

Analyse von Bewegungsmustern an 3D-Eingabegeräten mittels Bewegungsanalyse

Tobias Nowack, Stefan Lutherdt, Peter Kurtz und Hartmut Witte

Schlüsselwörter: Gestaltungsgüte, Bewegungsanalyse, 3D-Eingabe, Nutzertest

Zusammenfassung

An der Technischen Universität Ilmenau (Fachgebiete Arbeitswissenschaft und Biomechatronik) wurde ein Bewegungsanalyzesystem auf seine Eignung zur Untersuchung von 3D-Eingabegeräten überprüft. Daraus resultierende erste Ergebnisse werden mit dieser Arbeit vorgestellt. Die grundsätzliche Eignung des Bewegungsanalyzesystems wurde ebenso festgestellt wie die der verwendeten Testumgebung mit der zugehörigen Software. Dazu wurden die Bewegungsdaten von 35 an den Probanden befestigten Markern und die Logdaten der benutzten 3D-Eingabegeräte (Gamepad, Joystick und Haptor) während der Abarbeitung einer standardisierten Testaufgabe erfasst und ausgewertet.

Durch die Analyse der Logdaten konnte gezeigt werden, dass sich die verwendeten Eingabegeräte bezüglich der Ausführungszeiten einzelner Teilaufgaben unterscheiden. Neben den unterschiedlichen Zeiten zur Abarbeitung der einzelnen Teilaufgaben zeigten die Logfiles auch Unterschiede in den Abweichungen der durchgeführten Bewegungen von der als Ideallinie definierten kürzesten Verbindung zwischen den Start- und Zielkoordinaten der jeweiligen Teilaufgaben. Durch die Bewegungsanalyse konnten bei einigen Probanden spezifische Bewegungsmuster in Abhängigkeit vom genutzten Gerätetyp wiederholt auch nach physischer Belastung nachgewiesen werden. Jedoch konnten solche Muster nicht als gerätespezifisch gleichbleibend über die gesamte Gruppe hinweg gefunden werden.

Einleitung

Obwohl es seit längerem Normen mit Designanforderungen an physikalische Eingabegeräte gibt und diese Geräte in der Entwicklung auch Usability Tests unterzogen werden, fehlt es doch bislang an ausreichend objektiv messbaren und vergleichbaren Gütekriterien für diese Geräte.

Es ist weiterhin bekannt, dass viele kommerziell verfügbare Pseudo-3D-Eingabegeräte nur bedingt den Anforderungen an eine längere Arbeitsaufgabe über den Zeitraum eines üblichen Arbeitstages genügen. Aus diesem Grund wurde mit Untersuchungen begonnen, welche die Eignung von 3D-Eingabegeräten für die jeweilige Arbeitsaufgabe mit Hilfe von Bewegungsanalysen auf der Basis anthropometrischer Daten ermitteln sollen. Dazu sollte in einem ersten Schritt vor allem die Eignung der Testumgebung, der gewählten Testaufgabe und das eingesetzte Bewegungsanalyzesystem untersucht werden.

Versuchsbeschreibung

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wurde in einem Labor realisiert, das eine störungsfreie Versuchsumgebung bietet. Als Bewegungsanalyzesystem wurde das System *ProReflex* der Firma *Qualisys*[®] *AB* verwendet. Dieses System bestand hier aus 6 Infrarotkameras, reflektierenden Infrarotmarkern und einem Messlaptop. Zur Aufzeichnung und ersten Auswertung der Bewegungsdaten wurde die zugehörige Messsoftware *Qualisys Track Manager* (QTM Version

1.9.254) verwendet. Die Abb. 2 zeigt den gesamten Messaufbau mit den verwendeten Hardwarekomponenten.

