

Mauszeigerpositionierung mit dem Auge

Heiko Drewes, Albrecht Schmidt

Embedded Interaction Research Group, Institut für Informatik, LMU München

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wird eine Verbesserung des MAGIC (Manual And Gaze Input Cascaded) Pointing vorgestellt. Die Idee hinter dem MAGIC-Pointing ist die Positionierung des Mauszeigers auf die Blickposition auf dem Bildschirm bei der ersten Bewegung der Maus nach einer Ruhephase. Die Problematik beim MAGIC-Pointing liegt darin, dass die initiierte Mausbewegung dazu führt über das Ziel hinaus zu schießen. Die Verbesserung besteht darin eine berührungssensitive Maus zu verwenden. Es wurde ein entsprechendes System aus Blickverfolger und berührungssensitiver Maus aufgebaut, Software entwickelt und eine Benutzerstudie durchgeführt. Es wird gezeigt, dass die Mauspositionierung mit dem Auge bei unbekannter Zeigerposition signifikant schneller ist. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist eine überraschende Diskrepanz zwischen empfundenen und gemessenen Geschwindigkeiten bei bekannter Zeigerposition. Acht von zehn Personen stufen die Blickpositionierung als schneller ein, obwohl sie mit der Maus genauso schnell waren. Die Akzeptanz für die Blickpositionierung bei den Testpersonen war sehr hoch.

1 Einleitung

Die Sensorchips für Kameras werden immer leistungsfähiger und günstiger. Viele Notebookcomputer haben bereits heute integrierte Kameras; eine im Monitor eingebaute Kamera kann in Zukunft ähnlich normal sein wie heute oft integrierte Lautsprecher. Mit einer zusätzlichen Infrarot-Leuchtdiode lässt sich dann eine Video-basierte Blickverfolgung nahezu ohne weitere Hardwarekosten realisieren. Hieraus ergibt sich die Frage, welche Möglichkeiten die Blickverfolgung zur Bedienung von Computern bietet. Ein ausführlicher Überblick über die Grundlagen und Anwendungen dieses Gebietes findet sich in (Duchowski 2003).

Viele Arbeiten die sich aktuell mit Blickerfassung für die Eingabe beschäftigen, konzentrieren sich auf behinderte Menschen, welche die Augen als einzigen Kanal zu Kommunikation mit dem Computer verwenden (Majaranta & Rähä 2002). Diese Forschungsarbeit betrachtet die Blickverfolgung allgemeiner als eine weitere und zusätzliche Modalität zu Maus und

Tastatur – auch für nicht behinderte Benutzer. Ziel hierbei ist die Vereinfachung der typischen Arbeiten am Computer wie sie z.B. in Büroumgebungen stattfinden.

Ein Grundproblem bei der Verwendung der Augen zur Steuerung (Ausgabe aus Sicht des Menschen) ist, dass diese in der Evolution sich zu einem hochkomplexen Eingabekanal für Bildinformationen entwickelt haben. Zur effizienten Erfassung der Umgebung führen sie darum Bewegungen aus, die nicht durch das Bewusstsein kontrolliert werden. Obwohl der Blick unter Menschen als ein wesentlicher Kanal zur Kommunikation verwendet wird, ist es dennoch fraglich, ob der Blick als willentliche Eingabe an den Computer nicht mit der zusätzlichen motorischen Steuerungsaufgabe überfrachtet wird. Es bietet sich darum an, die intuitiven Augenbewegungen zu nutzen. Wenn Menschen Computer bedienen gibt es zahlreiche Augenbewegungen die intuitiv und häufig sogar direkt mit der Wahrnehmungsfunktion zusammen hängen. Soll z.B. ein Menüpunkt mit der Maus angeklickt werden, so bewegt sich der Blick unweigerlich auf den anzuwählenden Menüpunkt. Das in (Zhai et al. 1999) beschriebene Verfahren für kombinierte Eingabe (*Manual And Gaze Input Cascaded, MAGIC*) macht sich diese Grundidee zunutze.

