

DIE FÜNF-FINGER-MAUS: EINE FALLSTUDIE ZUR SYNTHESE VON HARDWARE, SOFTWARE UND PSYCHOLOGIE

Ackermann, D.¹, Nievergelt, J.²; Zürich

Zusammenfassung: Um die Funktionalität der menschlichen Hand auszunützen wurde eine Fünf-Finger-Maus entwickelt und in interdisziplinärer Zusammenarbeit getestet. Das Gerät ist zur Dialogsteuerung geeignet. Fehler werden analysiert und Verbesserungen im Dialog vorgeschlagen. Die Möglichkeit der individuellen Funktionszuordnung vermindert die Fehlerrate. Die Wahl eines aufgabengerechten Eingabemediums vermindert die Beanspruchung.

1. Die Maus als Mittel der Dialogsteuerung

Die Maus gewinnt als Mittel der Dialogsteuerung immer mehr an Bedeutung. Die durch den Xerox Alto Computer bekanntgewordene Maus hat drei Tasten, ihr Nachfolger beim Xerox Star nur noch deren zwei. Die Maus des Macintosh von APPLE verfügt lediglich über eine Taste nach dem Motto: "If you can press only one button, you can't press the wrong one". Die operationalen Möglichkeiten des Geräts bedingen entsprechende Dialogstrukturen. Die von APPLE eingesetzte Maus mit einer einzigen Taste erfordert beispielsweise das Arbeiten mit Symbolen und schränkt den Einsatz auf Zeigen und Auswählen ein. Ein komplexeres Werkzeug verlangt ein angepasstes Design der Software.

Der Trend zu "einfachen Mäusen" wird dadurch begründet, dass der Benutzer durch zuviele Tasten verunsichert werde. Diese Erklärung hält allerdings einer genaueren Ueberprüfung nicht stand, denn typische Anwendungsprogramme bilden Dutzende logisch verschiedener Befehle auf weniger Tasten ab. Dazu werden unterschiedliche Diskriminationsmöglichkeiten verwendet. So kann sich etwa ein schneller Doppelklick von zwei langsam aufeinanderfolgenden Clicks unterscheiden, oder die Bedeutung wird durch die Shift- oder Control-Taste auf der Tastatur modifiziert.

Die Vermutung liegt nahe, dass tatsächlich nicht die Anzahl der Tasten die Kontrolle erschwert und den Benutzer verwirrt, sondern die verschiedenartigen und sich ändernden Funktionen, die zu verschiedenen Zeitpunk-

ten derselben Taste zugeordnet werden. Falls dasselbe Element der Maus unabhängig von der Dialogumgebung immer dieselbe Funktion auslöst, müsste entsprechend der Anzahl der Finger der Hand eine Maus mit fünf Tasten einsetzbar sein.

2. Die Beweglichkeit der menschlichen Hand und eine angepasste "Fünf-Finger-Maus".

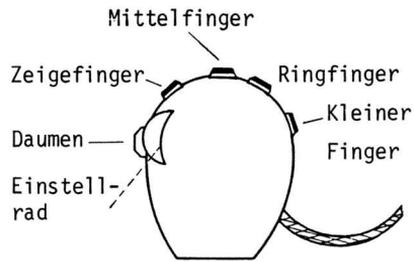


Fig. 1: Skizze der Fünf-Finger-Maus

In der in Fig.1 skizzierten Maus sind fünf Tasten integriert. Daumen und Zeigefinger verfügen über den grössten Bewegungsspielraum und eignen sich somit besonders zur Feineinstellung, dementsprechend sind auch die erste und zweite Taste als Analogeingaben ausgeführt, während die übrigen drei Tasten nur zwei Positionen erlauben. Mit den traditionellen "Mäusen" hat die Fünf-Finger-Maus an der Unterseite die Kugel zur Cursor-Steuerung gemeinsam. Dieses Gerät wurde in Zusammenarbeit mit dem Yokosuka Electrical Communication Laboratory, NTT (Nippon Telegraph and Telephone), entwickelt [5]. Die Firma NTT prüft die Möglichkeit, die Fünf-Finger-Maus als "persönliche Maus" auszurüsten, die wie ein "Taschencomputer" mitgetragen und bei Bedarf an den zur Verfügung stehenden Computer angeschlossen wird.

Im dem hier zu besprechenden Experiment wurde die Daumen- und Zeigefingertaste nicht analog sondern digital genutzt und die zusätzliche Umschaltfunktion der Daumentaste wie auch die Drehscheibe zur Cursorpositionierung nicht verwendet.

