

Erfassung der Bewegungstrajektorien und der Präzision im dreidimensionalen Greifraum

André KAISER, Max BERNHAGEN, Jonas TREZL, Toni BARTZKE, Toni LORENZ,
Frank DITTRICH, Angelika C. BULLINGER

*Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz
Erfenschlager Straße 73, D-09125 Chemnitz*

Kurzfassung: Bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen ist die Auslegung des Greifraums von besonderer Bedeutung. Neben der Anthropometrie gibt es hierfür weitere Einflussgrößen, die in unterschiedlicher Qualität in Literatur, Richtlinien, Normen oder in Methoden zur Arbeitsplanung zu finden sind. Dazu zählen beispielsweise das Blickfeld, menschliche Aktionskräfte oder die Präzision manueller Handlungen. Gerade letzteres ist bisher wenig beschrieben, könnte jedoch insbesondere bei der Simulation menschlicher Bewegungen eine wichtige Rolle spielen. Im Rahmen des Beitrags wird ein Versuch beschrieben, in dem mittels einer Virtual-Reality-Brille Zielpunkte im dreidimensionalen Greifraum visualisiert werden. Die Bewegungen des Nutzers zur Erreichung der Zielpunkte werden mittels Motion-Capturing-System aufgezeichnet. So ist es möglich, die Bewegungsbahnen mit deren Varianz auszuwerten sowie die Bewegungsstrategien zur Zielpunkterreichung mit gängigen Strategien zu vergleichen. Im Fokus des Versuches steht zudem die Beschreibung der Präzision in Abhängigkeit der Position.

Schlüsselwörter: Greifraum, menschliche Präzision, VR, Motion Capturing

1. Einleitung

Bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen ist die Auslegung des Greifraums von besonderer Bedeutung. Neben der Anthropometrie gibt es hierfür weitere Einflussgrößen, die in unterschiedlicher Qualität in Literatur, Richtlinien, Normen oder in Methoden zur Arbeitsplanung zu finden sind. Dazu zählen beispielsweise das Blickfeld, menschliche Aktionskräfte oder die Präzision manueller Handlungen (DIN 15996, 2008; DIN 33411-4, 1987; Schwarz, 1997; Kaiser, 2018). Gerade letzteres ist bisher wenig beschrieben, könnte jedoch insbesondere bei der Simulation menschlicher Bewegungen eine wichtige Rolle spielen. Rüffert, Mühlstedt und Bullinger (2015) untersuchten bereits die Präzision für das manuelle Erreichen spezifischer Positionen auf einer 2D-Ebene mittels eines Touchscreens. Moderne Anzeigetechnologien wie Head-Mounted-Displays (HMD) ermöglichen es, dieses Vorgehen in den Raum zu übertragen und dreidimensional zu untersuchen.

Im Rahmen des Beitrags wird ein Versuch beschrieben, in dem mittels eines Virtual-Reality (VR) -HMD Zielpunkte im dreidimensionalen Greifraum visualisiert werden. Die Bewegungen des Nutzers zur Erreichung der Zielpunkte werden mittels Motion-Capturing-System aufgezeichnet. So ist es möglich, die Bewegungsbahnen mit deren Varianz auszuwerten sowie die Bewegungsstrategien zur Zielpunkterrei-

chung mit gängigen Strategien zu vergleichen. Im Fokus der Untersuchung steht zudem die Beschreibung der Präzision in Abhängigkeit der Position. Als wesentliches Ergebnis soll eine Angabe der Abweichung vom Zielpunkt in Abhängigkeit der relativen Position zum Menschen entstehen – einerseits für die Bewegung zum Ziel und andererseits für das kurze Halten der Zielposition. Die Daten können anschließend im dreidimensionalen Raum visualisiert und als Planungstool bereitgestellt werden. Weiterführend können sie zur Verbesserung der Interaktion im 3D-Raum genutzt werden sowie für die menschenähnliche Bewegungssimulation Anwendung finden. Der Beitrag beschreibt den Versuchsaufbau und gibt einen Einblick, wie mittels VR-Visualisierungen Umgebungen für Ergonomieuntersuchungen genutzt werden können.