Mit wachsenden Bildschirmgrößen und zunehmenden Einsatz eines zweiten Bildschirms werden die mit der Maus zurückzulegenden Wege länger und oft ist es ein Problem den Mauszeiger auf dem Bildschirm zu finden (Benko & Feiner 2005). Die Unterstützung zum Auffinden des Mauszeigers kann auf zwei verschiedene Weisen geschehen: (1) es wird eine Funktion bereitgestellt die den Mauszeiger hervorhebt oder (2) der Mauszeiger wird an einer Stelle positioniert, wo ihn der Benutzer erwartet. Die Problematik hat bereits kommerzielle Lösungsansätze; z.B. versucht das Windows-Betriebssystem von Microsoft dieser Situation mit mehreren Optionen Rechnung zu tragen. So gibt es in der Systemsteuerung für die Maus die Option ‚Zeigerposition beim Drücken der STRG-Taste anzeigen‘. Beim Drücken der STRG-Taste werden dann konzentrische Kreise um den Mauszeiger gemalt. Zusätzlich gibt es die Option ‚In Dialogfeldern automatisch zur Standardschaltfläche springen‘. Im Windows-API können Dialoge mit Angabe von `DS_CENTERMOUSE` an der Position des Mauszeigers erzeugt werden. Da die Verwendung dieses Dialogstils dem Programmierer freigestellt ist, wird sie eher selten verwendet und die Programme reagieren nicht einheitlich.

Die geschilderte Problematik kann durch das MAGIC-Pointing teilweise gelöst werden. Nach einer längeren Ruhephase der Maus oder nach Texteingaben wird bei der ersten Mausbewegung der Mauszeiger auf die Blickposition gesetzt. Da die Maus in diesem Moment bereits in Bewegung ist, führt dieser Ansatz dazu, dass sich der Mauszeiger über das Ziel hinaus bewegt. Zur Lösung führten Zhai et al. eine Kompensationsmethode ein, die den Mauszeiger unter Berücksichtigung des Bewegungsvektors vor das Ziel setzt. Auf diese Weise lässt sich die notwendige Mausstrecke deutlich reduzieren, aber letztlich muss die Maus bewegt werden.

Der Ansatz dieser Studie ist es eine Maus zu verwenden, welche erkennt ob sie vom Benutzer berührt wird. Durch den Einsatz einer berührungssensitiven Maus, die bei Berührung den Mauszeiger auf die aktuelle Blickposition setzt, wird die Kompensationsmethode unnötig und es bedarf überhaupt keiner Bewegung der Maus. Hierdurch wird die Muskulatur der Hand entlastet. Da sich die Augen sehr schnell bewegen, kann sich zusätzlich auch ein Geschwindigkeitsvorteil bei der Bedienung ergeben.

2 Systemaufbau

Für den prototypischen Aufbau des Systems wurde ein kommerzielles Blickverfolgungssystem eingesetzt. Die berührungssensitive Maus wurde speziell für dieses Projekt entwickelt, wobei eine optische Funkmaus durch den Einbau eines Sensorchips erweitert wurde.

2.1 Der Blickverfolger

Als Blickverfolgungssystem kam das ERICA-System (Eye Response Technologies 2006) zum Einsatz. Das ERICA-System arbeitet mit einer Video-Kamera und Infrarot-Leuchtdiode, siehe Abbildung 1. Die Positionsbestimmung erfolgt über den Abstand zwischen Glanzpunkt und Pupillenmittelpunkt. Die Erkennungssoftware liefert circa 50 Positionen pro Sekunde. Da das System weder über eine Kopfverfolgung noch über eine Autofokussierung verfügt, ist eine Kopffixierung mittels Kinnstütze für die Durchführung von Experimenten sinnvoll. Die angestrebte Verwendung ist jedoch ein System ohne solche Einschränkungen, wie sie von andern Blickverfolgern z.B. dem Eyefollower (LC Technologies 2006) geboten werden. Für das Experiment stand aber ein solches (teueres) Gerät nicht zur Verfügung.

