmodellierung war die Bestimmung der muskulären Beanspruchung bei der Arbeit mit einem großflächigen berührungssensitiven Bildschirm.

Zur Analyse und Bewertung von Körperhaltungen bei der Arbeit mit einem solchen Bildschirm (Arbeitsbereich) wurde ein zwei-stufiges Vorgehen gewählt. In einem ersten Schritt wurden anhand eines Probandenkollektivs (20-32 Jahre) natürliche Körperhaltungen bei der Arbeit mit dem berührungssensitiven Bildschirm aufgenommen. Die auf Basis von Fotos analysierten Körperhaltungen bieten die Möglichkeit, die vom Menschmodell über inverse Kinematik berechnete Körperhaltung hinsichtlich ihrer „Natürlichkeit“ zu bewerten. In einem zweiten Schritt wurden „typische“ Körperhaltungen bei der Arbeit mit einem großflächigen berührungssensitiven Bildschirm mit Hilfe des AnyBody Menschmodells modelliert und hinsichtlich muskulärer Beanspruchung analysiert. Als Ausgangsmodell wurde ein bereits validiertes sitzendes Menschmodell mit über 500 modellierten Muskeln verwendet und auf das Anwendungsbeispiel angepasst. So wurden Umgebungselemente, wie ein Stuhl und Tisch, in CAD modelliert, visualisiert und in das Modell als Mehrkörper-System integriert. Die bei einer Positionierung des Endeffektors im oberen linken Arbeitsbereich des Displays durch inverse Kinematik entstandene Körperhaltung ist in Abbildung 2 (links) visualisiert. Die nach inverser Dynamik ermittelten und bei der Körperhaltung beanspruchten Muskeln sind in Abbildung 2 (rechts) dargestellt.

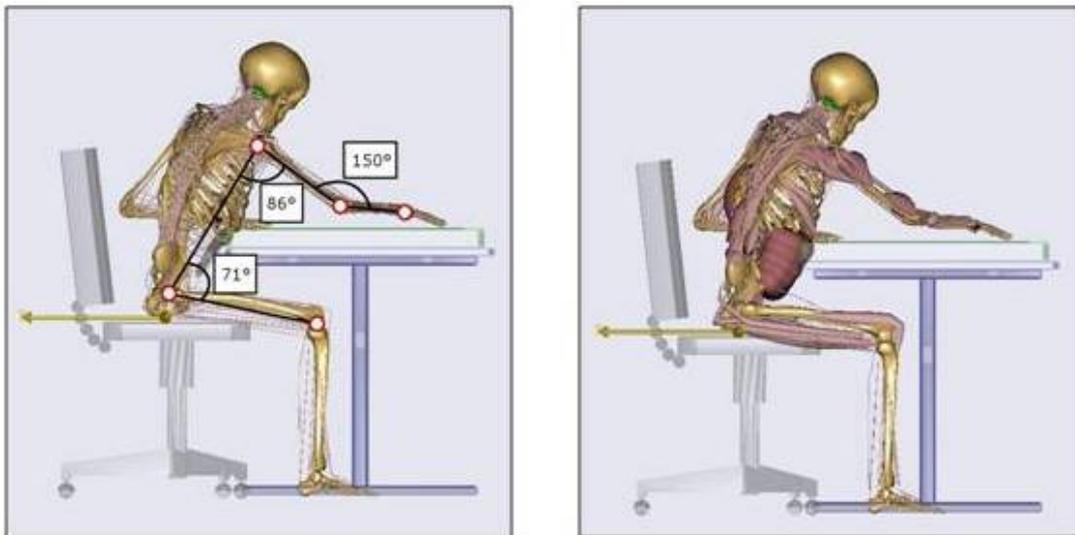


Abbildung 2: Visuelle Darstellung des AnyBody Menschmodells nach der Inversen Kinematik (links) sowie inversen Dynamik (rechts) (Jochems, 2009)

Als Beanspruchungsindikator betrachtet das AnyBody Menschmodell die relative Muskelaktivität. Wobei eine hohe Muskelaktivität als unkomfortabel zu interpretieren ist.

