

# Ergonomie im Griff? – Bewegungsstudie zu Präzision im Greifraum

Danny RÜFFERT, Jens MÜHLSTEDT, Angelika C. BULLINGER

*Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme  
Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz  
D-09107 Chemnitz*

**Kurzfassung:** Bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen stellt der Greifraum ein wichtiges Themenfeld dar. Dabei wird sich vor allem an anthropometrischen Daten orientiert. Durch den vermehrten Einsatz von Touch-Bedienelementen wird der qualitative Parameter Präzision zunehmend relevanter. Dazu wird in dieser Arbeit ein Versuchsdesign vorgestellt, mit dem sich dieser quantifizieren lässt. In der Laborstudie werden zielgerichtete Hinlangbewegungen mit Hilfe eines Touchscreen-Monitors untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass direkt vor dem Körper präzisere Bewegungen ausgeführt werden können als in anderen Bereichen. Des Weiteren konnte ein Bezug zur Händigkeit hergestellt werden.

**Schlüsselwörter:** Greifraum, Präzision, zielgerichtete Hinlangbewegung, Ergonomie, Touchscreen

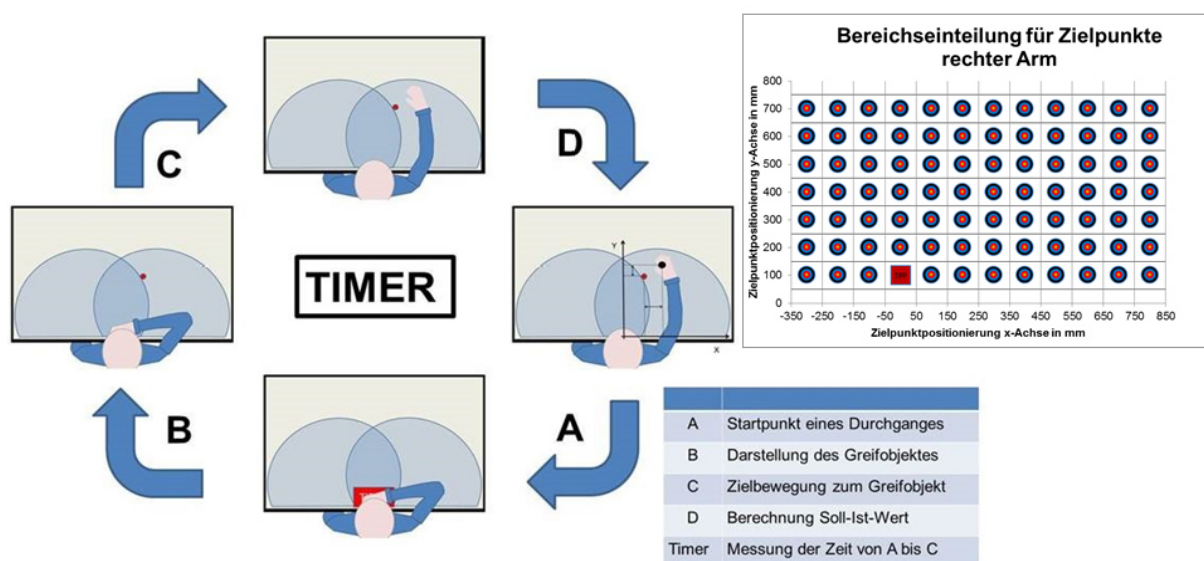
## 1. Einleitung

Lassen sich alle Bereiche im Greifraum, unter der Voraussetzung einer maximalen Bewegungsgeschwindigkeit, mit gleicher Präzision erreichen? Eine Recherche zeigt, dass sich diese Frage mit vorhandener Literatur nicht beantworten lässt. Vielmehr wurden in den vergangenen Jahren Parameter wie Anthropometrie, Körperkräfte und Visualität in den Fokus der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung (Bullinger 1994; Merkel & Schmauder 2012; Schmidtke 1993) gestellt und bereits in Normungen aufgenommen (z.B. DIN 33402 2008; DIN 33411 1982). Für die Präzision von Bewegungen im Greifraum fehlen etwaige Richtlinien, obwohl dies in der ergonomischen Produkt- und Prozessgestaltung einer hohen Bedeutung zukommt. Gerade Touch-Bedienelementen als Schnittstelle des Mensch-Maschine-Systems setzen eine präzise Eingabe des Anwenders voraus. Die