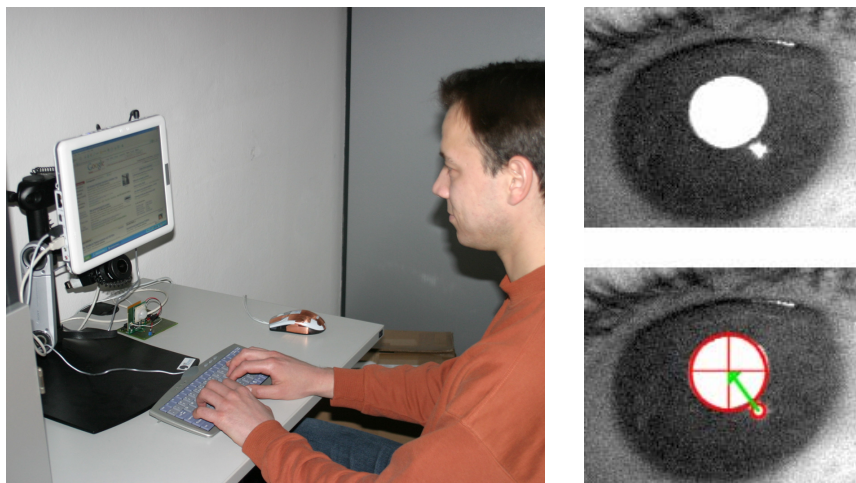


Abbildung 1: Im linken Bild ist der ERICA-Blickverfolger mit dem ersten kabelgebundenen Prototyp der berührungssensitiven Maus abgebildet. Rechts ist das Kamerabild des Blickverfolgers zu sehen. Durch die Reflexion des Infrarotlichts erscheint die Pupille weiß. Der Glanzpunkt liegt rechts unterhalb der Pupille und ist unabhängig von der Augenbewegung. Die Beziehung zwischen Glanzpunkt und Mittelpunkt der Pupille lässt eine Berechnung der Blickrichtung zu.

2.2 Die berührungssensitive Maus

Für das Experiment wurde eine berührungssensitive Maus entwickelt. In (Ken Hinckley & Mike Sinclair 1999) wird eine Maus vorgestellt, die auf einem ähnlichen Prinzip funktioniert und für das aus- und einblenden von Menüs verwendet wird.

In zweiten Prototyp, der für das Experiment eingesetzt wurde, war nur die linke Maustaste berührungsempfindlich. Da die Zeit zwischen der Berührung der Maustaste und des darauf folgenden Klicks sehr kurz ist, ist ein schneller Sensorchip und eine schnelle Weitermeldung an das System notwendig. Im ersten Prototyp wurde der Sensorchip QT110 eingesetzt, welcher sich aber mit einer Reaktionszeit von 130 Millisekunden als zu langsam herausstellte. Im zweiten Prototyp wurde dann der Sensorchip QT113 verwendet, der eine Berührung in 30 Millisekunden detektiert. Die eingesetzten Sensoren basieren auf der Messung der Kapazität, die durch Berührung verändert wird (Quantum 2006). Zur Integration mit dem System wurde der Taster des X2-Knopfs entfernt und das invertierte Ausgangssignal des Sensorchips an den Eingang angelegt. Dies hat den Vorteil einer einfachen Einbindung in die Programmierung, da das Betriebssystem eine WM_XBUTTON-Nachricht verschickt. Außerdem werden die Mausnachrichten über Interrupts an das System weitergegeben, was gegenüber Polling-Technik schneller und Ressourcen-schonender ist. Der Nachteil besteht darin, dass die so modifizierte Maus nur innerhalb der Versuchssoftware verwendbar ist, da das Windows-Betriebssystem standardmäßig auf eine X2-Nachricht mit einem Kontextmenü reagiert.

Abbildung 2 zeigt die modifizierte Maus. Vor dem Zusammenbau musste die Platine mit dem Berührungssensor noch mit Klebeband und Kupferfolie abgeschirmt werden.