3. Pilotstudie zum Einsatz eines komplexen Eingabewerkzeuges

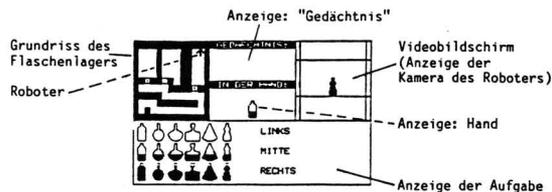
Zur Evaluation der Fünf-Finger-Maus führten wir in interdisziplinärer Zusammenarbeit ein kontrolliertes Experiment durch. Das Ziel dieser gemeinsamen Arbeit ist, die Frage der generellen Einsetzbarkeit der Fünf-Finger-Maus zu klären und aus den gewonnenen Erkenntnissen Hinweise für das Softwaredesign und einen optimalen Einsatz herzuleiten.

3.1 Fragestellung und Aufgabe

Aus der Sicht der von Ulich [6,7] formulierten Prinzipien der differentiellen und dynamischen Arbeitsgestaltung und den daraus abgeleiteten theoretischen Weiterungen interessieren im vorliegenden Zusammenhang folgende Fragen:

- (1) Wodurch werden Handlungsfehler beim Einsatz der Maus verursacht?
- (2) Welche Möglichkeiten zur Individualisierung des Dialoges bestehen und wie wirken sie sich auf die Effizienz der Tätigkeit aus?
- (3) Gibt es Unterschiede in Belastung/Beanspruchung zwischen den Eingabemedien?

Diese Fragen sollten mit Hilfe eines von Ackermann [1] entwickelten Computerspiels beantwortet werden. Das von früheren Versuchspartnern so benannte Spiel "Robi Otter" umfasst die simulierte Steuerung eines Roboters auf dem Bildschirm. Die Aufgabe der Versuchspartner besteht darin, mit Hilfe des Roboters Flaschen nach ihrem Füllungsgrad in drei Kammern zu sortieren [1,2]. Die Bildschirmgestaltung wie auch die für die Steuerung möglichen Grundbefehle sind in Fig. 2 dargestellt. In der normalerweise verwendeten Spielversion können die Grundbefehle zu Macros zusammengefasst werden. Dadurch wird es je nach "cleverness" des Spielers ermöglicht, den Handlungsspielraum der Tätigkeit weitgehend selbst zu gestalten und an individuelle Bedürfnisse anzupassen.



Befehle (Spielversion "Fünf-Finger-Maus")

GEHE	Der Roboter geht einen Schritt (= 1 Feld) in der Pfeilrichtung
DREHE	Der Roboter dreht sich um 90 Grad im Gegenuhrzeigersinn
OEFFNE	Der Roboter öffnet die Türe, ist keine vorhanden, meldet er den Fehler
NIMM	Der Roboter nimmt eine Flasche aus dem Regal. Ist dieses leer oder gar nicht vorhanden, meldet er den Fehler.
DEPONIERE	Der Roboter deponiert die Flasche, die er mit sich trägt. Ist kein Regal vorhanden, oder das Fach voll, so meldet er das. Es darf jeweils nur eine Flasche im Fach sein.

Fig. 2: Anleitung zum Computerspiel

3.2 Versuchsplan

Der im folgenden skizzierte Versuchsplan diente der experimentellen Ueberprüfung der vorher genannten Fragestellungen. Um zusätzlich (1) die Eigenschaften der einzelnen Komponenten der Maus wie Funktionstasten und Cursorsteuerfunktion (Kugel) feststellen und (2) mit dem gewohnten Eingabemedium "Tastatur" vergleichen zu können, wurden die Versuche nach folgendem Plan (Tab. 1) durchgeführt:

Gruppe/ Versuchspartner	1. Versuch	2. Versuch	N
1 Laien	Maus mit vorgegebener Tastenzuordnung ohne Kugel (MV)	Maus mit vorgegebener Tastenzuordnung mit Kugel (MV + K)	5
2 Laien	Tastatur (Keyboard) (KB)	Maus mit vorgegebener Tastenzuordnung mit Kugel (MV + K)	5
3 Laien	Maus mit individueller Tastenzuordnung ohne Kugel (MI)	Maus mit individueller Tastenzuordnung mit Kugel (MI + K)	5
4 Experten ¹	Maus mit individueller Tastenzuordnung mit Kugel (MI + K)	Maus mit individueller Tastenzuordnung ohne Kugel (MI)	5

¹Als Experten gelten Studenten der ETH-Abteilung Elektrotechnik, die gleichzeitig in einer Semesterarbeit Programme für die Robotersteuerung mit Hilfe des eingebauten Befehlseditors entwickelt haben und deren Auswirkungen auf Effizienz und Handlungsspielraum untersuchten. Als Laien gelten Versuchspartner, die kaum über Computererfahrung verfügen.

