M. Herczeg & M. C. Kindsmüller (Hrsg.): Mensch & Computer 2008: Viel Mehr Interaktion.
München: Oldenbourg Verlag, 2008, S. 157-166

Altersdifferenzierte Untersuchung und Bewertung hybrider Interfaces

Nicole Schneider, Janet Wilkes, Morten Grandt, Christopher M. Schlick

Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University

Zusammenfassung

Der demografische Wandel erfordert neue Konzepte zur Unterstützung älterer Arbeitnehmer bei der Bildschirmarbeit. Speziell die Interaktion mit dem Computer stellt dabei aufgrund der fehlenden Erfahrung, sowie der alterspezifischen Leistungsveränderungen häufig eine Barriere dar. In diesem Artikel wird eine Studie mit 90 Probanden vorgestellt, in der verschiedene hybride Eingabeverfahren, in denen eine blickgesteuerte Eingabemethode mit einem weiteren Eingabemedium kombiniert wird, bezüglich ihrer Einsetzbarkeit und Altersdiversität analysiert wurden.

1 Einleitung

Der demografische Wandel erfordert neue Konzepte, Methoden und einsetzbare Werkzeuge zur Unterstützung älterer Arbeitnehmer. Besonders die Bildschirmarbeit beschreibt dabei, aufgrund der steigenden Technisierung der Arbeitsmittel und der insgesamt eher distanzierten Haltung älterer Arbeitnehmer gegenüber Technik, einen wichtigen Ansatzpunkt. Die Interaktion mit dem Rechner, d.h. der Einsatz traditioneller Eingabemedien, stellt dabei häufig eine Barriere (Charness et al. 1995) und somit Unterstützungspotential älterer Computernutzer dar.

Bei der Untersuchung und Optimierung von Ein- und Ausgabemedien zur Verbesserung der Mensch-Rechner-Interaktion müssen sowohl der Rechner, d.h. die technischen Aspekte von Ein- und Ausgabemedien, als auch der Mensch und seine Fähigkeiten betrachtet werden (Jacob et al. 1993).

Rechnerseitig kann zwischen direkten und indirekten Eingebemedien unterschieden werden (Shneiderman 1998; Hinkley 2008). Direkte Medien, wie bspw. ein Touchscreen, eine Spracheingabe oder eine blickgesteuerte Eingabe, ermöglichen eine direkte Manipulation und erfordern somit kaum Trainingsbedarf. Bei indirekten Eingabemedien hingegen, wie bspw. einer Maus, einem Joystick oder einem Trackball, ist eine Transformation von der Handbewegung in die Bewegung auf dem Bildschirm nötig, die von den Nutzern erst erlernt werden muss (Greenstein 1997).

Betrachtet man nun den Menschen und hier speziell ältere Computernutzer, so führt aufgrund der Abnahme ihrer motorischen Leistungsfähigkeit (siehe Gogging & Stelmach 1990; Park & Schwartz 2000; Walker 1996; Smith 1999; Welford 1981) die traditionelle Eingabe über das indirekte Eingabemedium Maus häufig zu Problemen.

So haben Walker et al. (1996) in einer Studie mit zwölf jüngeren (18-21 Jahren) und zwölf älteren (63-79 Jahren) Probanden ermittelt, dass ältere Computernutzer bei der Eingabe mit der Maus langsamer sind und eine geringere Genauigkeit erzielen. Auch Smith et al. (1999) kamen in ihrer Studie mit 60 Probanden (20 bis 75 Jahren) zu ähnlichen Ergebnissen. Sie konnten ermitteln, dass ältere Probanden, besonders bei komplexeren Aufgaben wie klicken oder doppelklicken, mehr Probleme bei der Eingabe mit der Maus haben als die jüngeren Probanden. Weitere Studien von Riviere et al. (1996) sowie Iwase & Murata (2003) bestätigen diese Leistungsunterschiede zwischen älteren und jüngeren Computernutzern, wobei der altersinduzierte Leistungsunterschied bei schwierigen Aufgaben ausgeprägter ist.

