

Effizienzvergleich zwischen Gestensteuerung und klassischem Eingabegerät unter Beachtung von Lerneffekten

Max BERNHAGEN, Frank DITTRICH, Angelika C. BULLINGER

*Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement
Technische Universität Chemnitz, D-09107 Chemnitz*

Kurzfassung: Berührungslose Eingabegeräte wie der Leap Motion Controller ermöglichen eine neuartige Mensch-Maschine-Interaktion. Um eine bestmögliche Integration in Bildschirmarbeitsplätze zu untersuchen, müssen Kennwerte der Gebrauchstauglichkeit sowie deren Einflussfaktoren ermittelt werden. Ziele des vorgestellten Experiments sind der Vergleich der Effizienz zwischen Gestensteuerung und klassischem Eingabegerät, die Analyse des Einflusses der Selektionsgeste sowie die Ermittlung der Auswirkungen von Lerneffekten. Hierfür wurde eine vergleichende Longitudinalstudie des Leap Motion Controllers mit einer Mouse an fünf aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Kennwerte zur Gebrauchstauglichkeit wurden mithilfe eines Fitts-Law-Tests operationalisiert sowie mit und ohne Selektionsgeste aufgenommen. Die Ergebnisse zeigen eine Lernkurve bei der Verwendung des Leap Motion Controllers und der Mouse sowohl mit als auch ohne Selektionsgeste, jedoch eine deutlich schlechtere Effizienz der Interaktion mit dem Leap Motion Controller. Unterschiede für die Werte der Eingabegeräte mit und ohne Selektionsgeste können nicht nachgewiesen werden.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschine-Interaktion, Gestenbasierte Interaktion, Usability

1. Einleitung

Durch die zunehmende Durchdringung alltäglicher Gegenstände mit vernetzten Sensoren und intelligenten miniaturisierten Computern ist es möglich, neuartige Bedienkonzepte zu realisieren. Beispiele dafür sind die freihändige Gestensteuerung, Spracheingabeschnittstellen und sehr kleine Touchscreens. Bedienkonzepte dieser Art sind zwar schon lang bekannt und wurden in prototypischen Demonstratoren bereits umgesetzt, jedoch sind die zugrunde liegenden Technologien erst seit den letzten Jahren kommerziell erhältlich und entsprechend leistungsfähig. Besonders der Gestensteuerung wird innerhalb multimodaler Eingabeschnittstellen großes Potential beigemessen (Preim, Dachzelt 2015). So können innovative Bedienkonzepte zum Paradigmenwechsel in der Mensch-Maschine-Interaktion führen und die seit vier Jahrzehnten unverändert gebliebene Interaktion mittels klassischen Eingabegeräten, wie der Mouse, auch innerhalb von Bildschirmarbeitsplätzen revolutionieren. Doch nicht jedes Interaktionskonzept ist für jede Anwendung gleichermaßen sinnvoll. Um eine bestmögliche Integration von Eingabegeräten in Bildschirmarbeitsplätze zu untersuchen, müssen Kennwerte der Gebrauchstauglichkeit sowie deren Einflussfaktoren ermittelt werden.

Für die Bewertung von Eingabegeräten, können drei grundlegende Interaktionselemente der Mensch-Maschine-Interaktion herangezogen werden (Preim, Dachzelt,

2015). Zum einen beschreibt die *Navigation* den kognitiven und motorischen Prozess der Orientierung und Zielfindung. Zum anderen können mittels direkter und indirekter *Selektion* Objekte oder Elemente ausgewählt werden. Weiterhin beinhaltet das Element *Manipulation* die kombinierte Verwendung von Navigation und Selektion. Eine Manipulation von Objekten wird vorrangig bei komplexen Aufgaben an einem speziellen Objekt angewandt. Im Gegensatz dazu werden die Grundelemente Navigation und Selektion an klassischen Bildschirmarbeitsplätzen häufig verwendet.

Bisherige Effizienzvergleiche des Leap Motion Controllers zur Mouse zeigen, dass im Kontext von zweidimensionalen Anwendungen die Mouse einen ungefähr doppelt so hohen Durchsatz vorweist (Bachmann, Weichert, Rinkenauer, 2015; Sambrooks, Wilkinson, 2013). Dabei wurde vermutet, dass die Selektion einen negativen Einfluss auf die Effizienz des Leap Motion Controllers hat, da dies mittels Gesten im Vergleich zur Mouse schwieriger umzusetzen ist (Rinkenauer, Bachmann, Weichert, 2015). Dies wurde jedoch noch nicht empirisch untersucht. In einem Experiment soll deshalb die Effizienz der Gestensteuerung mittels Leap Motion Controller mit einem klassischen Eingabegerät, der Mouse, verglichen und anhand des Einflusses der Selektion sowie unter Berücksichtigung von Lerneffekten bewertet werden.