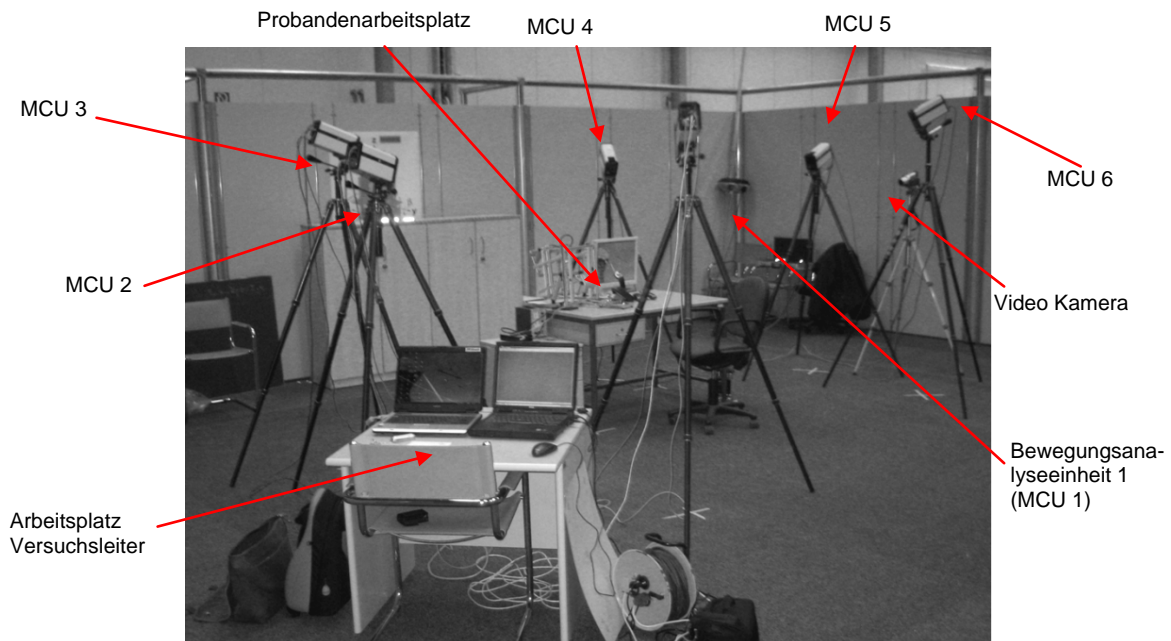


Abb.4: Laboreinrichtung mit Bewegungsanalysesystem Qualisys® ProReflex

Untersuchungsgegenstand

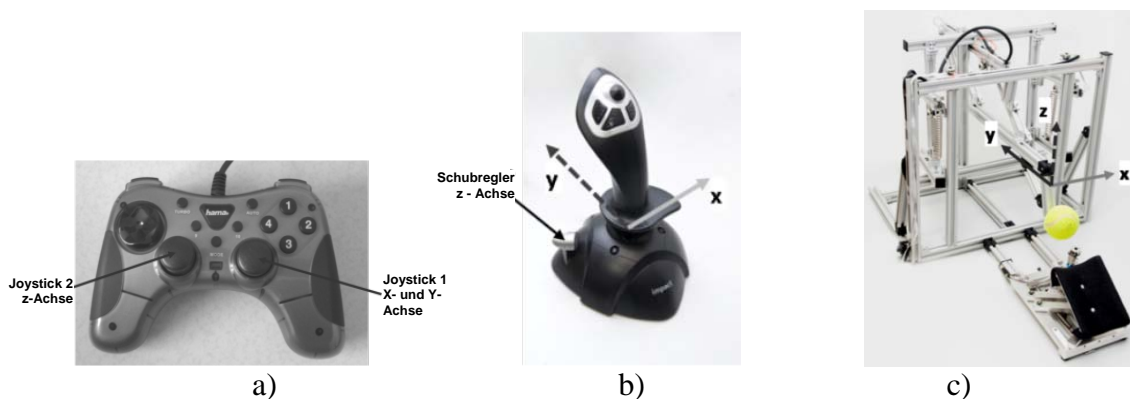


Abb.5: Verwendete Eingabegerät a) Hama PC Gamepad Greystorm, b) Saitek Impact X7-33U (ST30), c) Haptor (TU Ilmenau, Fachgebiet Arbeitswissenschaft)

Neben dem Demonstrator „Haptor“ als echtem 3D-Eingabegerät (Abb.5c) wurden zwei handelsübliche Eingabegeräte untersucht. Diese beiden (Pseudo-)3D-Eingabegeräte waren ein Gamepad und ein Joystick (Abb.5a und b). Diese winkelbasierten Eingabegeräte können gleichzeitige Eingaben jeweils nur in 2 Freiheiten über ein Stellelement aufnehmen, die jeweils fehlende dritte Dimension (hier z – Achse) wird über ein weiteres Stellelement gesteuert.