Der Einsatz alternativer Eingabemedien zur Verbesserung der Interaktion zwischen Mensch und Rechner beschreibt somit besonders für ältere Computernutzer ein wichtiges Forschungsfeld (Czaja & Lee 2008; Grandt et al. 2003). Dabei sollten vor allem direkte Eingabemedien, die kein Training nötig machen, im Fokus der Betrachtung stehen (Charness et al. 2004).

Eine direkte, innovative Interaktionsform stellt die sogenannte blickgesteuerte Eingabe dar. Hier wird basierend auf einer berührungslosen Messung der Blickposition, die Ansteuerung der Cursorposition vorgenommen. Im Vergleich zu der Interaktion mit der Maus, die einen Lernprozess im Umgang mit dem Eingabemedium verlangt, wird bei der blickgesteuerten Eingabe versucht, das natürliche Verhalten des Benutzers, ein Objekt zu fokussieren, bei der Eingabe zu nutzen (Jacob et al. 1993), um so eine einfachere und schnellere Bearbeitung im Vergleich zu traditionellen Eingabemedien zu ermöglichen (Ware & Mikaelin 1987). Der Einsatz einer blickgesteuerten Eingabemethode ist jedoch bisher erst wenig erforscht. Erste Studien (Fray et al. 1990; Huchinson et al. 1989; Jacob 1990, 1991, 1993, 1994; Jacob et al. 1994; Sibert & Jacob 2000) beschreiben jedoch Vorteile dieses Eingabemediums für junge Computernutzer. Speziell für ältere Nutzer ist bisher nur eine Studie von Murata (2006) bekannt, in der 44 männliche Probanden untersucht wurden. Bei der traditionellen Kommunikation über die Maus zeigten ältere Benutzer hier deutlich schlechtere Leistung als die Jüngeren, wohingegen bei der blickgesteuerten Eingabe keine Alterseffekte ausgemacht wurden. Vergleicht man jedoch die Leistung älterer Benutzer bezüglich der zwei Interaktionsformen, zeigen diese bei einer blickgesteuerten Eingabe bessere Leistung als auch eine höhere Akzeptanz.

Diese Eingabemethode beschreibt somit einen vielversprechenden Ansatz zur Unterstützung älterer Computernutzer, der genauer analysiert werden sollte. Bei der Umsetzung ist jedoch zu beachten, dass die Funktionalitäten einer Maus nicht ohne weiteres auf eine Blicksteuerung übertragbar sind. Verschiedene Varianten sind denkbar, in denen die Bestätigung der Blickposition über festgelegte Verweilzeiten (Jacob 1993) gesteuert wird, oder aber die blickbasierte Steuerung mit einer weiteren Interaktionsform kombiniert wird (Jacob 1991).

Bei der Eingabebestätigung über Verweilzeiten besteht jedoch die Problematik, ihre optimale Dauer zu bestimmen („Midas Touch Problem“, Jacob 1991). Eine zu kurze Verweilzeit führt dazu, dass der Benutzer durch einfaches „sich umschauen“ Befehle bzw. Funktionen auslöst. Eine zu lang gewählte Verweilzeit wiederum widerspricht dem natürlichen Verhalten des Benutzers und wirkt dem Vorteil der Blicksteuerung, der Reaktionsfreudigkeit und Schnelligkeit, entgegen. Eine bessere Möglichkeit bieten hier sogenannte hybride Eingabeverfahren, in denen die blickbasierte Eingabe mit einer weiteren Interaktionstechnologie kombiniert wird (Sibert & Jacob 2000; Zhai et al. 1999). Dabei ist die Kombination der Interaktionstechnologien für den erfolgreichen Einsatz entscheidend. Unterschiedliche hybride Eingabeverfahren, die Kombination mit einem Button (Xiao et al. 2005; Ware & Mikaelin 1987), einer Spracheingabe (Glenn et al. 1986) sowie mit einer Maus (Zhai et al. 1999) wurden für junge Computernutzer untersucht, Ergebnisse speziell für ältere Computernutzer liegen jedoch nicht vor.