2. Methode

Um die beschriebenen Aspekte zu untersuchen, erfolgte ein Laborexperiment zur vergleichenden Untersuchung des Leap Motion Controllers mit der Mouse. Hierfür wurde ein nach ergonomischen Richtlinien (DIN EN ISO 11064 Teil 4) gestalteter Bildschirmarbeitsplatz mit einem 24-Zoll Flachbildmonitor verwendet. Neben dem Leap Motion Controller wurde als klassisches Eingabegerät eine kabelgebundene 3-Tasten-Mouse des Herstellers Cherry (Modell: JM-01) eingesetzt. Die Selektion wurde beim Leap Motion Controller durch eine „Tab“-Bewegung des Zeigefingers umgesetzt.

Für die Vergleichbarkeit der Effizienz von Eingabegeräten für Desktopanwendungen hat sich der Fitts-Law-Test (Fitts, 1954) etabliert. So wird dieser beispielsweise in der Deutschen Industrienorm EN ISO 9241 Teil 9 (2000) als eine Methode zur Bewertung von Mensch-Maschine-Schnittstellen empfohlen. Bei diesem Test startet der Proband mit dem Cursor des Eingabegerätes auf einer vordefinierten und konstanten Position. Anschließend muss ein Ziel in Form eines Quadrates erreicht und selektiert werden. Eine Variation der Distanz und der Größe des Ziels ermöglicht die Veränderung des Schwierigkeitsgrades.

Im vorliegenden Experiment wurde der erweiterte Fitts-Law-Test nach Crossman (1960) verwendet. Der Vorteil der Erweiterung liegt in der genaueren Bestimmung des überwundenen Abstands vom Ausgangspunkt zum Ziel. Die Formeln dafür lauten:

$$ID_e = \log_2 \left(\left(\frac{D}{W_e} \right) + 1 \right)$$

$$W_e = 4,133 * SD_x$$

$$IP = \left(\frac{ID_e}{MT} \right)$$

Der Wert D entspricht der *Distanz* des Ziels zum Ausgangspunkt (Soukoreff, MacKenzie, 2004). Im Vergleich zur originalen Fitts-Law-Formel wird mit dem

Parameter *Weite* (W_e) die Standardabweichung des zurückgelegten Weges auf der x-Achse bestimmt und mit einem empirisch ermittelten Faktor verrechnet. Der *Index of Difficulty* (ID_e) drückt den Schwierigkeitsgrad aus, welcher in der jeweiligen Versuchsbedingung vorherrschte. Er errechnet sich über den zurückgelegten Weg und der Größe des Ziels. Basierend auf diesem Schwierigkeitsgrad kann die im Versuch automatisch gemessene *Bewegungszeit* (MT) charakterisiert werden. Für einen validen Vergleich der Zeiten wird der *Durchsatz* (IP) berechnet. Dieser gibt das Verhältnis von Schwierigkeitsgrad und Bewegungszeit an.

In der Tabelle 1 sind die im Fitts-Law-Test verwendeten Distanzen und Kantenlängen angegeben. Jede Kombination der Distanz und Kantenlänge wurde randomisiert fünf Mal getestet, woraus 45 Versuchswiederholungen pro Proband und Versuchsbedingung resultieren. Die Werte für die benötigte Zeit, Anzahl der Selektionsversuche, Schwierigkeitsgrad und Endposition des Cursors wurden automatisiert aufgezeichnet.

Tabelle 1: Variation der Größen des Zielobjektes (in ppi).

	Wert 1	Wert 2	Wert 3
Distanz	50	75	700
Kantenlänge	10	20	40

Es wurde ein 2x2-faktorielles Versuchsdesign mit einer Randomisierung der Bedingungen genutzt. Faktor A enthält die verwendeten Eingabegeräte Mouse und Leap Motion Controller. Mit dem Faktor B wurden die Auswirkungen der Selektionsgeste beim Fitts-Law-Test untersucht. Dafür wurde dieser mit und ohne Selektion durchgeführt.