Tab. 1: Versuchsplan und Versuchsbedingungen

Die Versuchspartner wurden angewiesen, die Flaschen so schnell wie möglich zu sortieren. Die Belegung der Tasten wurde allen Versuchspartnern auf einem Blatt graphisch aufgezeichnet und als Gedächtnisstütze auf die Arbeitsfläche neben den Computer gelegt. Jeder Versuchspartner spielte das Spiel zweimal hintereinander, mit einer Pause von ca 15 Minuten zwischen den Spielen. Im Versuchsplan war eine Spieldauer von 1 Stunde pro Versuchsdurchgang vorgesehen, die aber kaum voll ausgenutzt wurde (Durchschnittliche Spieldauer: 30min). Vor und nach jedem Spiel hatten die Teilnehmer den Fragebogen EZ (Eigenzustandsskala nach Nitsch [4]) auszufüllen. Hier interessierte besonders die erlebte Beanspruchung. Ein standardisiertes Interview

erfasste die Gründe für die Funktionszuordnungen bei individueller Spielweise und die allgemeine Beurteilung der Fünf-Finger-Maus durch die Versuchspartner.

Für die vorliegende Untersuchung wurden nur die Grundbefehle GEHE, DREHE, DEPONIERE, NIMM und OEFFNE verwendet, welche gemäss dem nachstehenden Versuchsplan entweder vorgegeben oder den fünf Funktionstasten der Maus individuell zugeordnet werden konnten. Die individuelle Zuordnung liess sich während des Spiels jederzeit ändern. Der Roboter kann mit der Kugel in alle Richtungen gesteuert werden und der DREHE-Befehl wird nur noch zur Ausrichtung des Roboters benötigt. Die Kugel d.h. die Steuerfunktion der Maus kann vom Versuchsleiter abgeschaltet werden. Beim Spiel mit der Tastatur müssen nur die zur eindeutigen Identifikation der Befehle notwendigen Buchstaben eingetippt werden. Für die vorgegebene Tastenbelegung wurde die Zuordnung der Funktionen von den Versuchsleitern (Studenten der Informatik) nach ihren Präferenzen und Kenntnissen festgelegt und in je zwei Spielen (fehlerfrei) ausgetestet. Der Spielzustand wie auch alle Operationen des Versuchspartners und deren Konsequenzen wurden in einem Logfile festgehalten.

3.3 Ergebnisse

Die nachstehend berichteten Ergebnisse sind, wo nicht anders erwähnt, statistisch gesichert: Zwischen den Spielen innerhalb der Gruppen mittels des WILCOXON-Paardifferenzen Tests (mind $p < .05$), zwischen den Gruppen mit dem MANN-WHITNEY U-Test (mind $p < .05$).

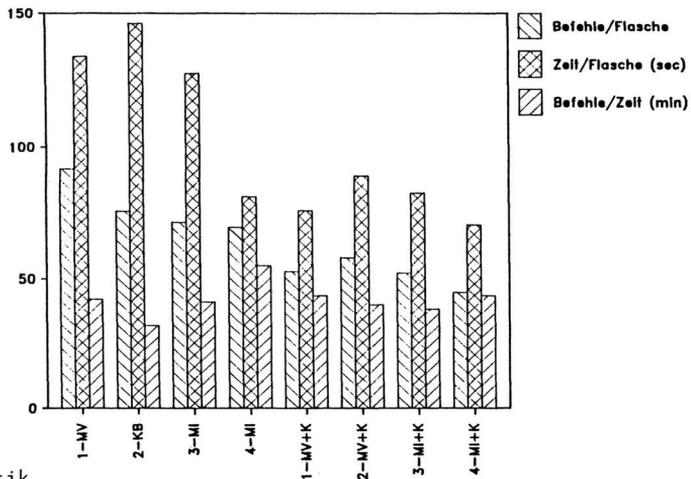


Fig. 3:
Befehlsstatistik

3.3.1 Benötigte Zeit und Anzahl Befehle. Am meisten Zeit pro Flasche wird bei der Verwendung der Tastatur als Eingabemedium benötigt (Gruppe 2 KB, Fig. 3), pro Minute werden am wenigsten Befehle eingegeben. Spieler mit der Möglichkeit, die Funktionen den Tasten individuell zuzuordnen (Gruppe 3 MI) benötigen im ersten Spieldurchgang kaum mehr Befehle pro Flasche als Spieler der erwähnten Gruppe 2 KB. Im Unterschied zu diesen beiden Gruppen braucht die Gruppe 1 MV mit vorgegebener Tastenbelegung mehr Befehle pro Flasche.