Erkenntnisse der Studie sollen die bisherigen Richtlinien um einen weiteren Parameter erweitern und sind vor allem an Produkt- und Prozessgestalter gerichtet. Daher ist das Ziel dieser Studie, Untersuchungen der Präzision manueller Handlungen im Greifraum vorzunehmen, um als Ergebnis mögliche Vorzugsbereiche zu ermitteln.

## 2. Versuchsdesign der Laborstudie

Die Präzision einer Bewegung lässt sich nach Meinel und Schnabel (2007) als direkte Messung der Differenz zwischen einem vorgegebenen Sollwert und dem Istwert beschreiben. In Anlehnung an die Studie von Schmidtke (1958) zum Einfluss der Bewegungsgeschwindigkeit auf die Bewegungsgenauigkeit wird sich in dieser Arbeit mit der Grundbewegung Hinlangen auseinandergesetzt. Enden soll diese mit

einem 1-Finger-Kontaktgriff auf einen definierten Zielpunkt. Der Startpunkt der Bewegung soll während des Versuches nicht in seiner Lage variiert werden, wogegen die Koordinaten der Zielpunkte einer randomisierten Abfolge unterliegen. Zum Darstellen eines Sollwertes in Form einer Zielscheibe und zum Messen des Istwertes des Kontaktgriffs wurde ein Touchscreen-Monitor mit spezieller Software ausgestattet, welche die beschriebenen Anforderungen bereitstellt. Im Verlauf des Versuchs sollten somit 84 Zielpunkte kontaktiert werden, wobei stets nach jeder einzelnen Hinlangsbewegung zum Ausgangspunkt in Form eines weiteren Buttons zurückgekehrt werden musste. Erst durch dessen Bestätigung wurde ein neuer Zielpunkt visualisiert. Die Festlegung auf 84 Zielpunkte hatte zwei Gründe zum einen wäre bei einer geringeren Anzahl die Auflösung des Ergebnisses zu gering gewesen und zum anderen bestätigten Vorversuche eine subjektive Ermüdung der Muskulatur bei einer höheren Anzahl, welches möglicherweise die Ergebnisse verfälscht hätte. In Abbildung 1 ist der Ablauf schematisch dargestellt.



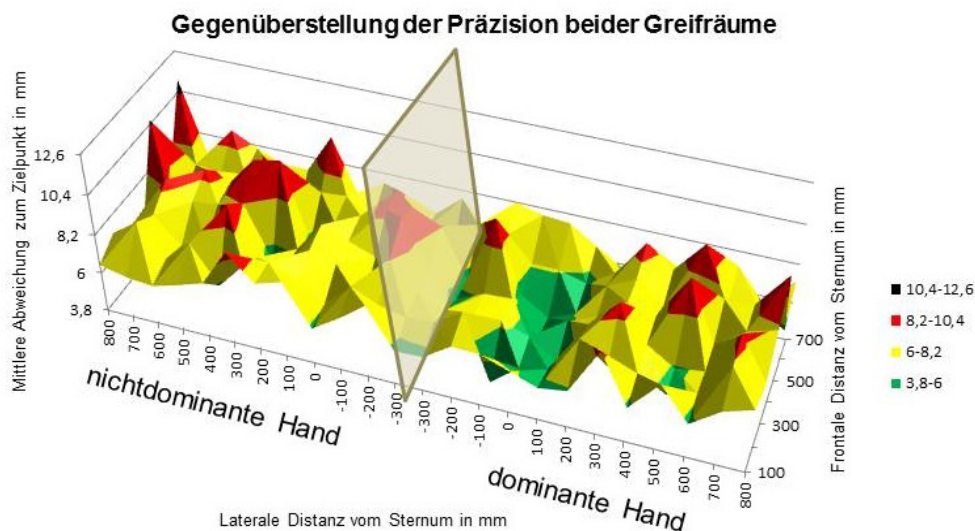
**Abbildung 1:** Schema des Versuchs mit Bereichseinteilung der Zielpunkte für den rechten Arm