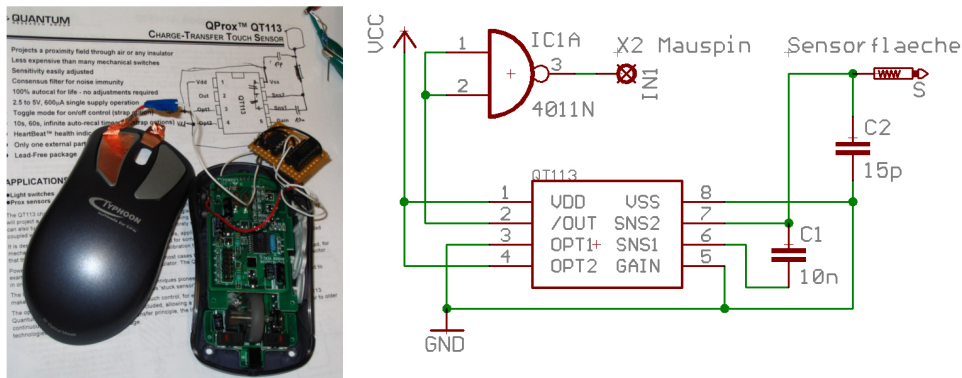


Abbildung 2: Im linken Bild ist die modifizierte Maus mit Berührungssensor zu sehen. Die Baugruppe, für die der Schaltplan rechts abgebildet ist, findet vollständig Platz im Gehäuse der verwendeten drahtlosen optischen Maus.

3 Die Benutzerstudie

Ziel der Benutzerstudie war herauszufinden, ob das Setzen des Mauszeigers auf die Blickposition bei Berührung der Maus Nutzen für die Anwender bringt. Erwartet wurden hierbei:

- Entlastung der Handmuskulatur
- höhere Bediengeschwindigkeit
- angenehmeres Arbeiten

Die Benutzerstudie wurde unter Laborbedingungen durchgeführt, da ein Mitschnitt von Daten während normaler Arbeit mit der verfügbaren Technologie nicht sinnvoll möglich ist. Für die Benutzerstudie wurde eine spezielle Testsoftware implementiert. An der Studie nahmen 10 Personen im Alter zwischen 23 und 46 Jahren teil. Neun Versuchspersonen waren männlich, eine weiblich, alle Teilnehmer waren geübt im Umgang mit Computern und alle kamen aus europäischen Ländern.

3.1 Testumgebung

Zur Messung der Zeiten wurde eine Software entwickelt, die ein Ziel und den Mauszeiger per Zufall auf dem Bildschirm positionieren und die Zeiten zwischen der Positionierung, der ersten Mausbewegung und dem Klick in das Ziel misst. Ein solcher Programmablauf ist typisch für die Messungen des *Fitts' Law* (Fitts 1954). Für die verschiedenen Testfälle können im Programm Modi ausgewählt werden, z.B. setzt das Programm den Mauszeiger auf die Blickposition bei Berührung der Maus falls die entsprechende Option aktiviert ist.

Da bei der Positionierung von Ziel und Mauszeiger eine Änderung auf dem Bildschirm stattfindet, die auch in den Randbereichen des Blickfelds wahrgenommen wird, war den Versuchspersonen die Position des Mauszeigers im Moment der Anzeige bewusst. Um auch die Situation messen zu können in der die Versuchsperson nicht weiß wo der Mauszeiger steht, wurde dem Programm noch die Option hinzugefügt ein Hintergrundbild zusammen mit Ziel und Mauszeiger zu setzen. Hierdurch kann die Position des Mauszeigers im Moment der Anzeige nicht wahrgenommen werden. Diese Situation spiegelt einen typischen Fall wieder in dem der Benutzer an der Tastatur arbeitet und dann zur Maus greift. Als Bitmap wurde eine üppige Excel-Tabelle (mit Sensordaten aus einem anderen Projekt) gewählt. Das Ziel wurde als roter Kreis dargestellt, siehe Abbildung 3. Der Durchmesser wurde mit 100 Pixeln bewusst groß gewählt um mögliche Ungenauigkeiten des Blickverfolgers zu kompensieren.

3.2 Ablauf

Den Testpersonen wurde der Versuchsaufbau und die grundlegende Funktionsweise des der zentralen Komponenten kurz erklärt (ungefähr eine Minute). Daraufhin hatten sie die Möglichkeit das System auszuprobieren (ebenfalls ungefähr eine Minute). Danach wurde das eigentliche Experiment begonnen.