Um einen Lerneffekt durch Training zu unterstützen, führten die Probanden drei verschiedene Übungsanwendungen mit dem Leap Motion Controller durch. Alle Anwendungen waren an diesen angepasst und sollten die Selektion sowie Navigation mit dem Gerät trainieren. Diese waren der Flug (Navigation) in einem Geoinformationssystem, das Zielen (Navigation) und Auswählen (Selektion) von Zielen in einen weiteren Programm und das Verbinden von Punkten (Navigation). Jedes dieser Programme wurde zehn Minuten durchlaufen, woran sich eine Erholungszeit von drei Minuten anschloss, um eine Ermüdung in Folge der erhöhten Belastung der Schulter- und Oberarmmuskulatur durch den Leap Motion Controller auszuschließen (Dettmann, Bernhagen, Bullinger, 2015). Im Anschluss an das Training wurde die eigentliche Untersuchung mittels der Fitts-Law-Tests durchgeführt. Zwischen den Tests fanden ebenfalls Pausen von je drei Minuten statt. Pro Versuchsperson wurde der Versuch an fünf aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Die Gesamtdauer betrug eine Stunde pro Proband und Versuchstag.

3. Ergebnisse

Insgesamt nahmen zehn Probanden (sieben weiblich, drei männlich) am Experiment teil. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei 24,20 Jahren ($SD = 1,48$). Zwei Probanden wiesen eine geringe sowie einer hohe Erfahrung mit dem Leap Motion Controller auf. Alle Probanden nutzten gestenbasierte Eingabegeräte

bereits im Umgang mit Spielekonsolen. Bedingt durch Softwarefehler entstanden vereinzelt und unregelmäßig Extremwerte, welche im Anschluss bereinigt wurden. Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics 23.

In Tabelle 2 wird die Verteilung der durchschnittlichen Selektionsversuche über die fünf Tage dargestellt.

Tabelle 2: Verteilung der mittleren Selektionsversuche für den Fitts-Law-Test

	Tag 1		Tag 2		Tag 3		Tag 4		Tag 5		ANOVA
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
LMC	1,62	1,40	1,31	0,74	1,45	0,99	1,41	1,00	1,43	1,16	$F(3.64,1588) = 3,14;$ $p < 0.05$
Mouse	1,08	0,30	1,06	0,26	1,08	0,29	1,10	0,36	1,08	0,29	$F(3.83,1796) = 1,40;$ $p > 0.05$
	$t(446) = 8,79;$ $p < .001$		$t(402) = 6,977;$ $p < .001$		$t(446) = 7,272;$ $p < .001$		$t(449) = 6,160;$ $p < .001$		$t(448) = 6,314;$ $p < .001$		

Es ist festzuhalten, dass die Interaktion mittels Leap Motion Controller über alle Tage eine erhöhte Zahl an Selektionsversuchen vorweist. Dieser Unterschied ist jeweils signifikant. Jedoch konnte für den Leap Motion Controller eine signifikante Abnahme der Mittelwerte über den Trainingszeitraum nachgewiesen werden. Die Mouse zeigt hingegen keine Mittelwertunterschiede.

Neben den Selektionsversuchen wurde des Weiteren der oben beschriebene Durchsatz analysiert. Für die Darstellung einer möglichen Lernkurve wird dieser getrennt nach den Eingabegeräten in den Graphen der Abbildung 1 über die fünf Versuchstage dargestellt.