Ein weiterer elementarer Punkt der Versuchsdurchführung betrifft die Bewegungsgeschwindigkeit. Im Hinblick auf Fitts Gesetz (Fitts, 1954) ist durch eine geringe Bewegungsgeschwindigkeit eine hohe Präzision möglich. Das heißt, die Präzisionsleistung lässt sich durch willkürliche Verminderung der Bewegungsgeschwindigkeit erhöhen. Um dies zu vermeiden, soll die Bewegungsausführung zu einem Zielpunkt mit maximaler Geschwindigkeit erfolgen. Um diese maximale Geschwindigkeit zu erreichen, wird der Versuch den Probanden als Reaktionstest vorgestellt. Damit kann das Verhalten der Präzision in Abhängigkeit von Lagekoordinaten der Zielpunkte untersucht werden, ohne durch den Einfluss einer willkürlichen Regulierung der Bewegungsgeschwindigkeit beeinflusst zu werden. Am Versuch nahmen 15 Probanden (12 ♂, 3 ♀) teil. Das Durchschnittsalter betrug 28 Jahre und die durchschnittliche Körpergröße lag bei 180 cm (SD: 5,3). Das Probandenkollektiv hatte keinerlei orthopädische Probleme in den an der Bewegung beteiligten Gelenken, infolgedessen keine pathologische Einschränkung des Bewegungsradius vorliegt. Ziel war es 84 definierte Zielpunkte schnellstmöglich zu kontaktieren, wobei der Zielpunkt erst nach Kontaktieren des Startpunktes erscheint. Dadurch wurde sichergestellt, dass jede einzelne Bewegung einer definierten

Ausgangsstellung beginnt. Neben der Differenz zwischen Soll- und Istwert wurden auch die Bewegungszeiten vom Kontaktieren des Startbuttons bis zum Erreichen des Zielpunktes aufgenommen. Der Versuchsablauf beinhaltete jeweils die Durchführung mit dominanter Hand und nichtdominanter Hand.