2 Experimentelles Design

Um unterschiedliche hybride Eingabeverfahren speziell auch für ältere Computernutzer zu untersuchen wurde eine umfangreiche Studie mit 90 Probanden durchgeführt. Die blickgesteuerte Eingabe wurde speziell dahingehend analysiert, welche Interaktionstechnologien sinnvoll mit dieser kombiniert werden können und ob diesbezüglich altersspezifische Unterschiede vorliegen. Dazu wurden drei unterschiedliche hybride Eingabeverfahren, welche die Blicksteuerung mit einer Tastatur, einer Sprachsteuerung sowie einem Fußpedal zur Eingabebestätigung kombiniert, untersucht.

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 90 Probanden zwischen 20 und 75 Jahren (Durchschnittsalter: 47,5 Jahre, SD=16,77) teil, davon waren 36 weiblich und 54 männlich. Für die Auswertung des Experiments wurden die Probanden in drei Altersklassen aufgeteilt (I: 20-39, II: 40-59, III: 60-75 Jahre), wobei jede Altersklasse aus 30 Teilnehmern bestand. In der ersten Altersklasse betrug das Durchschnittsalter der Probanden 27 Jahre, in der zweiten Klasse 50 Jahre und in der dritten Altersklasse 65 Jahre.

Der größte Teil der Probanden (62%) hatte Abitur, 8 Teilnehmer gaben an, einen Hauptschulabschluss zu haben. Bezüglich ihrer akademischen Ausbildung gaben 44% der Befragten an, ein Studium abgeschlossen zu haben, während die zweitgrößte Gruppe der Probanden (30%) eine Ausbildung absolviert hatte. Der Großteil der Teilnehmer der ersten Altersklasse befand sich zum Zeitpunkt der Untersuchung im Studium (47%), oder hatte bereits ein Studium absolviert (43%). Aus der gesamten Stichprobe von 90 Teilnehmern waren 32 Probanden zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht mehr erwerbstätig, wobei bei 13 dieser Personen die Zeit ihrer Berufstätigkeit bereits mehr als fünf Jahre zurücklag.

Die Quote der täglichen Computernutzung lag bei 80%. 79% der Teilnehmer besaßen einen eigenen Computer und nur bei 4 Probanden befand sich kein Computer im Haushalt. Email-

Programme und das Internet wurden von mehr als 70% der Probanden täglich verwendet. Keiner der Probanden hatte Erfahrung in der Verwendung eines blickgesteuerten Eingabemediums.

2.2 Methodik

2.2.1 Messinstrumentarium

Die blickgesteuerte Eingabe wurde mit einem Tobii T/X 120 System vorgenommen, welches durch Integration der Eye-Tracking-Sensorik in einen 17“ Monitor eine berührungslose Steuerung ermöglicht. Die so aufgenommene Blickposition wurde mit einer Standardtastatur der Firma Cherry (Modell G80-3000), einem selbstkonzipierten Fußpedal, welches auf einer PC- Maus aufsetzt, sowie der Software VoCon 2.1 der Firma Phillips zur Sprachsteuerung kombiniert. Die Kopfposition der Probanden wurde während des Versuchs mit einer Kinnstütze fixiert.

2.2.2 Aufgabe der Probanden

Mit Hilfe der drei hybriden Eingabeverfahren mussten die Probanden unterschiedlich große Rechtecke in eine vorgegebene Zielposition verschieben (siehe Abbildung 1).