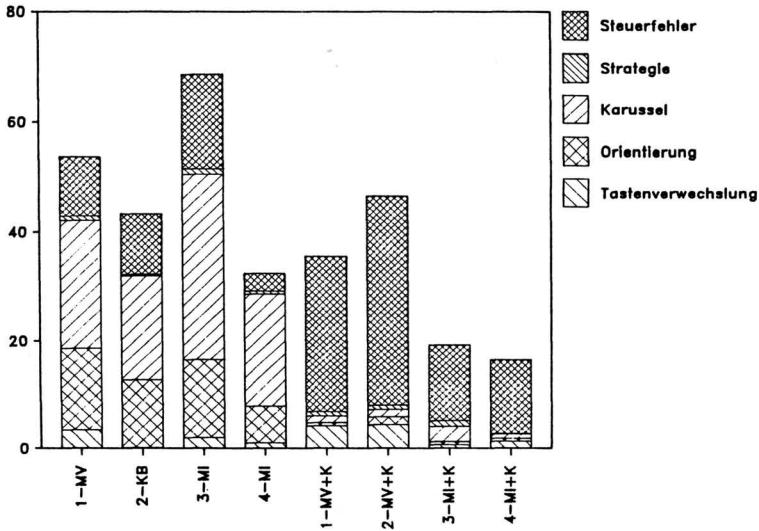


Fig. 4: Fehlerstatistik

3.3.2 Fehler und Probleme. Beim Einsatz der Kugel (Steuerfunktion) verringern sich die sogenannten Karussell-Fehler, d.h. das wiederholte sinnlose Drehen des Roboters "an Ort" um die eigene Achse (Fig. 4). Es fällt auf, dass beim Einsatz der Tastatur (Gruppe 2 KB) diese Karussell-Fehler gleich häufig auftreten. Versuchspartner mit der Möglichkeit, die Befehle den Tasten individuell zuzuordnen, verwechseln die Funktionen weniger häufig als Versuchspartner bei vorgegebener Tastenbelegung, bei der Arbeit mit der Tastatur kommen Funktionsverwechslungen überhaupt nicht vor. Wird die Kugel zur Robotersteuerung eingesetzt, nehmen Funktionsverwechslungen in den Gruppen 1 und 2 (signifikant) und 4 zu. Eine leichte Abnahme ist in Gruppe 3 zu beobachten, welche aber durch Strategiefehler und Orientierungsverluste (z.B. OEFFNE in falscher Stellung) sowie Karussellfehler ausgeglichen wird.

3.3.3 Individuelle Funktionszuordnungen. Die Laien geben im Interview an, sie hätten die Funktionen nach antizipierter Häufigkeit und Reihenfolge der Funktionsnutzung sowie nach der Beweglichkeit der Finger zugeordnet (Tab. 2). Die Experten, welche mit dem Spiel und der Aufgabe sehr vertraut waren und daher die Häufigkeit der Grundbefehle kannten (Ackermann, [2]), belegten die Tasten entsprechend ihrer eigenen Spielstrategie und änderten die Funktionszuordnung bei Bedarf.

Maus-Tastenbelegungen

a) Vorgegeben

	Daumen	Zeige- finger	Mittel- finger	Ring- finger	kleiner Finger
DREHE		GEHE	DEPONIERE	OEFFNE	NIMM

b) Individuell

Von den Versuchspartnern gewählte Belegungen der Gruppe 3
(MI/MI+K) "Laien"
(inkl. Umdefinitionen, dadurch Mehrfachnennungen möglich)

	Daumen	Zeige- finger	Mittel- finger	Ring- finger	kleiner Finger
GEHE	IIIII	I			
DREHE		IIIII	I		
OEFFNE			IIIII	I	
DEPONIERE				I	IIIII
NIMM	I			IIII	I