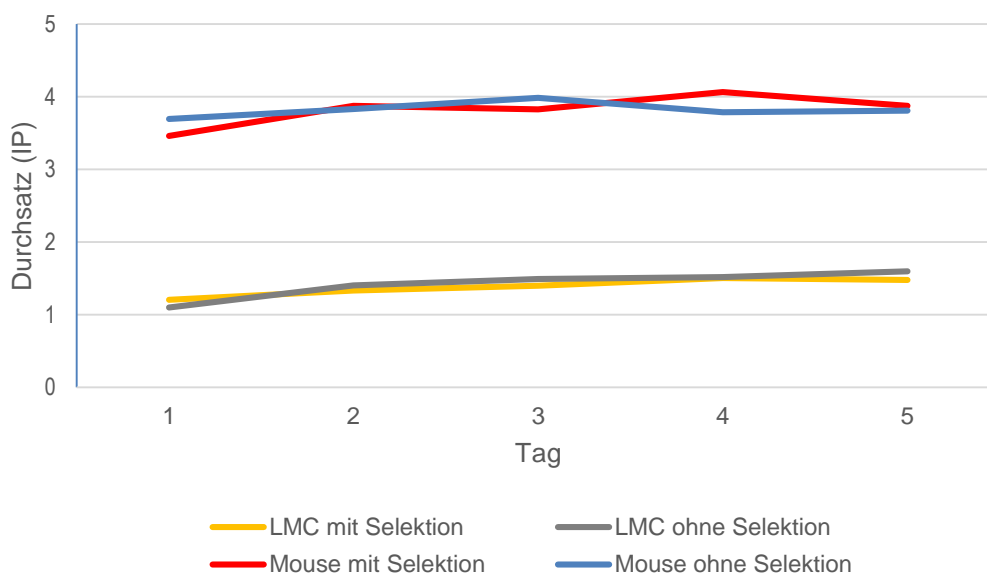


Abbildung 1: Entwicklung des Durchsatzes über die fünf Versuchstage (in bits/s)

Für den Leap Motion Controller ist allgemein ein regelmäßiger Anstieg des Durchsatzes zu erkennen, was auf eine Lernkurve hinweist. Im Gegensatz dazu schwanken die Werte für die Mouse mit und ohne Selektion und zeigen einen geringen Trend zu einem höheren Durchsatz. Dies bestätigen auch die durchgeführten ANOVAs. Mit dem allgemeinen linearen Modell mit Messwiederholungen wurden die Zwischenergebnisse der fünf Versuchstage verglichen und auf die Gleichheit der Mittelwerte geprüft. In Tabelle 3 sind die Mittelwerte und die Ergebnisse der Tests aufgelistet.

Tabelle 3: Analyse des Durchsatzes pro Versuchsbedingung über den Erhebungszeitraum (in bits/s)

	Tag 1		Tag 2		Tag 3		Tag 4		Tag 5		ANOVA
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
LMC mit Selektion	1,21	0,64	1,33	0,72	1,40	0,74	1,50	0,76	1,48	0,72	$F(4,1284) = 14,32;$ $p < 0.001$
LMC ohne Selektion	1,10	0,63	1,40	0,75	1,49	0,76	1,52	0,74	1,59	0,81	$F(3.76,1111.35) = 30,798;$ $p < 0.001$
Mouse mit Selektion	3,46	1,33	3,88	1,24	3,82	1,38	4,06	1,39	3,88	1,33	$F(4,1684) = 12.55;$ $p < 0.001$
Mouse ohne Selektion	3,69	1,88	3,83	1,76	3,98	1,80	3,79	1,68	3,81	1,68	$F(4,1440) = 4.056;$ $p < 0.01$

Die Ergebnisse der Varianzanalysen zeigen, dass für alle Versuchsbedingungen signifikante Unterschiede in den Mittelwerten des Durchsatzes über die Versuchsdauern vorliegen. Wird eine Selektionsgeste ausgeführt, konnten höchst signifikante Unterschiede für beide Eingabegeräte ermittelt werden. Weiterhin wurden ANOVAs für die Eingabegeräte berechnet, welche die Faktoren mit und ohne Selektion enthielten. Bei den Tests auf Zwischensubjekteffekten konnten für beide Eingabegeräte keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (LMC: $F(1,616) = 0,91; p > 0.05$; Mouse: $F(1,781) = 0,86; p > 0.05$).

4. Diskussion

Die Ergebnisse des Fitts-Law-Tests zeigen, dass der Leap Motion Controller im Mittel mehr Selektionsversuche benötigt, aber über den Untersuchungszeitraum eine signifikante Reduzierung der durchschnittlichen Selektionsversuche vorweist. Letztlich scheint sich aber eine mittlere Häufigkeit von ca. 1,40 Selektionsversuchen einzustellen. Über die fünf Trainingseinheiten hinweg weist die klassische Interaktion mittels Mouse jeweils den doppelten Durchsatz auf und ist damit deutlich effizienter. Hierbei wurden für beide Eingabegeräte vergleichbare Werte zu ähnlichen Studien ermittelt (Bachmann, Weichert, Rinkenauer, 2015; Sambrooks, Wilkinson, 2013). Trotz der großen Potentiale der Gestensteuerung, ist die Leistungsfähigkeit der Interaktion mittels klassischem Eingabegerät aufgrund der hohen Konditionierung und Vorerfahrung der Probanden deutlich überlegen. Ungeklärt bleibt, welche Effizienz die Gestensteuerung im Vergleich zur Interaktion mittels Mouse aufzeigt, wenn keine Vorerfahrung der Mouse-Bedienung vorhanden ist. Zudem ist