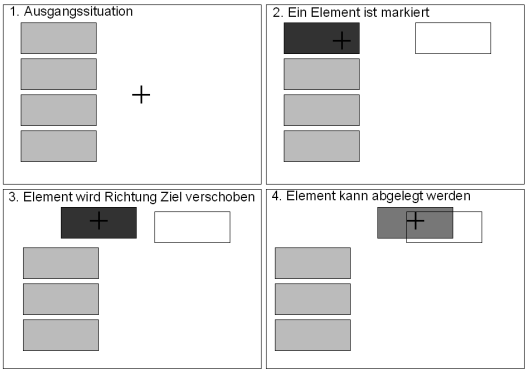

Abbildung 1: Darstellung der Aufgabenstellung

Diese Aufgabe kann in vier Teilaufgaben unterteilt werden, erstens das Objekt auswählen, zweitens Auswahl bestätigen, drittens das Objekt in die Zielposition verschieben und viertens in der Zielposition ablegen. Entsprechend Untersuchungen von Jacob (1991) wurden diese Aufgaben zwischen den zwei Interaktionsmedien so aufgeteilt, dass das natürliche, automatische Fixieren eines Objektes auf dem Bildschirm dazu ausgenutzt wurde das Objekt möglichst schnell auszuwählen bzw. in die Zielposition zu verschieben (Ware & Mikaelin 1987). Die Bestätigung der Auswahl des Objektes sowie der Zielposition wurde entsprechend mit Hilfe einer der drei zusätzlichen Interaktionsformen vorgenommen. Bei der Kombination der blickgesteuerten Eingabe mit der Tastatur wurde das Objekt durch Betätigen der

Space-Taste ausgewählt sowie abgelegt. Bei der Kombination mit der Sprachsteuerung erfolgte dies durch die Wörter „Okay“ oder “Ja“ sowie beim Fußpedal durch Betätigung desselben.

2.2.3 Unabhängige Variablen

Die Alterklasse sowie die verschiedenen hybriden Eingabeverfahren wurden als unabhängige Variablen betrachtet. Des Weiteren wurden drei experimentelle Faktoren, die Größe der Objekte (58*38pixel^2, 164*82pixel^2, 224*102pixel^2, 280*126pixel^2), ihre Richtung (oben, unten, links, rechts) sowie die Entfernung zur Zielposition (320pixel, 640pixel) variiert.

2.2.4 Abhängige Variablen

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit sowie die Güte (Fehler) wurden als abhängige Variablen aufgenommen. Dabei wurden die Aufgaben, welche von den Probanden nicht gelöst werden konnten als Fehler bewertet. Dazu wurde nach 15 sec, falls der Proband die Aufgabe bis dahin nicht gelöst hatte, die Aufgabe abgebrochen ein Fehler vermerkt und die nächste Aufgabe dargestellt. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit bezieht sich entsprechend auf die richtig gelösten Aufgaben. Zusätzlich zu diesen objektiven Variablen wurde die Aufgabenschwierigkeit mit Hilfe der ZEIS-Skala, einer Zwei-Ebenen-Intensitäts-Skala von Pitrella & Käppler (1998), durch die Probanden beurteilt. Dabei erfolgt zunächst eine Grobschätzung der Aufgabenschwierigkeit in die Kategorien „Schwierig“, „Mittel“ oder „Leicht“ und anschließend eine feingranularere Unterscheidung auf einer 11-Stufen umfassenden Ratingskala.

2.2.5 Versuchsdurchführung

Zu Beginn der Untersuchung wurde das Tobii System für die Blickbewegungsmessung der Probanden kalibriert. Anschließend hatten die Probanden die Möglichkeit die Aufgabe mit jedem Eingabemedium zu trainieren. In der daran anschließenden Untersuchung mussten diese dann 3 Blöcke mit jeweils 32 Aufgaben (entsprechend der Anzahl möglicher Kombinationen, Größe*Distanz*Position), mit jedem der drei hybriden Eingabeverfahren bearbeiten, wobei die Reihenfolge der 32 Aufgaben innerhalb eines Blocks zufällig bestimmt wurde. Zwischen den Blöcken war eine kurze Pause (15 sec) und nach jeweils 3 Blöcken, d.h. zwischen den hybriden Eingabeverfahren, hatten die Versuchspersonen eine längere Erholungsphase (5 min), in der sie die gerade verwendete Technologie mit Hilfe der ZEIS-Skala bewerteten. Die Reihenfolge der Versuchsbedingungen war zwischen den Probanden ausbalanciert.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der hybriden Eingabeverfahren anhand der Reaktionszeit, Güte und der subjektiven Bewertung durch die Probanden beschrieben. Die Ergebnisse konnten nach Eliminierung von Ausreißern sowie aufgrund von Kalibrierungsschwierigkeiten, bspw. ausgelöst durch starkes Schielen, nur für 82 Datensätze ausgewertet werden.