Von den Versuchspartnern gewählte Belegungen der Gruppe 4
(MI+K/MI) "Experten"
(inkl. Umdefinitionen, dadurch Mehrfachnennungen möglich)

	Daumen	Zeige- finger	Mittel- finger	Ring- finger	kleiner Finger
GEHE	IIII	I	II	I	I
DREHE	IIII	III			II
OEFFNE	I	II	III		III
DEPONIERE			I	IIIII	III
NIMM		III	III	III	

Tab. 2: Vorgegebene und individuelle Funktionszuordnungen

3.3.4 Beanspruchung. Die Auswertung der Antworten der Eigenzustandsskala (Nitsch, [4]) zeigt, dass die Lösung der Aufgabe mit Hilfe der Tastatur am stärksten beansprucht (Fig. 5). Wird die Kugel zur Robotersteuerung eingesetzt, so ist die Aufgabe eindeutig weniger belastend. Dies lässt sich nicht auf Ermüdung zurückführen, wie das Beispiel der Gruppe 4 (Experten) zeigt, welche im Gegensatz zu den andern Gruppen die Kugel zur Robotersteuerung im ersten Spieldurchgang einsetzen konnte. In den entsprechenden Aus-

gangswerten der Eigenzustandsskala ist zwischen den Gruppen kein Unterschied feststellbar.

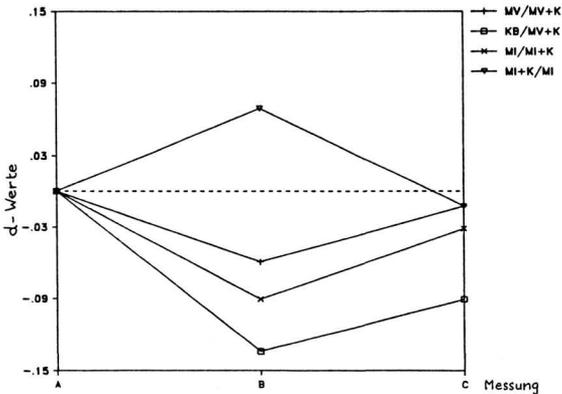


Fig. 5: Beanspruchung in d-Werten nach Nitsch [4]

3.4 Diskussion und Hinweise zum Softwaredesign

Das Steuerelement der Maus, die Kugel, führt zu einer Optimierung des Dialogprozesses. Wesentlich ist dabei die Eigenschaft, GEHE-Befehle zu einer Operationseinheit zusammenfassen zu können. Dies erleichtert die Ueberwachung der Robotersteuerung, da die Handlungsregulation mehrheitlich auf die stark automatisierbare sensumotorische Ebene verlagert und dadurch der Kontrollaufwand vermindert wird. Dadurch wird vermutlich auch die verminderte Beanspruchung erklärt. Eine wichtige Fehlerquelle wird beim Einsatz der Steuerfunktion ausgeschaltet: Die sogenannten Karussell-Fehler, d.h. das wiederholte sinnlose Drehen des Roboters um die eigene Achse. Die Arbeit mit den Eingabemedien Tastatur und Mausfunktionstasten, d.h. ohne Steuerfunktion, führt hingegen zu einer deutlich höheren Anzahl Karussell-Fehler. Ein geeignetes Eingabemedium kann offenbar das Kontrollvermögen des Benutzers entlasten und das Dialogverhalten verbessern.

Die Arbeit mit der Tastatur beansprucht am stärksten. Da die Gruppe 2 KB das kleinste Verhältnis Befehle pro Zeit aufweist und damit nicht etwa schneller arbeitete als die andern Gruppen, liegt der Schluss nahe, dass dieses Ergebnis (1) auf die zur Optimierung der Strategie (weniger Befehle pro Flasche und weniger Fehler) notwendige Konzentration sowie (2) teilweise auf die monotone Eingabearbeit zurückzuführen ist.

Die Möglichkeit, die Funktionen den Tasten individuell zuzuordnen,

verringert das Fehlerrisiko. Dies kann nicht allein dadurch erklärt werden, dass die Ueberlegungen zu den Tasten-Zuordnungen zu besserer mentaler Repräsentation geführt hätten. Die Belegung von 5 Funktionstasten ist relativ leicht zu merken; zudem hatte jeder Versuchspartner die Funktionszuordnung als Erinnerungshilfe vor sich aufgezeichnet. Wir nehmen an, dass die individuelle Zuordnung der Funktionen die logische Kohärenz zwischen physischer Aufgabenstruktur und der psychisch (mental) repräsentierten Handlungsstruktur bzw Operationsabfolge verbessert.