### 3. Ergebnisse

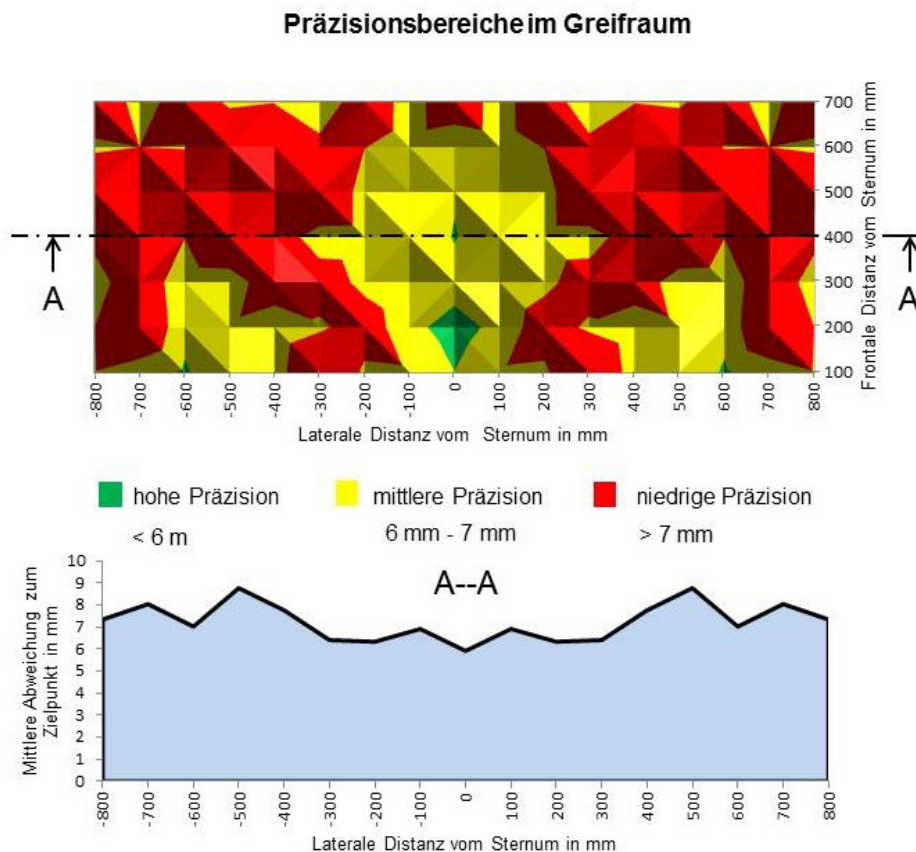
Zur Aufbereitung der Daten wurden die arithmetischen Mittelwerte der Differenz zwischen Soll- und Istwert, bezogen auf die definierten Zielpunkte, gebildet und nach Bereinigung eines vorhandenen Parallaxenfehlers in einem Oberflächendiagramm aufbereitet. Abbildung 2 zeigt den Vergleich zwischen linken und rechten Greifraum. Da es sich bei allen Probanden um Rechtshänder handelte, konnte eine Unterteilung in nichtdominante Hand und dominante Hand vorgenommen werden. Im Bereich der dominanten Hand konnte ein Vorzugsbereich für Präzisionsbewegungen detektiert werden. Dieser erstreckt sich, ausgehend vom Sternum der Probanden, in einem Bereich von -100 mm bis 100 mm lateraler Distanz bis 600 mm frontaler Distanz. Die höchste Präzision bzw. die geringste Abweichung zum Zielpunkt (3,8 mm) wurde im Punkt -100; 200 gefunden. Für verschiedene Bewegungsrichtung wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen Zielpunktentfernung und Abweichung gesucht. Dabei zeigt sich der größte Korrelationskoeffizient  $r > 0,67$  auf der Geraden von Punkt 0; 100 nach Punkt 600; 700. Damit kann von einem mittleren linearen Zusammenhang ausgegangen werden. Im linken Greifraum bzw. bei Ausführung des Versuchs mit der nichtdominanten Hand zeigt sich die größte Präzision bei den Koordinaten -300; 600 mit einer mittleren Abweichung zum Zielpunkt von 5,1 mm. Die maximale Abweichung befindet sich im Punkt 800; 700 und beträgt 11,02 mm.



**Abbildung 2:** Präzision im Greifraum der dominanten und nichtdominanten Hand

Eine Einteilung nach Vorzugsbereichen, ähnlich wie für den rechten Greifraum, ist in dem Fall des linken Greifraumes unzweckmäßig, da zusammenhängende Bereiche hoher Präzision stets von Bereichen niedriger Präzision durchzogen werden. Ein Vergleich der Präzisionsleistung zwischen dominanter Hand und nichtdominanter Hand zeigt signifikante Unterschiede ( $p\text{-Wert} \leq 0,05$ ) zugunsten der dominanten Hand.

In einem letzten Bearbeitungsschritt erfolgt die Zusammenführung beider Greifräume in einen gemeinsamen. Um die Präzisionsleistung der dominanten Hand und der nichtdominanten Hand gleichstark zu berücksichtigen, bietet sich die Bildung des arithmetischen Mittelwertes der einzelnen symmetrischen Punktepaare des linken und rechten Greifraumes an. Das heißt, die Zielpunkte lateraler Distanz von 0 mm – 800 mm werden von beiden Greifräumen übereinander gelegt und die mittlere Abweichung vom jeweiligen Zielpunkt errechnet. Durch Spiegelung um die frontale Achse entsteht ein gemeinsamer Greifraum, wie in Abbildung 3 zu sehen ist.