3.1 Bearbeitungszeit

Die Auswertung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (aller hybriden Eingabeverfahren) ergibt einen signifikanten Haupteffekt bezüglich der Altersgruppen (F=16,310; df= 2; p=0,000). Nach den post-hoc durchgeführten paarweisen Mittelwertsvergleichen sind signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen den 20-39-Jährigen und 40-59-Jährigen, sowie zwischen den 20-39-Jährigen und 60-75-Jährigen vorhanden. Dabei wiesen die 20-39-Jährigen die schnellsten Reaktionszeiten und die 60-75-Jährigen benötigten die meiste Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben.

Bei Betrachtung der Bearbeitungszeiten hinsichtlich der unterschiedlichen hybriden Eingabeverfahren, d.h. Kombinationen der blickgesteuerten Interaktion mit weiteren Interaktionsmedium (Fußpedal, Sprachsteuerung, Tastatur) ergibt sich ebenfalls ein signifikanter Effekt (F=121,804; df=2; p=0,000). Die Kombination mit der Tastatur weist die kürzeste Bearbeitungszeit auf und unterscheidet sich signifikant von der Eingabebestätigung über die Sprache und das Fußpedal. Die Eingabe über das Fußpedal unterscheidet sich signifikant von dem hybriden Eingabeverfahren in welchem die blickgesteuerte Eingabe mit einer Sprachsteuerung kombiniert wird, dieses weist die längste Bearbeitungszeit auf (siehe Abbildung 2).

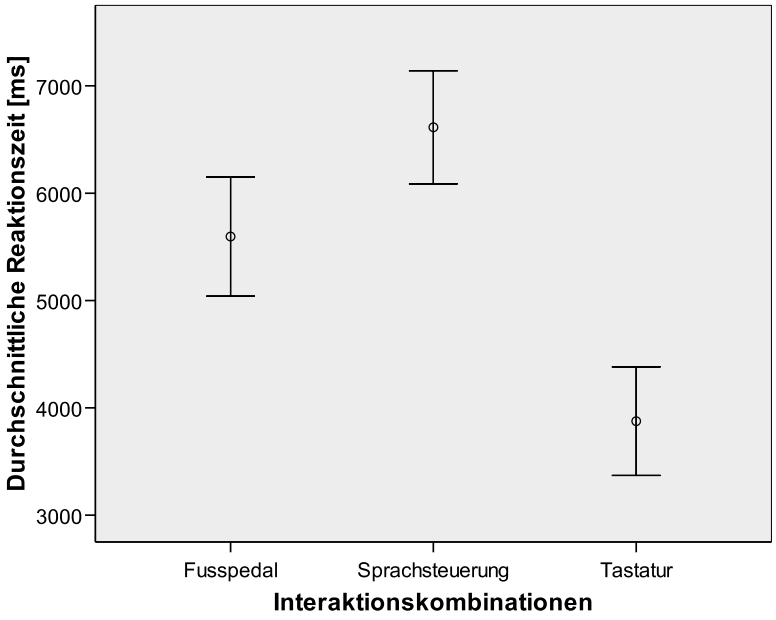

Abbildung 2: Durchschnittliche Zeit für die Bearbeitung einer Aufgabe

Dieses Ergebnis ist unabhängig von der Altersgruppe der Probanden, d.h. die Kombination der blickgesteuerten Eingabe mit der Tastatur führt bei den Probanden aller Altersgruppen zu den besten Bearbeitungszeiten (siehe Abbildung 3).