Das Gamepad wird mit beiden Händen gehalten (bei Wahlfreiheit der Sitz- und Gerätehaltung), wodurch es bei den Probanden zu verschiedenen Arm- und Handhaltungen kam. Dies wurde bei der Auswertung berücksichtigt und lediglich die Bewegungsmuster der zum Steuern eingesetzten Daumen analysiert. Auch für den Joystick war die Handhabung durch das Design vorgegeben. Der Schubregler an der linken Seite bedingt die Bedienung des Joysticks mit der rechten Hand.

Unabhängig von der Händigkeit der Probanden war für alle Probanden festgelegt den Haptor mit der linken Hand zu bedienen. Er war dabei für alle Probanden an der gleichen Position auf dem Tisch fixiert. Damit konnte verhindert werden, dass evtl. durch andere Eingabegeräte geprägte Bewegungsmuster in die Bedienung des Haptors einfließen.

Versuchssoftware und Versuchsaufgaben

Für die Vergleichbarkeit hatten alle Versuchsteilnehmer die gleiche Versuchsaufgabe durchzuführen. Diese bestand darin, nacheinander verschiedene Zielpositionen innerhalb eines durch die Software mittels farbiger Markierungen vorgegeben Würfels anzufahren. Jeder Durchlauf beinhaltet 9 zu erreichende Zielpunkte, beginnend aus der initialen Gerätelage bis zum Abschluss in der Mitte des Würfels. Die Software schreibt während des Versuchsdurchlaufes fortwährend die Koordinaten des Eingabegeräts mit einem Zeitstempel (in ms) in ein Logfile. Wird eine Zielposition erreicht, wird dies in dem Logfile durch die Buchstabenkombination „ze“ (Ziel erreicht) vermerkt. Weiterhin sind zur Unterstützung der Positionswahrnehmung vertikale und horizontale Laufbalken neben der Würfelabbildung angebracht (s. Abb.3).

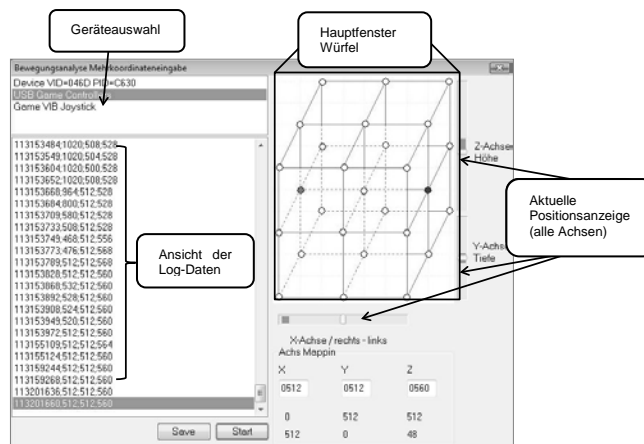


Abb.3: Ansicht der verwendeten Testsoftware

Probandenkollektiv

Die Untersuchung wurde mit 19 Probanden durchgeführt (14 männlich, 5 weiblich). Der Altersdurchschnitt betrug 23,5 Jahre. Bedingt durch die Gestaltung der Eingabegeräte und getroffene Festlegungen (s. Kapitel Untersuchungsgegenstand) wurde zwar die Händigkeit erfasst (zwei der Probanden waren Linkshänder), aber deren Einfluss nicht weiter untersucht. Nach Aussage der Probanden lagen bei niemandem Einschränkungen oder Erkrankungen des Hals-Schulter-Arm-Hand-Systems vor, was ein Ausschlusskriterium für die Teilnahme an den Experimenten dargestellt hätte.

Versuchsbeschreibung



Abb.4: Markerpositionen an Hand (a); Oberkörper und den oberen Extremitäten (b)

Zu Beginn eines jeden Versuchs wurde den Probanden die verwendete Technik erklärt. Danach wurde ihnen die Möglichkeit zur Eingewöhnung gegeben und anthropometrische Daten aufgenommen. Anschließend wurden insgesamt 35 Infrarotlicht reflektierende Marker an Schulter und Arm (22 Marker nach Empfehlung der ISB, Wu 2005), Hand (5 Marker, s. Abb. 4a) und Kopf (3 Marker, s. Abb. 4b) befestigt.