2. Stand der Wissenschaft

Als Greifraum wird häufig lediglich der anthropometrische Greifraum verstanden. Er wird durch die Körpermaße und Beweglichkeit des Menschen bestimmt. Der Begriff Wirkbereich oder Wirkraum fungiert auch als Überbegriff des Greifraums (Merkel & Schmauder, 2012). Er beschreibt den Bereich, in dem Gegenstände mit den Händen und Füßen manipuliert werden können.

Um innerhalb des anthropometrischen Greifraums eine ergonomische Auslegung von Arbeitsmitteln oder Bedienelementen zu gestalten, müssen noch weitere Parameter beachtet werden. Abbildung 1 zeigt mit den Bewegungszeiten, Aktionskräften und der Präzision, einen Auszug, wobei auch das Sichtfeld oder Bewegungsmuster als weitere Parameter genannt werden müssen.

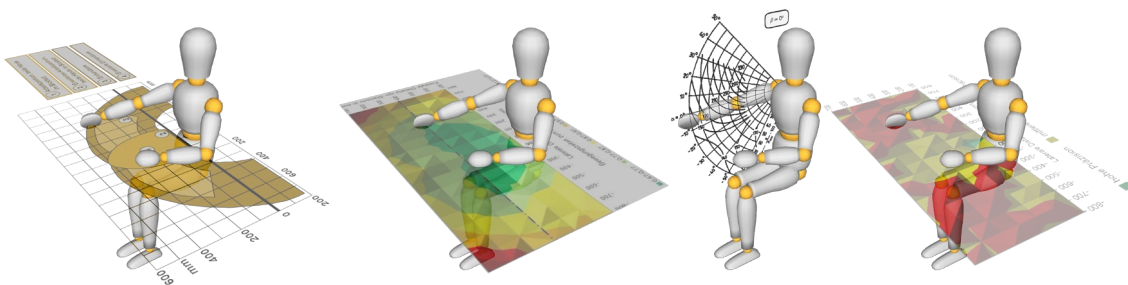


Abbildung 1: Wichtige Einflussfaktoren im Greifraum von links nach rechts: Anthropometrie mit Ein- und Zweihandzonen, Bewegungszeiten (Rüffert, 2014), Aktionskräfte (DIN EN 33411-4, 1987), Präzision (Rüffert et al., 2015)

Zur Berücksichtigung der Bewegungszeiten ist neben den Systemen vorbestimmter Zeiten das Fitts'Gesetz (Fitts, 1954) zu nennen. Es beschreibt die benötigte Zeit zum Zielobjekt als Funktion der Distanz und dessen Größe. Damit beinhaltet es inhärent bereits Aspekte der Bewegungspräzision. Der Präzision wiederum werden in der Sportwissenschaft die Begriffe Zielgenauigkeit und Ablaufgenauigkeit untergeordnet (Meinel & Schnabel, 2007). Dabei wird die Abweichung von angestrebten und erreichten räumlichen und zeitlichen Zielpunkten oder Bewegungsverläufen verstanden. Zu objektivieren ist die Bewegungspräzision durch direkte Messung der Differenz zwischen dem geplanten oder vorgegebenen Sollwert und dem Istwert (Meinel & Schnabel, 2007).

Rüffert (2014) beschreibt zur Messung der Präzision einen Versuch bei dem Probanden auf einem Touchscreen vor dem Körper, ausgehend von einem Startpunkt, verschiedene Positionen erreichen sollen. Dabei misst er, bereinigt um einen Parallaxe-Effekt, die Entfernung vom Zielwert. Abbildung 2 zeigt das verwendete Versuchsdesign und die daraus resultierenden Ergebnisse, die auf einen Einfluss der an der Bewegung beteiligten Gelenke hindeuten. Im Bereich hoher Präzision wird die Bewegung tendenziell aus dem Handgelenk generiert. Im Bereich mittlerer Präzision aus Hand- und Ellenbogengelenk und im Bereich der niedrigen Präzision sind teilweise Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk involviert, wodurch eine weitaus höhere Koordinationsleistung benötigt wird.