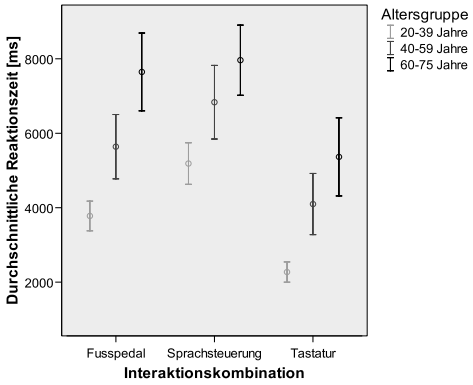

Abbildung 3: Durchschnittliche Bearbeitungszeit für die drei hybriden Eingabeverfahren gruppiert nach Altersgruppe (aufsteigend von links nach rechts)

3.2 Güte

Bezüglich der Anzahl nicht gelöster Aufgaben (alle hybriden Eingabeverfahren) liegt ein Alterseffekt vor (F=9,618; df=2; p=0,000), d.h. die Altersgruppen unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl nicht gelösten Aufgaben bzw. Fehlern. Dabei lösen die 20-39-Jährigen signifikant mehr Aufgaben richtig als die 60-75-Jährigen.

Bezüglich der unterschiedlichen hybriden Eingabeverfahren ergibt sich hier ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt (F=38,993; df=1,660; p=0,000). Nach den post-hoc durchgeführten paarweisen Mittelwertsvergleichen liegen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen allen drei hybriden Eingabeverfahren vor. Entsprechend der durchschnittlichen Bearbeitungszeiten schneidet die Kombination mit der Tastatur am besten ab und die Kombination der blickgesteuerten Eingabe mit einer Sprachsteuerung führt zu den schlechtesten Ergebnissen (siehe Abbildung 4).

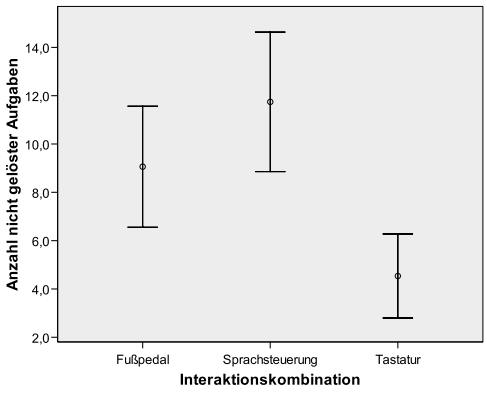

Abbildung 4: Anzahl nicht gelöster Aufgaben

3.3 Subjektive Bewertung der Aufgabenschwierigkeit

Auch die subjektive Bewertung (von 0 bis 10; 0-sehr leicht; 10-sehr schwierig) der hybriden Eingabeverfahren durch die Probanden spiegelt die in Bezug auf die Leistungsmaße gewonnenen Ergebnisse wieder. Dabei unterscheiden sich die subjektiven Bewertungen aller drei Interfaces signifikant (F=104.665; df=1,638; p=0.000) voneinander. Die Probanden wählten die Kombination der blickgesteuerten Eingabe mit der Tastatur als das einfachste Interface und die Kombination mit der Sprachsteuerung als schwierigstes.

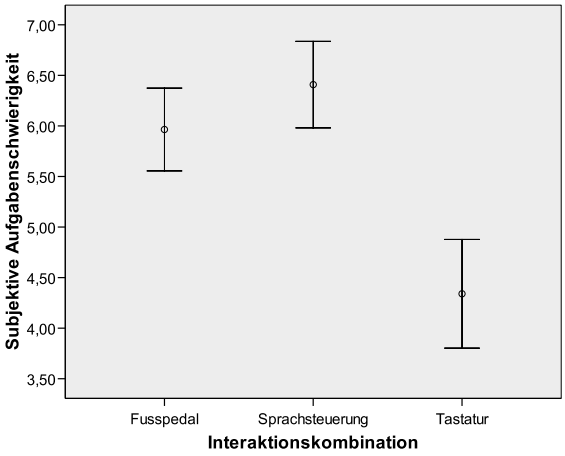

Abbildung 5: Subjektive Bewertung der Aufgabenschwierigkeit der drei hybriden Eingabeverfahren mit Hilfe der ZEIS-Skala