In Abbildung 3 sind die aktivierten Muskeln des rechten Schulter-Armbereichs bei der Ausführung der in Abbildung 2 gezeigten Körperhaltung im Detail dargestellt. Abgetragen ist die Muskelkraft in Bezug zur definierten Maximalkraft des Muskels. Einzelne Muskelkomponenten, die zusammen einen größeren Muskel bilden, sind in gleicher Farbe dargestellt.

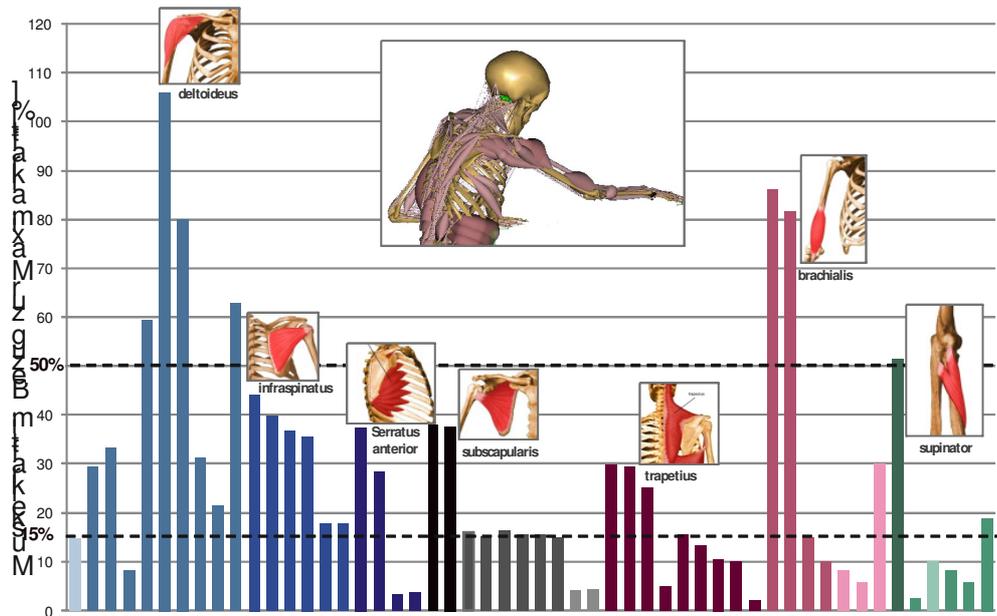


Abbildung 3: Aktivierte Muskeln des rechten Schulter-Armbereichs (Jochems, 2009)

4. Ziele und Arbeitsprogramm

Ziel des hier beschriebenen Forschungsvorhabens ist die Integration altersassoziiert muskulärer Beanspruchungs- und Leistungsparameter in das AnyBody Menschmodell. Anhand eines exemplarischen Anwendungsbeispiels, einer Pointing-Aufgabe an einem großflächigen berührungssensitiven Bildschirm, sollen relevante Parameter identifiziert werden und das Menschmodell basierend auf Erkenntnissen literaturanalytischer sowie empirisch erhobener Daten erweitert und validiert werden.

Der hier als Anwendungsbeispiel gewählte großflächige berührungssensitive Bildschirm ermöglicht durch die Aufhebung der räumlichen Trennung von Informationsausgabe und Informationseingabe die gleichzeitige Informationsdarstellung und erwartungskonforme Manipulation und stellt so insbesondere für ältere Benutzer ein vielversprechendes Eingabegerät bzw. zukünftigen Arbeitsplatz dar. Der großflächige Arbeitsbereich eines berührungssensitiven Bildschirms erfordert jedoch vom Benutzer häufiges „Hinlangen“ und „Greifen“ in körperferne Bereiche und führt zu einer hohen muskulären Beanspruchung infolge einer wiederholten Aktivierung der Halte- und Stützmuskulatur des Schulter-Armsystems.

4.1 Arbeitspakete

In Anknüpfung an die beschriebenen Ziele sowie den durch eigene Vorarbeiten gewonnen Erkenntnissen (siehe 3. Eigene Vorarbeiten) wurde eine Vorgehensweise gewählt, die sich in fünf Arbeitspakete gliedert.