Die eigentlichen Versuche wurden zweimal in der Reihenfolge Joystick, Gamepad, Haptor durchgeführt. Abschließend hatten die Probanden einen Fragebogen mit ihren subjektiven Eindrücken zu den verwendeten Geräten auszufüllen sowie eine Einschätzung über ihren Trainingszustand mit 3D-Geräten abzugeben.

Ziele, Hypothesen und Methoden

Im Vordergrund der Untersuchungen stand die Überprüfung des Experimentalsetups und der eingesetzten Software hinsichtlich ihrer Eignung zur Untersuchung von 3D-Eingabegeräten mittels Bewegungsanalyse. Dazu sollten folgende Hypothesen überprüft werden:

9. Die Ausführungszeiten der jeweiligen Teilaufgaben unterscheiden sich bei den untersuchten Geräten.
10. Bei jedem dieser Eingabegeräte sind bei allen Probanden gleichartige charakteristische Bewegungsmuster (inter-individuelle Muster) zu erkennen.
11. Bei jedem Probanden sind jeweils vom Gerät abhängige gleichartige Bewegungsmuster zu erkennen (intra-individuelle Muster).

Um diese Hypothesen zu überprüfen wurden mit dem Bewegungsanalysesystem (QTM) die Daten der Versuchsdurchläufe gesammelt und parallel die Logfiles der Eingabegeräte aufgezeichnet. Diese Daten wurden untereinander verglichen sowie die als relevant ermittelten QTM-Daten (Ellbogen, Handgelenk, Finger sowie Akromium und Wirbel C7) mit Filterfunktionen unter MATLAB bearbeitet (Andrada 2008). Anschließend wurden deren Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen bzw. die in den Gelenken genutzten Winkelbereiche ebenfalls mit MATLAB-Funktionen berechnet.

Ergebnisse

Analyse der Gerätekoordinaten

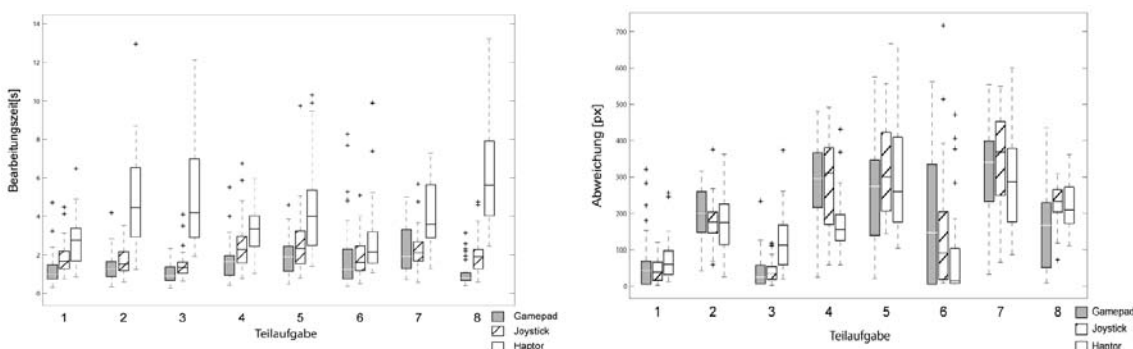


Abb.5: Vergleich der Teilaufgaben: a) Ausführungszeit, b) Abweichung von der Ideallinie

Aus der Abb. 5a ist zu erkennen, dass der Haptor in allen Teilaufgaben am langsamsten ist. Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse ist die fehlende Vertrautheit der Probanden mit dem Haptor bei gleichzeitiger Nutzung der untrainierten Hand (Resultat: vorsichtigerer Umgang, was eine Verlängerung der Zeit bedingt).

Zusätzlich zur ursprünglich geplanten Überprüfung der Hypothesen anhand der Bewegungsanalysedaten (QTM-Daten) brachte die Untersuchung der Gerätelogfiles weitere interessante Ergebnisse. Das betrifft vor allem die Abweichungen von der als Ideallinie für den Test definierten kürzesten Verbindungslinie zwischen den Anfangs- und Endkoordinaten der jeweiligen Teilaufgabe. Hier sind die Abweichungen von der Ideallinie beim Haptor im Mittel der drei Geräte am geringsten (s. Abb.5b). Dabei kommt für den Haptor zum Tragen, dass er als einziges echtes 3D-Eingabegerät eine direkte Überlagerung der einzelnen Teilbewegungen ermöglicht.