**Abbildung 3:** Präzisionsbereiche im Greifraum mit Schnitt durch Ebene A-A

Der Bereich der höchsten Präzision befindet sich demnach vor dem Sternum in Richtung Frontalachse. In diesem, mit der Farbe Grün gekennzeichneten Bereich, beträgt die maximale Abweichung zum Zielpunkt 6,0 mm. Der nächste Bereich, hier gelb gekennzeichnet, umfasst Abweichungen zwischen 6,0 mm – 7,0 mm. Dieser wird als Bereich der mittleren Präzision definiert. Mit einer rautenförmigen Ausbreitung vom Sternum ausgehend und um den Bereich der hohen Präzision liegend, ist der Bereich ebenfalls bei 400 mm – 600 mm lateral zu erkennen. Den Bereich der niedrigen Präzision kennzeichnet der rote Bereich. In diesem liegt die mittlere Abweichung vom Zielpunkt über 7,0 mm. Für Manipulationen mit hohen Ansprüchen an die Präzision wird deshalb vor allem der Bereich vor dem Körper empfohlen. Die Auswertung zeigt, dass in diesem Bereich die höchste Präzision zu erlangen ist. In Richtung der Randbereiche nimmt diese ab. Die Verteilung der Bereiche deutet auf einen Einfluss der an der Bewegung beteiligten Gelenke hin. Im Bereich der hohen Präzision wird die Bewegung aus dem Handgelenk generiert. Daraus schließt sich eine Bewegung aus Handgelenk und Ellenbogengelenk an (Bereich

mittlere Präzision). Die Bereiche der niedrigen Präzision sind teilweise nur durch ein Zusammenspiel zwischen Muskeln des Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk zu erreichen, wodurch eine weitaus höhere Koordinationsleistung benötigt wird und was sich scheinbar negativ auf die Präzisionsleistung auswirkt.

#### 4. Diskussion

Die Laborstudie zur Evaluierung von Präzisionsbereichen im Greifraum hatte den Hintergrund, zielgerichtete Hinlangbewegungen hinsichtlich der Abweichungen zum Zielpunkt zu untersuchen, um im späteren Verlauf Aussagen über definierte Bereiche der Präzision von manuellen Handlungen im Greifraum ableiten zu können.

Für beide Hände konnten Bereiche hoher und niedriger Präzision gefunden werden. Dabei zeigten sich allerdings starke Unterschiede in der Verteilung, was auf koordinative Schwächen der nichtdominanten Hand hinweist. Die Zusammenführung beider Greifräume in einen gemeinsamen Greifraum ermöglicht die ganzheitliche Betrachtung der Präzisionsbereiche unabhängig von der Händigkeit. Die Verteilung der Bereiche deutet auf einen Einfluss der an der Bewegung beteiligten Gelenke hin. Eine mehrgelenkige Bewegungsgenerierung wirkt sich scheinbar negativ auf die Präzisionsleistung aus. Ein Grund dafür könnte in dem Problem der Freiheitsgrade zu finden sein. Diese Überlegung sollte aber unbedingt mit einem geeigneten Verfahren (z.B. Motion-Capture) überprüft werden.

#### 5. Literatur

- Bullinger HJ (1994) Ergonomie. Stuttgart: B. G. Teubner.
- DIN 33402-1 (2008) Ergonomie - Körpermaße des Menschen – Teil 1: Begriffe, Messverfahren. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- DIN 33411-1 (1982) Körperkräfte des Menschen – Teil 1: Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- Fitts PM (1954) The Information Capacity of Human Motor System in Controlling. *Journal of Experimental Psychology; General*. 1952. Vol. 41. No. 3, 262-269.
- 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.
- Schmidtke H (1958) Der Einfluss der Bewegungsgeschwindigkeit auf die Bewegungsgenauigkeit. *Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.*, Bd. 17, 252-270.
- Schmidtke H (1993) Ergonomie. München: Hanser.