Betrachtet man die unterschiedlichen Altersgruppen hinsichtlich ihrer subjektiven Bewertung liegt ein signifikanter Effekt von (F=6.718; df=2; p=0.002) vor. Die paarweise durchgeführten Mittelwertsvergleiche decken hier signifikante Unterschiede zwischen den 20-39-Jährigen und den 60-75-Jährigen auf. Dabei bewerten die Jüngeren die Aufgaben als „einfacher“ als die älteren Probanden. Bezüglich der Bewertung der Rangreihenfolge der Interaktionskombinationen hinsichtlich ihrer Schwierigkeit liegt zwischen den Altersgruppen jedoch kein Unterschied vor.

4 Diskussion

In der hier beschriebenen Studie wurden drei unterschiedliche hybride Eingabeverfahren hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit sowie Altersdiversität analysiert. Die Ergebnisse zeigen auf, dass für den erfolgreichen Einsatz das Medium entscheidend ist, mit welchem die blickgesteuerte Eingabe kombiniert wird. Alle drei hybriden Eingabeverfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Bearbeitungszeit, Fehlerrate und subjektiven Bewertung durch den Probanden, signifikant voneinander. So führt die Kombination der blickgesteuerten Eingabe mit der

Tastatur unabhängig vom Alter zur besten Leistung (Zeit, Anzahl Fehler, subjektive Aufgabenschwierigkeit). Die Kombination mit der Sprachsteuerung schneidet hier am schlechtesten ab. Dieses schlechte Abschneiden der Sprachsteuerung kann durch die leichte Verzögerung bei der Eingabebestätigung erklärt werden.

Betrachtet man die drei unterschiedlichen Altersgruppen, so ist festzuhalten, dass die drei Interfaces in allen Altersklassen einen ähnlichen Effekt induzieren, d.h. die Kombination mit der Tastatur zu einer Leistungssteigerung (Zeit, Fehler) und die Kombination mit der Sprachsteuerung zu einer Verringerung der Leistung (Zeit, Fehler) führt. Dies induziert, dass bezüglich der Eingabekombinationen keine altersdifferenzierte Unterscheidung vorgenommen werden muss, d.h. die ältere Computernutzer benötigen keine andere Kombination als die Jüngeren, sondern ein „Design for All"- Ansatz verfolgt werden kann.

Literaturverzeichnis

Charness, N., Bosmann, E.A. & Elliott, R.G. (1995). Senior-Friendly Input Devices: Is the Pen Mighter than the Mouse. 103rd Annual Convention of the American Psychological Association Meeting.

Charness, N., Holley, P., Feddon, J. & Jastrzembski, T. (2004). Light pen use and practice minimize age and hand performance differences in pointing tasks. Human Factors, 46, 373-384.

Czaja, S.J. & Lee, C.C. (2008). Information technology and older adults. In Hollander, M. G., Landauer, T. K. & Prabhu, P.V. (Hrsg.) Handbook of Human-Computer Interaction, 777-792.

Fray, L.A., White, K.P. & Huchinson, T.E. (1990). Eye-gaze word processing. IEEE Transactionon System, Man, and Cybernetics, 20, 944–950.

Glenn, F.A., Iavecchia, H.P., Ross, L.V., Stokes, J.M., Weiland, W.J., Weiss, D. & Zakland, A.L. (1986). Eyevoice- controlled interface. Proceedings of the Human Factors Society, 322-326.

Grandt, M., Pfendler, C. & Mooshage, O. (2003). Empirical Comparison of Five Input Devices for Anti-Air Warfare Operators. Proceedings of the 8th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS) on "Information Age Transformation".

Greenstein, J.S. (1997). Pointing devices. In Helander, M. & Landauer, T. K. (Hrsg.) Handbook of Human-Computer Interaction, 1317-1348.

Gogging, N.L. & Stelmach, G.E. (1990). Age-related Differences in a Kinematic Analysis of Precued Movements. Canadian Journal on Aging, Vol. 9, 371-385.