Analyse der QTM[®]-Daten

Bei keinem der Probanden konnte eine relevante Bewegung des Oberkörpers nachgewiesen werden (Beschleunigungsanalyse des Markers C7). Somit wurde diese im Weiteren nicht mehr untersucht, gleiches gilt für die Kopfbewegungen. Die Eingabebewegungen beschränken sich somit auf das Hand-Arm-System, wobei sich hierbei die ergebenden Muster (Koordinaten der einzelnen Raumrichtungen als Funktion der Zeit) sowohl zwischen den verschiedenen Eingabegeräten als auch den einzelnen Probanden deutlich unterscheiden. Im Weiteren sind zur Verdeutlichung nur jene Komponenten der Bewegung dargestellt, die den größten Anteil an der Eingabebewegung beinhalteten bzw. deren Analyse die deutlichsten Muster ergab.

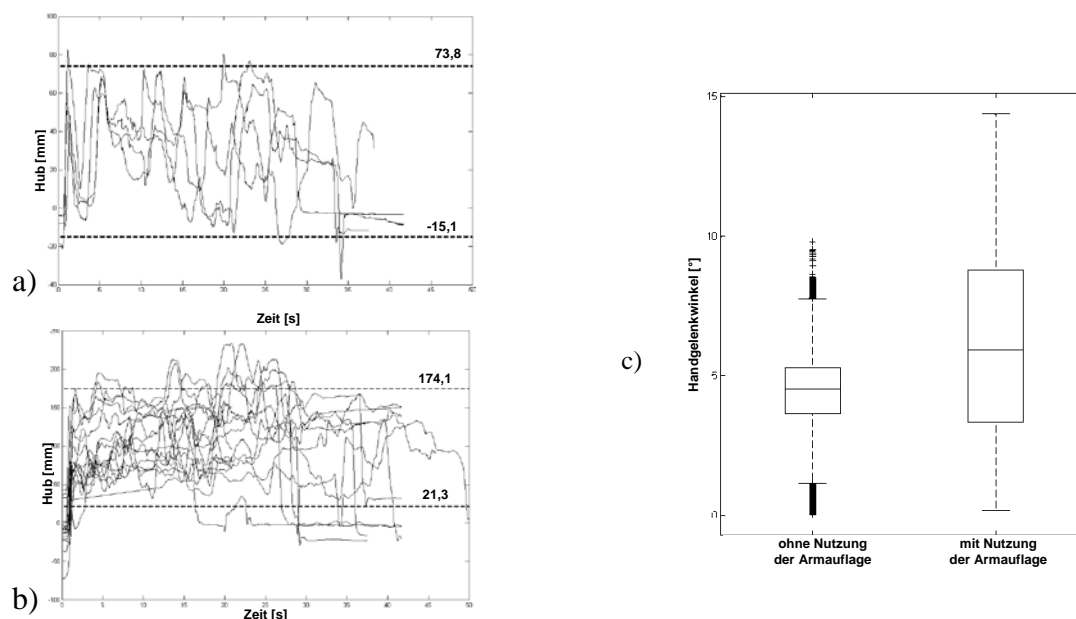


Abb.6: (a) z-Komponente Ellbogenhub bei Nutzung der Handauflage, (b) z-Komponente des Ellbogenhub ohne Nutzung der Handauflage, (c) Vergleich der Handgelenkwinkel

Für die Eingabe am Haptor sind diese relevanten Anteile die z-Komponenten des Ellbogens und der Handgelenkwinkel. Die Bewegungen von Ober- und Unterarm erzeugen bei Eingaben am Haptor im Ellbogen Bewegungshübe zwischen 88 mm (bei Verwendung der Armauflage, Abb.6a) und 153 mm (ohne Auflage, Abb.6b). Dagegen war im Handgelenk bei Nutzung der Armauflage ein größerer Winkelbereich zu beobachten (fast 15°) als ohne Armauflage (< 10°). Diese Ergebnisse zeigen, dass bei örtlicher Fixation des Hand-Arm-Systems durch eine Armauflage die Stellbewegung zur Bedienung des Haptors über eine größere Auslenkung im Handgelenk realisiert werden muss.

