

EIN MODELL ZUR ERKLÄRUNG VON LEISTUNGEN UND STRATEGIEN BEI EINGABEN ÜBER TASTATUREN

F. M. Kühn, W. Laurig, K.-H. Schmidt, Dortmund

Zusammenfassung: In einem einfachen Modell werden Teilprozesse der Mensch-Rechner-Interaktion als prozeßimmanente Mehrfachaufgaben beschrieben. Ergebnisse einer exemplarischen Untersuchung zeigen, daß bei Eingaben über Tastaturen die Teilprozesse "Einlesen von Text", "Zwischenspeichern von Text" und "Motorische Ausgabe von Text" als Mehrfachaufgaben verstanden werden können.

1 Einleitung

Der Einsatz von Rechnern nimmt in quantitativer und qualitativer Hinsicht zu. Die "Mensch-Rechner-Interaktion" [11] wird dabei immer vielfältiger und komplexer [4]. Diese Entwicklung kann zu einer zunehmenden informatorischen Arbeitsbelastung der Benutzer führen, die bei der Gestaltung von Software wegen bisher fehlender gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse bislang nur selten berücksichtigt wird. Es besteht daher die Gefahr von Demotivation und Leistungsminderungen als Folge von Unter- oder Überforderung des Benutzers.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Forderung nach Methoden zur Untersuchung und Beurteilung informatorischer Belastungsfaktoren [6] mit dem Ziel einer "prospektiven" ergonomischen Gestaltung [7] von Software und Mensch-Rechner-Interaktion. Die Problematik der Objektivierung informatorischer Belastungssituationen wird im folgenden exemplarisch an einem einfachen Modell erläutert.

2 Modell

Das Modell geht von der Hypothese prozeßimmanenter Mehrfachaufgaben aus [8][3]. Mensch-Rechner-Interaktionen belasten den Benutzer mit einer Vielzahl parallel ablaufender Teilprozesse

se, die gleichzeitig verschiedene physische und psychische Funktionen des Benutzers beanspruchen. Die Verarbeitungskapazität des Benutzers zur Kontrolle dieser Funktionen muß jedoch als begrenzt angenommen werden [2] (Bild 1). Die verschiedenen Teilprozesse konkurrieren daher um Anteile der Verarbeitungskapazität, die ihnen entsprechend ihrer Dringlichkeit zugeordnet werden. Mit zunehmendem Anteil eines Teilprozesses an der Verarbeitungskapazität vergrößert sich die Leistungsfähigkeit für diesen Teilprozeß oder läßt bei abnehmendem Anteil nach. Somit findet ein Leistungsaustausch statt, indem die Leistung in einem Teilprozeß zu Lasten der Leistung in anderen Teilprozessen zunimmt.

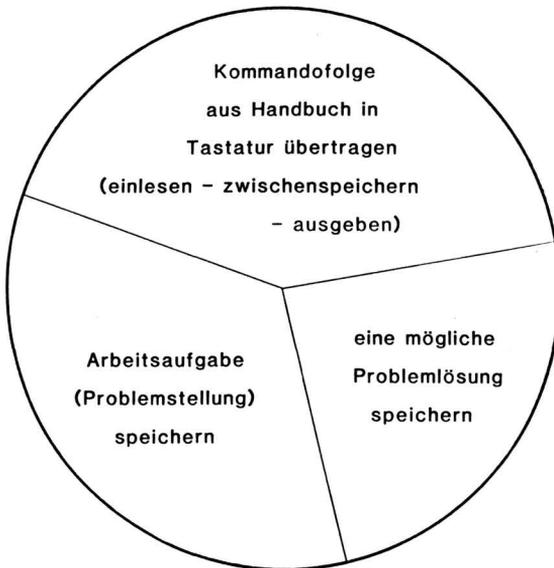


Bild 1. Beispiel für die Aufteilung der Verarbeitungskapazität des Benutzers auf mehrere Teilprozesse. Der Benutzer überträgt hier im Laufe der Bearbeitung einer bestimmten Problemstellung eine Kommandofolge aus einem Handbuch in die Tastatur.

Ausgehend von diesen Überlegungen kann angenommen werden, daß die Wechselwirkung zwischen Teilprozessen (bzw. prozeßimmanenten Mehrfachaufgaben) mit Hilfe der Messung von Leistungsparametern nachgewiesen werden kann. Solche dem Modell adäquate Leistungsparameter und Indikatoren informatorischer Belastung können Verarbeitungszeiten und Fehlerraten sein.

Das Modell soll anhand einer exemplarisch untersuchten, von ihrem informatorischen Aufwand her einfach erscheinenden Tätigkeit diskutiert werden.