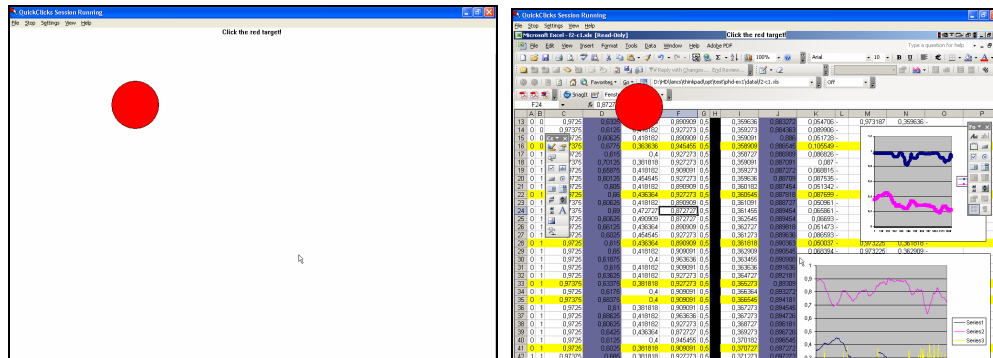


Abbildung 3: Versuchsprogramm ohne und mit Hintergrundbild

Alle Testpersonen absolvierten vier Durchläufe mit je 50 Klicks. Im ersten Durchlauf wurden Mauszeiger und Ziel auf weißem Hintergrund angezeigt und die Blickpositionierung ausgeschaltet. Anschließend folgte ein weiterer Durchlauf, jedoch mit eingeschalteter Blickpositionierung. Die beiden Durchläufe wurden mit den Fragen welche der beiden Eingabemethoden schneller empfunden und welche angenehmer empfunden wurde abgeschlossen.

In zwei weiteren Durchläufen wurde das gleiche Experiment, diesmal jedoch mit eingeblen-detem Hintergrundbild, nochmals durchgeführt.

Gemessen wurde die Zeit zwischen der Anzeige des Ziels und der ersten Mausbewegung, also die Reaktionszeit und die Gesamtzeit bis zum Klick in das Ziel. Die Differenz aus der Gesamtzeit und der Reaktionszeit ergibt die Bewegungszeit. Diese Zeiten wurden für jeden Klick gespeichert und bildeten zusammen mit den Fragen die Datengrundlage für die Auswertung.

3.3 Ergebnisse

Alle zehn Testpersonen empfanden die Blickpositionierung gegenüber der normalen Mauspositionierung bei Verwendung des Hintergrundbilds als schneller. Ohne Hintergrundbild glaubten acht Personen mit der Blickpositionierung schneller zu sein, eine Person empfand beide Methoden gleich schnell und eine Person meinte bei der Blickpositionierung langsamer zu sein.

Bei den gemessenen Zeiten ergab sich kein Zeitgewinn zwischen den beiden Methoden bei der Verwendung des weißen Hintergrunds. Dies steht im Kontrast zu der subjektiven Einschätzung der Testpersonen.

Bei Verwendung des Hintergrundbilds, also im dem Fall, in dem die Position des Mauszeigers unbekannt ist, ergab sich jedoch ein hoch signifikanter Zeitgewinn.

In Tabelle 1 sind die zusammengefassten Messdaten für jeden Benutzer dargestellt. In der letzten Zeile der Tabelle ist der Durchschnitt über alle Benutzer berechnet.

Testperson	ohne Hintergrund		mit Hintergrund	
	Blickpositionierung	Mauspositionierung	Blickpositionierung	Mauspositionierung
K1	751	1097	826,5	1382
K2	1007	971,5	806	1066
K3	716	1121	791	1276,5
K4	1066,5	1096,5	896,5	1352
K5	871	932	696	1191
K6	1256,5	926,5	1121	1066
K7	957	1111	891	1217
K8	1327	1211,5	1327	1412
K9	1482	1062	1277	1266,5
K10	881	976	656	1101
Arithmetischer Mittelwert	1032	1051	929	1233

Tabelle 1: Medianwerte für die Gesamtzeit in Millisekunden für alle Testpersonen

Um Ausreißerwerte durch Irritationen bei der Versuchsdurchführung zu eliminieren wurden die Medianwerte gewählt. Berechnungen mit den arithmetischen Mittelwerten ergab keine qualitativen Veränderungen im Bezug auf die Medianwerte; alle Testaussagen gelten auch bei Verwendung arithmetischer Mittelwerte.