Arbeitspaket 1: Literaturanalytische Ermittlung von Altersverläufen

In einem ersten Schritt sollen altersspezifische Leistungsverläufe (Kraftverläufe, Maximalkraft, physische Veränderungen) literaturanalytisch erhoben und aufbereitet werden. Die so gewonnenen Erkenntnisse können zur Ermittlung typischer zeitlicher Altersverläufe mit Ergebnissen der Chemnitzer Altersdatenbank abgeglichen und vertieft werden. Mit Hilfe dieser Altersdatenbank können Erkenntnisse hinsichtlich der Leistungsfähigkeit verschiedener alterssensibler Funktionen in Form typischer Entwicklungsverläufe abgeleitet werden.

Arbeitspaket 2: Identifikation relevanter Eingangsparameter für das Menschmodell

In einem zweiten Schritt soll das AnyBody Menschmodell hinsichtlich seiner Eingangsparameter zur Modellierung eines „alten/alternden“ AnyBody analysiert werden. Die wesentlichen Parameter (Knochen, Sehnen, Gelenke und Muskeln) sind zu identifizieren und den entsprechenden in Arbeitspakete 1 ermittelten altersspezifischen Veränderungen gegenüberzustellen. Zur exemplarischen Umsetzung sind typische Altersverläufe für die wesentlichen Parameter des Menschmodells zu identifizieren bzw. aufzustellen.

Arbeitspaket 3: Empirische Versuchsreihe

Ziel des dritten Arbeitspaketes ist die empirische Analyse und Bewertung von Körperhaltungen, Bewegungstrajektorien sowie der muskulären Beanspruchung jüngerer und älterer Benutzer. Die erhobenen Daten dienen (1) zur Identifizierung altersdifferenzierter Unterschiede zwischen den späteren Benutzergruppen, (2) zur Parametrisierung des „jungen“ Menschmodells bzw. zur Entwicklung des „alten“ Menschmodells sowie (3) zur Modellvalidierung, d.h. dem Abgleich zwischen empirisch ermittelten Daten und Simulationsergebnissen des Menschmodells.

Körperhaltungen jüngerer und älterer Benutzer werden fotografisch festgehalten und auf Basis ermittelter Gelenkwinkel altersdifferenziert analysiert. Bewegungsbahnen bei der Ausführung der Experimentalaufgabe werden mittels eines Motion Tracking Systems aufgenommen und um EMG Daten zur Analyse der muskulären Beanspruchung erweitert.

Arbeitspaket 4: Entwicklung eines „alten“ AnyBody Menschmodells auf Basis exemplarischer Alterskategorien

Auf Basis der in Arbeitspaket 1 bis Arbeitspaket 3 ermittelten Ergebnisse soll in diesem Arbeitspaket das Menschmodell AnyBody weiterentwickelt bzw. neue Sub-Modelle zur

Abbildung altersspezifischer Leistungsveränderungen konzipiert und entwickelt werden. Aufbauend auf bereits existierenden Modellen für junge Menschen soll ein Modell für einen „alten/alternden“ AnyBody umgesetzt werden. Neben der Weiterentwicklung durch die Integration altersspezifischer Leistungsparameter ist das Modell auf das exemplarische Anwendungsbeispiel, einer Pointing-Aufgabe an einem großflächigen berührungssensitiven Bildschirm, anzupassen.

Arbeitspaket 5: Validierung des „jungen“ und „alten“ AnyBody Menschmodell anhand von Experimentaldaten

Ziel des letzten Arbeitspaketes ist die Validierung des in Arbeitspaket 4 entwickelten Menschmodells eines älteren Benutzers. Dazu sind die durch inverse Kinematik bzw. Dynamik ermittelten Ergebnisse des „alten“ sowie „jungen“ AnyBody Menschmodells den Ergebnisse der empirischen Studie (AP 3) gegenüberzustellen. Abweichungen zwischen den realen und modellbasierten Daten sollen analysiert und das Modell ggf. angepasst werden.