3 Untersuchung

3.1 Gegenstand der Untersuchung

Bei der Mensch-Rechner-Interaktion stellt auch heute noch die Eingabe über eine Tastatur ein wesentliches Tätigkeitselement dar. Eingabetätigkeiten von Textmaterial basieren auf der Übertragung von Zeichenketten, die hier nach 3 Typen unterschieden werden sollen: Zufallszeichenketten sind aus alphanumerischen Zeichen zusammengesetzte dem Benutzer in ihrem Zusammenhang sinnlos erscheinende Zeichenketten - im Gegensatz zu sinnvollen (hier deutschen) Worten, die im folgenden als Klartext bezeichnet werden. Als Kommandos sollen englischsprachige Begriffe zur Steuerung von Programmabläufen verstanden werden.

3.2 Fragestellung

Für die Problematik einer ergonomischen Gestaltung der Tätigkeit "Eingabe über Tastaturen" wurde die Fragestellung untersucht, welche Belastungsfaktoren und individuellen Eigenschaften bei der Gestaltung von Zeichenketten als Eingabematerial zu berücksichtigen sind [5].

3.3 Hypothesen

Als Belastungsfaktoren für die untersuchte Eingabetätigkeit sollen gelten:

- der Typ der Zeichenketten, also Zufallsketten, Klartexte oder Kommandos (englische Wörter),
- die Länge der Zeichenketten.

Für die Strategie der Informationsübertragung wird als individuelle Eigenschaft der Probanden deren Übungsgrad im Maschinenschreiben als entscheidend angenommen [1]. Die Übungsgrade sollen entsprechend der Fähigkeit der Probanden, die Tastatur blind zu benutzen, nominal als "geübt" und "ungeübt" unterschieden werden.

Der Prozeß der Informationsübertragung von einer Vorlage in eine Tastatur soll entsprechend dem oben erläuterten Modell in drei Teilprozessen beschrieben werden [2]:

1. Einlesen von Textmaterial
2. Zwischenspeichern des Materials
3. Vorbereitung, Ausführung und Kontrolle motorischer Aktionen zur Ausgabe des Materials

3.4 Durchführung des Experiments

An dem Experiment nahmen insgesamt 14 Probanden teil. Die Probanden übertrugen in mehreren einstündigen Versuchsdurchgängen Zeichenketten vom Bildschirm in die Tastatur eines Rechners. Die vorgegebenen Zeichenketten und die eingegebenen Zeichen (Bild 2) wurden nebeneinander auf dem Bildschirm dargestellt und nach dem Betätigen der Eingabetaste gelöscht.

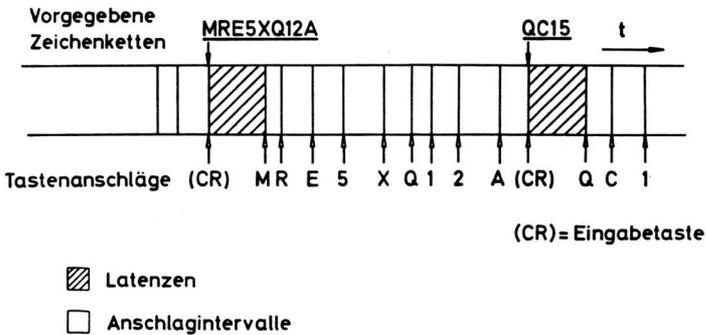


Bild 2. Latenz und Anschlagintervalle bei der Eingabe von Zeichenketten.

Als unabhängige Variablen galten die Zeichenkettenlänge (1-12 Zeichen), der Typ der Zeichenkette (Klartext, Zufallszeichenketten und Kommandos) sowie der Übungsgrad der Probanden (geübt oder ungeübt). Als Verarbeitungszeiten wurden die Latenz (Dauer vom Erscheinen einer Zeichenkette bis zum ersten Tastenanschlag) und die Anschlagintervalle (Intervalle zwischen den einzelnen aufeinanderfolgenden Tastenanschlägen) gemessen (Bild 2). In die Auswertung der Verarbeitungszeiten gingen nur fehlerfreie Eingaben ein. Zur Beurteilung des Verhaltens der Probanden wurden außerdem Messungen der Augenbewegungen mittels EOG herangezogen (zur Methode siehe [10]).