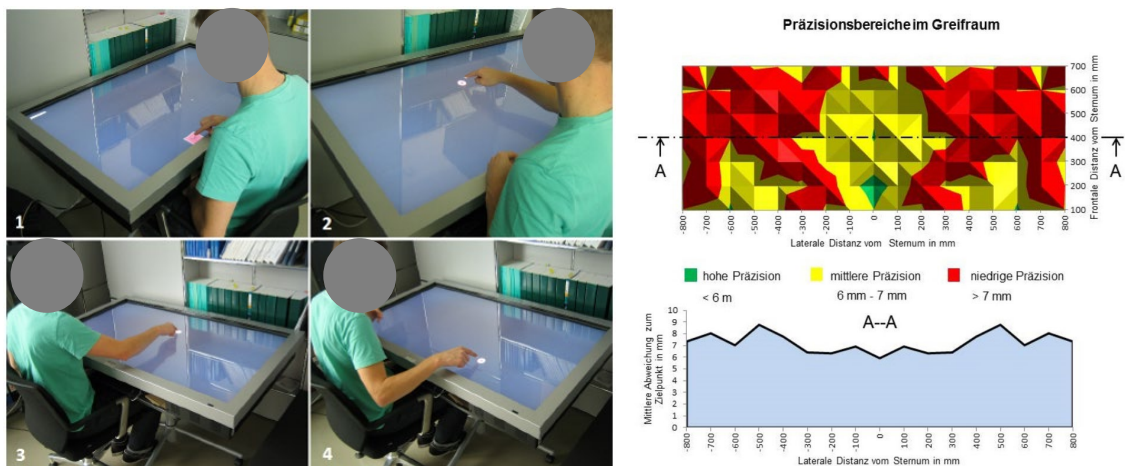


Abbildung 2: Versuchsablauf und Ergebnisse des Präzisionsversuchs auf 2D-Flächen nach Rüffert (2014).

Auch wenn der durchgeführte Versuch auf diesen Zusammenhang hindeutet, konnte ein Zusammenhang nicht nachgewiesen werden. Außerdem waren die Probanden in ihren Bewegungen eingeschränkt, da sie die Oberfläche des Touchscreens nicht aus beliebiger Richtung erreichen konnten. Diese Einschränkungen sollen in der folgenden Untersuchung behoben werden.

3. Methode

3.1 Versuchsaufbau

Zur Umsetzung des Versuchs wurde ein Hard- und Softwaresystem geschaffen, welches in Echtzeit Daten synchronisiert und die Koordinatensysteme von VR- sowie Motion-Capturing-System vereint. Hardwareseitig wird ein optisches Motion-Capturing-System des Unternehmens OptiTrack genutzt, welches mittels eines Markeranzugs Positionsdaten generiert. Zur Simulation verschiedener Arbeitsumwelten und Realisierung der Präzisionsgeste kam das Headset HTC Vive Pro zum Einsatz. Beide Systeme nutzen ein optisches Tracking, welches an einem Schienensystem (4 x 6 m) unter der Labordecke befestigt wurde. Eine Interferenz beider Systeme wurde zudem getestet und konnte nicht nachgewiesen werden. Abbildung 3 zeigt den Versuchsaufbau.