Die Ergebnisse für einen gepaarten Student'schen t-Test für die Kombinationen der vier Durchläufe sind in Tabelle 2 dargestellt.

Blick- gegen Mauspositionierung		Hintergrund gegen kein Hintergrund	
ohne Hintergrund	mit Hintergrund	Blickpositionierung	Mauspositionierung
0,8236863	0,0020363	0,0207385	0,0000143

Tabelle 2: T-Tests der vier verschiedenen Durchläufe

Beim Vergleich zwischen Blick- und Mauspositionierung ergibt sich mit mehr als 82 Prozent Wahrscheinlichkeit kein Geschwindigkeitsvorteil für die Testläufe ohne Hintergrundbild. Mit Hintergrundbild ist jedoch die Wahrscheinlichkeit keinen Geschwindigkeitsvorteil zu erhalten nur 0,2 Prozent. Die Blickpositionierung ist also mit hoher Signifikanz schneller als die Mauspositionierung.

Beim Vergleich zwischen den Testdurchläufen mit und ohne Hintergrundbild kann nahezu sicher davon ausgegangen werden, dass bei der Mauspositionierung durch die Unkenntnis der Mauszeigerposition sich die Zeit zum Finden des Ziels erhöht. Im Fall der Blickpositionierung ergibt sich mit 2 Prozent Fehlerwahrscheinlichkeit eine höhere Geschwindigkeit für den Testdurchlauf mit Hintergrundbild, was zwar signifikant aber nicht hoch signifikant ist. Dieses Ergebnis widerspricht den Erwartungen, da davon ausgegangen werden kann, dass mehr Information auf dem Bildschirm die Aufgabe erschwert. Die Daten lassen sich vermutlich auf den Lerneffekt zurückzuführen, da der Durchlauf mit Hintergrund und Blickpositionierung nach dem Durchlauf ohne Hintergrund durchgeführt wurde. Dies wird auch durch

die allgemeinen Beobachtungen während des Experiments gestützt. Es wurde beobachtet, dass die Fähigkeit zur schnellen Blickpositionierung im Lauf des Experiments zunimmt.

4 Diskussion der Ergebnisse

Im Experiment konnte nachgewiesen werden, dass die vorgestellte Methode der Blickpositionierung die erwarteten Vorteile erfüllt.

Die Entlastung der Handmuskulatur liegt im Prinzip der Methode. Nach einer Blickpositionierung ist der Mauszeiger näher am Ziel als vorher und die zurückzulegende Mausestrecke wird kürzer. Die erwartete Verwendung der Maus zur Feinpositionierung wurde nur in minimalem Umfang von den Testpersonen genutzt. Es wurde vielmehr beobachtet, dass Benutzer im Falle einer Fehlpositionierung mit dem Blick eine zweite Positionierung oder Korrektur ebenfalls mit dem Blick vornahm und somit in vielen Fällen die Maus gar nicht mehr bewegten. Dies legt die Überlegung nahe die Aktivierung der Blickpositionierung in die Tastatur zu integrieren.

Die Blickpositionierung wird als angenehm eingeschätzt, wobei der Wegfall der Kinnauflage stillschweigend vorausgesetzt wird. Keine der Testpersonen hatte Erfahrungen mit Blickverfolgersystemen. Die Hälfte der Personen saß bei der Durchführung des Tests zum ersten Mal vor einem solchen System. Die andere Hälfte hatte schon einmal ein 'Hallo' über die blickgesteuerte Tastatur eingegeben. Die angeführten Gründe das System nicht angenehm zu empfinden, war der Konzentrationsaufwand für die bisher ungeübte Koordination zwischen Auge und Finger. Es ist zu erwarten, dass sich hier noch ein Lerneffekt ähnlich wie bei der Bedienung einer Maus einstellt. Dieser Annahme über die Existenz eines solchen Lerneffekts wird durch die Daten, in denen sich ein signifikanter Zeitunterschied zwischen erstem und zweitem Durchlauf mit Blickpositionierung zeigt, gestützt.