4.2 Zeitplan

Der zur Bearbeitung der Arbeitspakete aufgestellte Zeitplan ist in Abbildung 4 dargestellt.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AP1												
AP2												
AP3												
AP4												
AP5												

Abbildung 4: Zeitplan des beschriebenen Forschungsprojektes

Abgrenzung des hier vorgestellten Forschungsansatzes zu zukünftigen Forschungsarbeiten im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1184

Ziel des Forschungsvorhaben des Instituts für Arbeitswissenschaft der dritten Förderperiode im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1184 ist die ergonomische Analyse und Bewertung der gestenbasierten Informationseingabe mit einem großflächigen berührungssensitiven Bildschirm unter Berücksichtigung der mentalen und muskulären Beanspruchung insbesondere älterer Benutzer. Basierend auf empirischen Untersuchungen mit jüngeren und älteren Probanden werden altersdifferenzierte Gestaltungsvarianten für die Mensch-Rechner Interaktion entwickelt und bewertet.

Dahingegen ist das Ziel des hier beschriebenen Forschungsvorhabens die Integration altersassoziierter physischer Leistungsparameter in das AnyBody Menschmodell zur ergonomischen altersdifferenzierten Arbeitsplatzgestaltung. Als exemplarisches Anwendungsbeispiel wird ebenso wie im SPP 1184 ein berührungssensitiver großflächiger Bildschirm eingesetzt. So können Erkenntnisse, die im Rahmen des Schwerpunktprogramms ermittelt werden, in die Weiterentwicklung des Menschmodells einfließen. Während der Bildschirm im Rahmen des SPP 1184 als Eingabegerät hinsichtlich softwareergonomischer Kriterien betrachtet wird, dient er im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsansatzes als Teil des zu modellierenden Arbeitsplatzes.

5. Literatur

- Bubb, H.: Menschmodelle (digital). Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen, K. Landau, G. Pressel (Hrsg.), 2. vollständig überarbeitete Auflage, 2004
- Chaffin, D.: Improving digital human modeling for proactive ergonomics in design. Ergonomics, Vol. 48, Taylor & Francis, London 2005
- Computer Simulation Technologie: HUGO Human Body Model. Zugriff am 3.12.2009
<http://www.cst.com/Content/Applications/Article/HUGO+Human+Body+Model>
- Digital Human Factors for PLM. Zugriff am 3.12.2009
www.3ds.com/products/delmia/Solutions/human/overview
- Jochems 2009: Biomechanische Analyse von Körperhaltungen bei der Arbeit mit Tabletop Displays auf Basis eines digitalen Menschmodells, Promotionsvortrag Rwth Aachen University, 10.12.2009
- Mühlstedt, J., Spanner-Ulmer, B.: Homo Sapiens: über den Praxiseinsatz digitaler Menschmodelle. Tagungsband 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 2009
- Mühlstedt, J., Kaußler, H., Spanner-Ulmer, B.: Programme in Menschengestalt: Digitale Menschmodelle für Cax- und PLM-Systeme. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 02/2008.
- Rasmussen, J., Dahlquist, J., Damsgaard, M., de Zee, M., Christensen, S.T.: Musculoskeletal Modeling as an Ergonomic design Method. IEA Proceedings, 2003
- Rasmussen, J., Damsgaard, M., Voigt, M.: Muscle recruitment by the min/max criterion – a comparative numerical study. Journal Biomechanics 34 2001
- Rausch, J., Siebertz, K., Christensen, S.T., Rasmussen, J.: Simulation des menschlichen Bewegungsapparates zur Innenraumgestaltung von Fahrzeugen. VDI-Berichte 2006
- Seidl, A.: Das Menschmodell RAMSIS. Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. Dissertation, LfE, TU München, 1994
- Siemens PLM.: Jack and Process Simulate Human. Siemens Product Lifecycle Management Software. Zugriff am 3.12.2009
http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/assembly_planning/jack/index.shtml
- TNO: MADYMO Human Models Manual, Version 6.0, TNO Automotive, Delft, The Netherlands, 2001
- Wickens, C.D.; Hollands, J.G.: Engineering Psychology and Human Performance. Prentice Hall, 1999