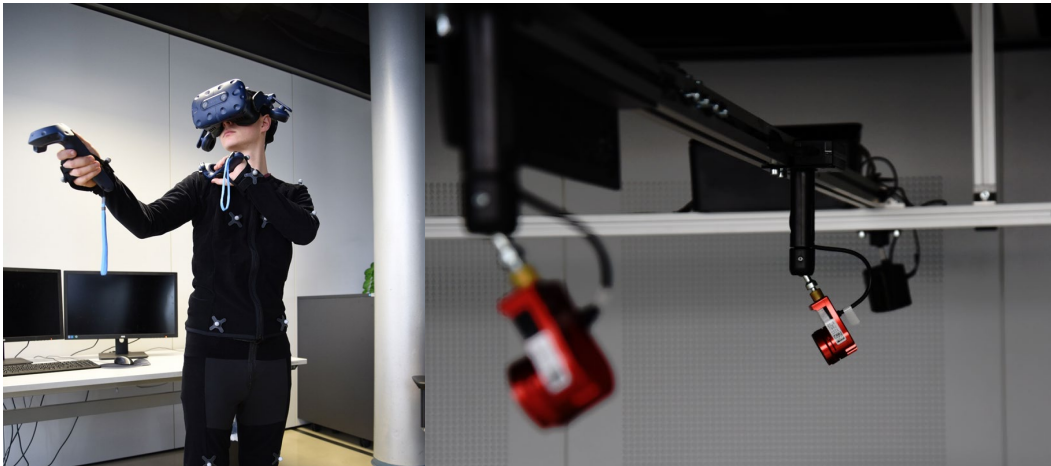


Abbildung 3: Proband im Vorversuch. VR-Darstellung mittels HTC Vive Pro und Aufnahme der Gelenkwinkel mittels OptiTrack Flex13 Motion Capturing sowie Deckenbefestigung im VR-Labor.

Weiterhin wird die Software Motive von OptiTrack genutzt, um das Motion Capturing-System zu kalibrieren und alle Markerpunkte an das Softwareprogramm Unity zu übertragen. Unity dient als Entwicklungsumgebung für die zentrale Anwendung. Neben der Synchronisation der Motion-Capturing-Daten mit der Position der Handcontroller, wird mittels der Anwendung die virtuelle Umgebung generiert, in welcher der Proband virtuelle Kugeln zur Präzisionsmessung erreichen soll. Zur Messung der Präzision wird der Unterschied zwischen Ziel-Position der erzeugten Kugeln und Ist-Position des Kontrollers erfasst.

3.2 Versuchsablauf

Vor Beginn des Versuchs wird der Proband informiert die Zielpunkte „möglichst schnell und präzise zu erreichen“, wodurch zwar eine Mischung der Prioritäten stattfindet, jedoch eine Interaktion mit einem unbedenklichen Objekt im Greifraum z. B. bei einer Arbeitssituation simuliert werden soll. Anschließend durchläuft er ein kurzes Tutorial, um die Abläufe des Versuchs kennenzulernen.

Dabei wird der Controller in einen unsichtbaren Startbereich geführt, der durch einen hängenden Arm erreicht wird. Innerhalb des Startbereichs wird durch Betätigung einer Kontrollertaste ein Zielpunkt erzeugt, der mit einer Markierung im Controller erreicht werden soll. Diese Zielposition wird 3 Sekunden gehalten und verschwindet anschließend. Der Arm wird dann erneut in den Startbereich geführt und der Ablauf beginnt von vorn.

Die Zielpunkte befinden sich in den relativen Abständen von 0,8, 0,6 und 0,4 fach der Armlänge, ausgehend vom Schulterdrehpunkt. Zusätzlich werden alle Punkte in vier Höhenwinkeln mit je 30° Drehung, sowie in 5 Seitenwinkeln ebenso mit je 30° Abständen ausgehend von der Horizontalen in der Schulterebene erzeugt. Abbildung 4 zeigt die Position der Zielpunkte relativ zur Schulter. Somit ergeben sich 60 Zielpositionen. Die Reihenfolge der Zielpunkte ist randomisiert.

Als Ausgabedaten werden insbesondere die Gelenkwinkel von Handgelenk, Ellenbogen und Schulter sowie die Abweichung von Ziel- zur Ist-Position über den Zeitverlauf betrachtet.