Der erwartete Zeitgewinn hat sich nur bei Verwendung des Hintergrundbilds ergeben. Die Tatsache, dass bei weißem Hintergrund sich kein Zeitvorteil ergibt, subjektiv aber ein Zeitvorteil empfunden wird, ist das unerwartete und damit interessanteste Ergebnis der Studie. Bei der Betrachtung der Messdaten fällt auf, dass sich die Reaktionszeit bei der Blickpositionierung in etwa verdoppelt und die Bewegungszeit sich entsprechend verkleinert. Im Fall der klassischen Positionierung mit der Maus auf weißem Hintergrund werden bei der Anzeige von Ziel und Mauszeiger die Positionen in den unscharfen Randbereichen des Sehfelds erfasst und die Mausestrecke wird sofort (im Sinn der menschlichen Reaktionsgeschwindigkeit) initiiert. Im Fall der Blickpositionierung muss das Auge erst den Blick auf das Ziel bewegen bevor die erste Mauszeigerpositionierung (durch Berührung des Sensors) erfolgt. Es sieht so aus, als ob die Zeit zur Augenpositionierung von den Versuchspersonen nicht wahrgenommen wird und sich so die vermeintlich höhere Geschwindigkeit ergibt. In Abbildung 4 ist der zeitliche Verlauf graphisch dargestellt.

Bei der Verwendung des Hintergrundbilds kann die Position des Mauszeigers nicht präattentiv wahrgenommen werden und muss bei der klassischen Positionierung mit der Maus erst

gesucht werden. Keine der Versuchspersonen erledigte diese Aufgabe durch mustern des Bildschirms. Stattdessen begannen alle sofort mit der Maus zu ‚rühren‘ um den Mauszeiger durch die Bewegung zu orten. Die im Experiment erfasste und kurz eingeblendete Mausspur nach jedem Klick zeigte am Anfang einen typischen Haken. Diese Verhaltenweise scheinen sich die Nutzer in ihrer täglichen Arbeit mit der Maus angewöhnt zu haben, da die Wahrnehmung von Bewegung einfacher ist als das Finden eines Musters (Goldstein 2004). Bei der Blickpositionierung entfällt die Zeit zum Suchen des Mauszeigers, woraus die Zeitersparnis resultiert.

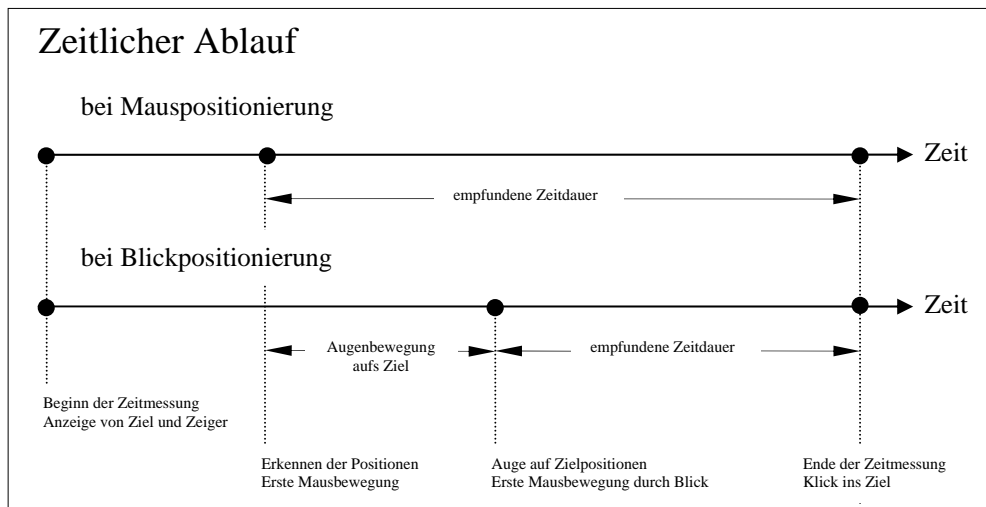


Abbildung 4: Reaktions- und Bewegungszeit bei Maus- und Blickpositionierung ohne Hintergrundbild