Am Gamepad wurde aufgrund des beidhändigen Haltens ausschließlich die Daumenbewegung untersucht, wobei den x-Komponenten der Relativbewegung die größte Bedeutung beizumessen ist. Für diese konnten bei mehreren Probanden Bewegungsmuster identifiziert

werden, die jeweils für zwei Versuche mit einem zeitlichen Abstand und dazwischenliegender physischer Belastung (statische Haltearbeit und dynamisches Drücken einer Federhantel) ähnliche Verläufe zeigten (s. Abb.7). Diese intra-individuell gleichbleibenden und damit stabilen Muster besitzen aber keine über die gesamte Gruppe reichende Gültigkeit. Die Abweichungen in den Absolutwerten der x-Komponente lassen sich mit der nicht fixen Position des Gamepads im Raum erklären. Die Unterschiede im zeitlichen Verlauf bedingen sich aus dem nicht reglementierten zeitlichen Ablauf des Experiments.

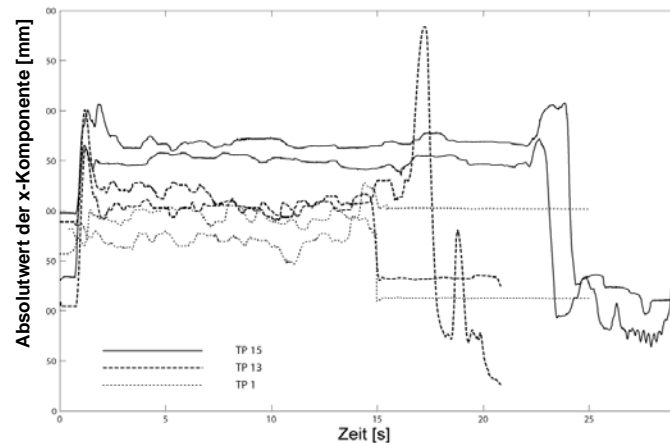


Abb.7: Intra-individuelle Muster von 3 Probanden (Gamepad, x-Komponente rechter Daumen)

Diskussion und Ausblick

Die Durchführung und Auswertung der Versuche hat die grundsätzliche Eignung des experimentellen Aufbaus und insbesondere des Bewegungsanalysesystems zur Untersuchung von 3D-Eingabegeräten gezeigt. Damit konnte das wesentliche Ziel der Experimente erreicht werden. Es konnten Bewegungsmuster sowohl aus den Logdaten der Eingabegeräte als auch aus den Bewegungsdaten ermittelt werden. Die erste Hypothese konnte sicher bestätigt werden. Es ließen sich deutliche Unterschiede in den Ausführungszeiten bei den untersuchten Eingabegeräten nachweisen.

Die Untersuchungen der Bewegungsdaten konnte keine über die gesamte Gruppe gleichbleibende oder ähnliche (inter-individuelle) Muster für die jeweiligen Eingabegeräte belegen, wodurch zweite die Hypothese vorerst abgelehnt werden muss. Die für einige Probanden beobachteten geräte- und probandenspezifisch über mehrere Versuche gleichbleibenden (intra-individuellen) Muster lassen noch keine Verallgemeinerung zu, eine Annahme der dritten Hypothese nach weiteren Untersuchungen erscheint aber als wahrscheinlich.

Im Rahmen der bisher durchgeführten Analysen konnten viele Fragen nur ansatzweise geklärt werden. Untersuchungen an Eingabegeräten scheinen vielfach durch verschiedenste Einflussfaktoren überformt zu sein. Die menschliche Informationsverarbeitung wird von verschiedenen Autoren als Regelkreis beschrieben (u.a. Johannsen 1993). Ein Einfluss der Vorerfahrung bei der Aufgabenerkennung und damit Ausführung überformt den Versuch ebenfalls und sollte nach Möglichkeit durch die Versuchsaufgabe kompensiert werden oder aus den Daten eliminiert werden. Außerdem spielen noch zusätzlich Aspekte der Händigkeit eine Rolle, die bisher in den Auswertungen ebenfalls nicht berücksichtigt wurden. Damit und mit der ebenfalls noch fehlenden Verknüpfung aus Bewegungsdaten und anthropometrischen Daten sind auch die Aufgaben für weitere Arbeiten abgesteckt.

Literatur

- Andrada, E. (2008): *A new model of the human trunk mechanics in walking*. Universitätsverlag: Ilmenau.
- Johannsen, G. (1993) *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer.
- Wu, G., van der Helm, F.C., Veeger, H.E., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A.R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F.W. & Buchholz, B. (2005). *ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand*. J Biomech 38, S. 981ff