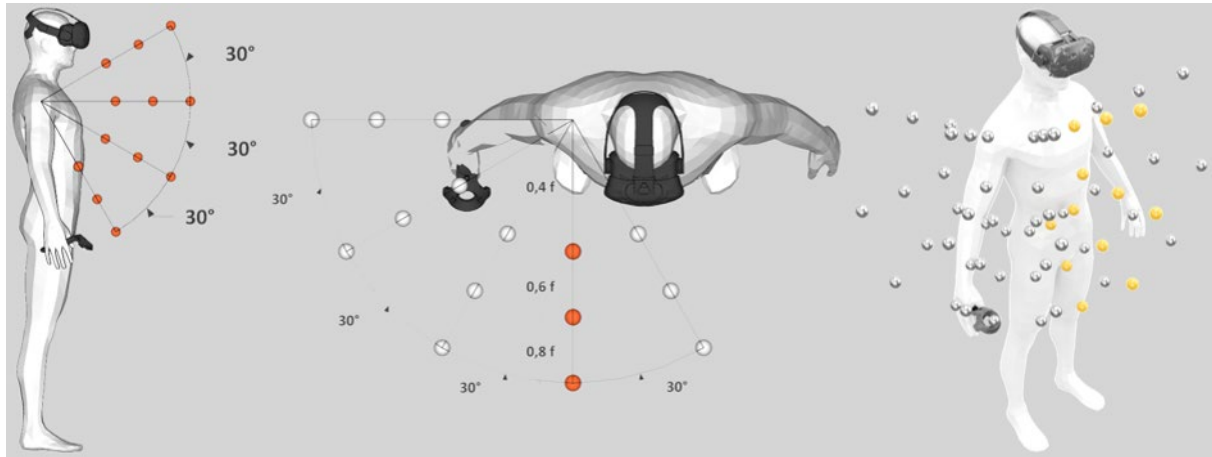


Abbildung 4: Zielpunkte in Relation zur Schulterposition.

4. Erwartete Ergebnisse und Zusammenfassung

Die erwarteten Ergebnisse sollen Unterschiede in der Genauigkeit der Zielerreichung, sowie des Haltens der Zielposition aufzeigen und innerhalb des Greifraums visualisieren. Außerdem sollen die Strategien zur Zielerreichung insbesondere bei der Bewegung der betrachteten Gelenke untersucht und beschrieben werden.

Die Kenntnisse können beispielsweise bei der Auslösung von Interaktionen im 3D-Greifraum u.a. in VR-Anwendungen eingesetzt werden. Außerdem können sie als Planungsinstrument visualisiert werden, um präzise Tätigkeiten besser planbar zu machen. Die abgeleiteten Bewegungsstrategien sind weiterführend zur Bewegungsprognose verwendbar.

5. Literatur

- DIN 33411-4 (1987) Körperkräfte des Menschen. Maximale statische Aktionskräfte (Isodynem). DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 15996 (2008) Bild- und Tonbearbeitung im Film-, Video- und Rundfunkbetrieben - Grundsätze und Festlegungen für den Arbeitsplatz. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin: Beuth Verlag.
- Fitts PM (1954) The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling. Journal of Experimental Psychology; General. 1992. Vol. 121. No. 3, 262-269.
- Kaiser A (2018) Modellierung maximaler menschlicher Muskelmomente auf Basis digitaler Menschmodelle. Chemnitz: Universitätsverlag Chemnitz. ISBN 978-3-96100-048-7
- Meinel K, Schnabel G (2007) Bewegungslehre Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Merkel T, Schmauder M (2012) Ergonomisch und normgerecht konstruieren. Handlungsleitfaden zur Anwendung von Richtlinien und Normen in der ergonomischen Produktgestaltung. Berlin-Wien-Zürich: Beuth Verlag GmbH.
- Rüffert D (2014) Untersuchung der Präzision manueller Handlungen im Greifraum. Masterarbeit. TU Chemnitz.
- Rüffert D, Mühlstedt J, Bullinger AC (2015) Ergonomie im Griff?. Bewegungsstudie zu Präzision im Greifraum. VERANTWORTUNG FÜR DIE ARBEIT DER ZUKUNFT, Tagungsband GfA-Frühjahrskongress 2015. 25.02.2015 bis 27.02.2015, Karlsruhe
- Schwarz W (1997) 3D-Video-Belastungsanalyse: Ein neuer Ansatz zur Kraft- und Haltungsanalyse. VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 17. Biotechnik/Medizintechnik, Nr. 166. Düsseldorf: VDI-Verlag. ISBN 3-18-316617-8



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de