anzunehmen, dass die Vorteile der Gesteninteraktion vor allem bei miteinander verbundenen Ein- und Ausgabeschnittstellen und entsprechend direkter Interaktion genutzt werden können. Für weitere Vergleiche der Effizienz und insbesondere auch der Selektion sind weitere Studien mit dreidimensionalen Anwendungsbereichen von Interesse. Hierbei wird vermutet, dass die erhöhte Anzahl an Freiheitsgraden keine Störgröße ist, sondern in einem Zugewinn an Effizienz resultiert.

Ein signifikanter Unterschied des Durchsatzes für die Durchführung des Fitts-Law-Tests mit und ohne Selektionsgeste konnte für beide Eingabegeräte nicht nachgewiesen werden. Basierend auf der Stichprobe kann geschlussfolgert werden, dass obwohl der Leap Motion Controller im Mittel mehr Selektionsversuche benötigt, die Selektion beim Leap Motion Controller, wie sie bei diesem Experiment gelöst war, keinen Einfluss auf den Durchsatz des Eingabegerätes hat. Allerdings schränkt die geringe Probandenzahl und die Versuchsdauer die Interpretation der Ergebnisse ein.

Für beide Eingabegeräte ist jeweils ein steigender Durchsatz über die Trainingseinheiten zu verzeichnen, welcher auf Lerneffekte zurückzuführen ist. Die Unterschiede sind dabei für den Leap Motion Controller statistisch aussagekräftiger. Es lässt sich daraus schlussfolgern, dass bei der Bewertung der Effizienz neuartiger Eingabegeräte der Lerneffekt als mögliche Einflussgröße mit berücksichtigt werden muss, da er signifikante Auswirkungen auf das Ergebnis haben kann. Obwohl mit der neuartigen Gestensteuerung bisher kaum Vorerfahrungen bestanden, zeigten sich nur gering höhere Lerneffekte innerhalb der Longitudinalstudie. Dies kann darin begründet sein, dass die Dauer sowie die Anzahl der Interaktionen zu gering waren.

5. Literatur

- Bachmann D, Weichert F, Rinkenauer G (2015) Evaluation of the Leap Motion Controller as a New Contact-Free Pointing Device. *Sensors* 15/2015: 214-233
- Crossman E (1960) The information capacity of the human motor system in pursuit tracking. *Quarterly Journal of experimental Psychology* 12/1960: 1-16
- Dettmann A, Bernhagen M, Bullinger AC (2015) Eignung gestenbasierter Eingabegeräte an Bildschirm-arbeitsplätzen - eine vergleichende Untersuchung. VERANTWORTUNG FÜR DIE ARBEIT DER ZUKUNFT, Tagungsband GfA-Frühjahrskongress 2015
- DIN EN ISO 9241 Teil 9 (2000) Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 9: Anforderungen an Eingabemittelausgenommen Tastaturen
- DIN EN ISO 11064 Teil 4 (2013) Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 4: Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen
- Fitts PM (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology* 47/6: 381-391
- Rinkenauer G, Bachmann D, Weichert F (2015) Eignet sich der Leap Motion Controller als Mausersatz? Evaluation eines neuen kontaktfreien Interaktionssystems. VERANTWORTUNG FÜR DIE ARBEIT DER ZUKUNFT, Tagungsband GfA-Frühjahrskongress 2015
- Preim B, Dachsel R (2015) *Interaktive Systeme*. Band 2. Magdeburg: Springer Verlag
- Sambrooks L, Wilkinson B (2012) Comparison of gestural, touch, and mouse interaction with Fitts' law. In: Haifeng S, Ross S, Jeni P, Paul C, Theodor W (Eds.): *the 25th Australian Computer - Human Interaction Conference*. Adelaide, Australia, S.119–122
- Soukoreff RW, MacKenzie IS (2004) Towards a standard for pointing device evaluation: Perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. *International Journal of Human-Computer Studies* 61: 751-789

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Frau Miriam Müller für die konstruktive Zusammenarbeit.