5 Ausblick

Durch die Blickpositionierung mit Berührungssensor an der Maus entsteht eine Arbeitsweise bei der die Maus nicht mehr bewegt wird. Im Fall einer Fehlpositionierung durch den Blick wurde die erneute Positionierung meistens wieder über den Blick vorgenommen. Im Gegensatz zum MAGIC-Pointing wo die Maus bewegt werden muss um die Blickpositionierung auszulösen, ist bei der vorgestellten Methode mit Berührungssensor die Maus nicht nötig. Statt des Sensors hätte ebenso ein Tastendruck die Blickpositionierung auslösen können. Bei grafischen Anwendungen die vorwiegend mit der Maus bedient werden ist der Berührungssensor an der Maus vorteilhafter, während bei textorientierten Anwendungen die über die Tastatur bedient werden sich eine Positioniertaste empfiehlt. Die Zeit, die zum Bewegen der Hand von der Tastatur zur Maus benötigt wird (*homing*), ist mit ca. 400 Millisekunden (Card et al. 1980) relativ hoch im Vergleich zur Gesamtdauer einer Zeigeoperation.

Mauseingaben bestehen zum allergrößten Teil im Anklicken eines Zielpunkts oder in der Angabe eines Anfangs- und eines Zielpunkts wie beim Ziehen eines Objekts. Mauseingaben bei denen die exakte Mausspur wichtig ist, z.B. dem Malen mit einem Pinselwerkzeug in einer Grafikanwendung, sind eher selten. Mit der Blickpositionierung auf Tastendruck werden grafische Benutzeroberflächen möglich, die ganz ohne Maus auskommen. Die Vision einer blickgesteuerten grafischen Oberfläche die ohne Maus auskommt, gibt Anlass für weitere Forschung. Von besonderem Interesse könnte hierbei die Nutzung einer Taste der Tastatur zur willentlichen Positionierung der Maus auf die Blickposition sein.

6 Literaturverzeichnis

- Benko, H.; Feiner, S. (2005): Multi-Monitor Mouse, *In Proc. ACM CHI 2005 (CHI'05: Human Factors in Computing Systems) Extended Abstracts*. Portland, Oregon, USA. April 2-7, 2005. pp. 1208-1211.
- Card, S. K.; Moran, T.P.; Newell, A. (1980). *The Keystroke-Level model for user performance time with interactive systems*. Communications of the ACM, 23, 7, 396-410, New York: ACM.
- Eye Response Technologies (2006): The ERICA system: www.eyeresponse.com
- Duchowski, T.D. (2003): *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London: Springer-Verlag, ISBN 1-85233-666-8
- Fitts, P. M. (1954): The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Goldstein, B. (2004): *Cognitive Psychology: Connecting Mind, Research and Everyday Experience*, Wadsworth Publishing, July 2004, ISBN: 0534577261
- Hinckley, K.; Sinclair, M. (1999): Touch-Sensing Input Devices, in Proc. CHI'99:ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, Pittsburgh, 1999
- LC Technologies (2006): Eyegaze Systems
<http://www.eyegaze.com/2Products/Eyefollower/Eyefollower.htm>
- Majaranta, P.; Riih , K.J. (2002): Twenty years of eye typing: systems and design issues, *Proceedings of the symposium on Eye tracking research & applications*, New Orleans, Louisiana, pp 15-22,
- Quantum Research Group (2006): Touch Sensor Chips: <http://www.qprox.com/products/touch.php>
- Zhai, S. Morimoto, C; Ihde, S. (1999): Manual And Gaze Input Cascaded (MAGIC) Pointing, in Proc. CHI'99:ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, Pittsburgh,

Danksagung

Die hier beschriebenen Forschungsarbeiten wurden im Rahmen der Nachwuchsgruppe „Eingebettete Interaktion“ im Aktionsplan Informatik von der DFG gefördert.

Kontaktinformationen

Nachwuchsgruppe „Eingebettete Interaktion“
Lehr- und Forschungseinheit Medieninformatik
Institut für Informatik
Ludwig-Maximilians-Universität München
Heiko Drewes und Albrecht Schmidt

Amalienstraße 17
80333 München
heiko@hcilab.org, albrecht@hcilab.org
www.hcilab.org

Tel.: +49 89/2180-4658