Ob die Zunahme der Funktionstastenverwechslungen beim Einsatz der Steuerfunktion auf die einzelnen Teilaspekte der Handlungsregulation (Funktionsaufruf, Strategie oder Orientierung) zurückzuführen ist, wird in weiteren Experimenten geklärt. Die Zunahme kann nicht mit Ermüdung im zweiten Spieldurchgang erklärt werden, da die Gruppe 4 – die Experten – im Unterschied zu den andern Gruppen die Kugel im ersten Durchgang zur Verfügung hatte und auch hier mehr Funktionsverwechslungen auftraten als ohne Steuerfunktion. Der gleichzeitige Einsatz der Steuerfunktion und der Funktionstasten kann möglicherweise zu sich überlagernden Handlungstendenzen führen und damit die Fehlhandlungen auslösen. Es sollte die Möglichkeit bestehen, beide Einsatzmöglichkeiten bei Bedarf gemäss den individuellen Bedürfnissen softwaremässig zu trennen, d.h. bei Steuerbewegungen sollten Funktionsaufrufe abschaltbar sein und umgekehrt.

4. Informatiker & Psychologe: Was brachte die Zusammenarbeit?

Für den Informatiker ist es wertvoll, kontrollierte Experimente von unabhängigen und von seinen Hypothesen unbeeinflussten Fachleuten durchführen zu lassen. Der Einsatz der Fünf-Finger-Maus in diesem Testprojekt zeigt, dass das Gerät brauchbar ist. Die Frage nach menschengerechtem Softwaredesign kann in Zusammenarbeit mit der Arbeitspsychologie adäquat gelöst werden.

Für den Arbeitspsychologen ist es wertvoll, einerseits arbeitspsychologische Konzepte an relevanten Aufgabestellungen experimentell zu prüfen und zu erweitern und andererseits bei der prospektiven Arbeitsgestaltung mitzuwirken.

Für die an dieser Arbeit beteiligten Informatikstudenten war es wertvoll, ein experimentell-arbeitspsychologisches Verfahren zur Evaluation von Software und Eingabewerkzeug kennenzulernen. Sie konnten unterschiedliches Benutzerverhalten selbst beobachten und haben auch entsprechende Schlüsse fuer ihre Tätigkeit gezogen: "Bisher hab ich immer einen logischen Dialog

programmiert. Aber - der Benutzer verhält sich ja gar nicht so."

5. Literatur

- [1] Ackermann, D.: Untersuchungen zum individualisierten Computerdialog: Einfluss des Operativen Abbildsystems auf Handlungs- und Gestaltungsspielraum und die Arbeitseffizienz. In: Dirlich, G., Freksa, C., Schwatlo, U. & Wimmer, K. (Hrsg): Kognitive Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion. Ergebnisse eines Workshops vom 12./13. April 1984 in München. Berlin: Springer, im Druck.
- [2] Ackermann, D.: A pilot study on the effects of individualization in man-computer-interaction. Proceedings of the 2nd IFAC/ IFIP/IFORS/IEA Conference on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems. Varese, Italy. 10.-12. September 1985. In press.
- [3] Nievergelt, J.: Die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. In: Sprachen für Datenbanken (Hrsg. J. W. Schmidt), 1-10, Informatikberichte 72, Berlin, Springer, 1983.
- [4] Nitsch, J. R.: Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) - Ein Verfahren zur Hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In: Nitsch, J. R., & Udris, I. (Hrsg): Beanspruchung im Sport. Training und Beanspruchung. Bad Homburg: Limpert, 1976.
- [5] Ohno, K., Fukaya, K., Nievergelt, J.: A five-key mouse with built in dialog control commands (submitted).
- [6] Ulich, E.: Ueber das Prinzip der differentiellen Arbeitsgestaltung. Industrielle Organisation, 1978, 47, 281-286
- [7] Ulich, E.: Differentielle Arbeitsgestaltung - ein Diskussionsbeitrag. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 1983, 1, 12-15.

An der vorliegenden Arbeit beteiligten sich die Studenten J. Bösze, Th. Greutmann, J. Lutz und R. Fuchs mit grossem Einsatz. Prof. Dr. E. Ulich danke ich für die Diskussion und Durchsicht des Manuskriptes.

¹Lehrstuhl für Arbeits- und Betriebspsychologie, (Prof. Dr. E. Ulich).

²Prof. Dr., Institut für Informatik.

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 8092 Zürich, Schweiz