Hinkley, K. (2008). Input Technologies and Techniques. In Hollander, M. G., Landauer, T. K. & Prabhu, P.V. (Hrsg.) Handbook of Human-Computer Interaction, 161-176.

Huchinson, T.E., White, K.P., Martin, W.N., Reichert, K.C. & Frey, L.A. (1989). Human–computer interaction using eye-gaze input. IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, 19, 1527–1534.

Iwase, H. & Murata, A. (2003). Design Proposal to Assist Older Adults in Using a Computer Mouse. IEICE Trans Inf & Syst, Vol. E86-D, No 1.

Jacob, R.J.K. (1990). What you look at is what you get: Eye-movement-based interaction techniques. Proceedings of ACM CHI'90, 11–18.

Jacob, R.J.K. (1991). The use of eye movements in human-computer interaction techniques: What you look at is what you get. ACM Transactions on Information Systems, 9, 152–169.

Jacob, R.J.K. (1993). Eye movement-based human-computer interaction techniques: Toward non-command interfaces. In Harston, H. R. & Hix, D. (Hrsg.), Advances in human–computer interaction, Vol. 4, 151–19.

Jacob, R.J.K., Leggett, J.J., Myers, B.A. & Pausch, R. (1993). An Agenda for Human-Computer Interaction Research: Interaction Styles and Input/Output Devices. Behaviour & Information Technology, Vol. 12, 69-79.

Jacob, R.J.K. (1994). Eye tracking in advanced interface design. In Barfield, W. & Furness, T. (Hrsg.), Advanced interface design and virtual environments , 212–231.

Jacob, R.J.K., Sibert, L.E., Mcfarlanes, D.C. & Mullen, M.P. (1994). Integrality and separability of input devices. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 2–26.

Murata, A. (2006). Eye-Gaze Input Versus Mouse: Cursor Control as a Function of Age. International Journal of Human–Computer Interaction, Vol 21, 1-14.

Pitrella, F.D. & Käppler, W.D. (1988). Identification and Evaluation of Scale Design Principles in the Development of the Extended Range, Sequential Judgement Scale. Bericht Nr. 80. Wachtberg: Forschungsinstitut für Anthropotechnik.

Riviere, C.N. & Thakorn N.V. (1996). Effects of age and disability on tracking tasks with a computer mouse: Accuracy and linearity. Journal of Rehabilitation Research and Development

Shneiderman B. (Hrsg.) (1998). Designing the User Interface

Sibert, L.E. & Jacob, R.J.K. (2000). Evaluation of eye gaze interaction. Proceedings of CHI2000, 282-288.

Smith, M.W., Sharit, J. & Czaja, S.J. (1999). Aging, Motor Control, and the Performance of Computer Mouse Tasks. Human Factors, Vol. 41, No 3, 389-396.

Schneider, N., Schreiber, S., Wilkes, J., Grandt, M. & Schlick, C. (2007). Investigation of Adaptation Dimensions for Age-Differentiated Human-Computer Interfaces, 12th International Conference on Human-Computer Interaction Juli 2007, Beijing.

Park, D.C. & Schwartz, N. (Hrsg.) (2000) Cognitive Aging: A Primer. Psychology Press.

Walker, N., Millians, J. & Worden, A. (1996). Mouse Acceleration and Performance of older Computer Users. Processings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting, 151-154.

Ware C. & Mikaelin H.H. (1987). An evaluation of an eye tracker as a device for computer input. Proc. ACM CHI'87, 183-188.

Welford, AT. (1981). Signal, noise, performance, and age. Human Factors, Vol. 23(1), 97-109.

Xiao, M., Hyppolite, J.R., Pomplun, M., Sunkara, S. & Carbone, E. (2005). Compensating for the Eye-Hand Span Improves Gaze Control in Human-Computer Interfaces. Proceeding of the HCI 2005.

Zhai, S., Morimoto, C. & Ihde, S. (1999). Manual and Gaze Input Cascaded (MAGIC) Pointing. Proc. ACM CHI'99, 246-253.