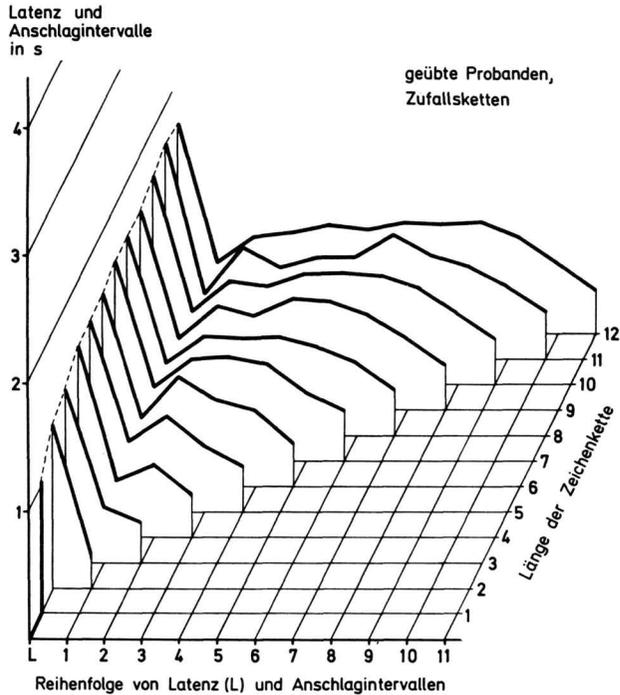


Bild 3a. Mittelwerte der Latenzen (L) und Anschlagintervalle (1-11) für Zufallszeichenketten mit 1-12 Zeichen (geübte Probanden).

3.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Experiments sind in den Bildern 3a-d dargestellt. Die Latenzen und Anschlagintervalle fallen für Zufallszeichenketten länger aus als für Klartexte. Die Verarbeitungszeiten für Zufallszeichenketten zeigen auch eine stärkere Abhängigkeit von der Länge der Zeichenkette. Die verwendeten Kommandos (englische Wörter) führten bei den deutschsprachigen Probanden zu gleichen Ergebnissen wie die Klartexte (vgl. deutsche Wörter bei englischsprachigen Probanden [12]).

Die Latenzen steigen mit der Länge der Zufallsketten an [13]. Die Anschlagintervalle zeigen für die geübten und ungeübten Probanden verschiedene Abhängigkeiten von der Länge der Zufallszeichenketten. Die mit dem EOG registrierten Augenbewegungen lassen hierzu auf verschiedene Verarbeitungsstrategien

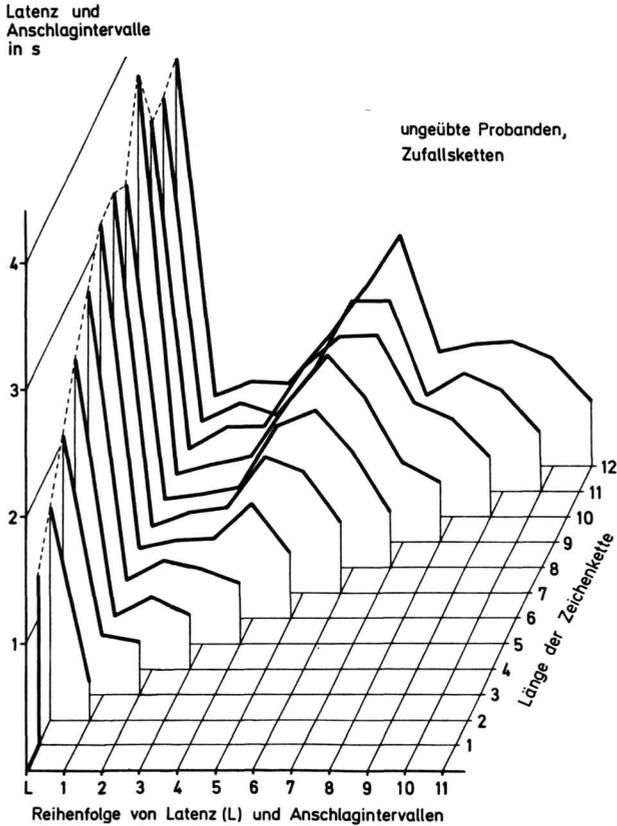


Bild 3b. Mittelwerte der Latenzen (L) und Anschlagintervalle (1-11) für Zufallszeichenketten mit 1-12 Zeichen (ungeübte Probanden).

schließen. Ungeübte Probanden teilen längere Zufallszeichenketten in mindestens zwei Teilzeichenketten, die sie nacheinander verarbeiten. Sie wenden nach der Eingabe der ersten Teilzeichenkette den Blick von der Tastatur zurück zur Vorlage, um mit der Verarbeitung der zweiten Teilzeichenkette zu beginnen. Die Aufteilung von Zufallszeichenketten in Teilzeichenketten wurde bei den ungeübten Probanden spätestens ab einer Zeichenkettenlänge von ungefähr 6 Zeichen beobachtet (Bild 3b).

Die Fehlerrate nimmt mit wachsender Zeichenkettenlänge von ca. 1% bei Zeichenketten mit 1 und 2 Zeichen bis zu ungefähr 7.5% bei Zeichenketten mit 12 Zeichen zu (eine falsch eingegebene Zeichenkette wurde als ein Fehler gerechnet).

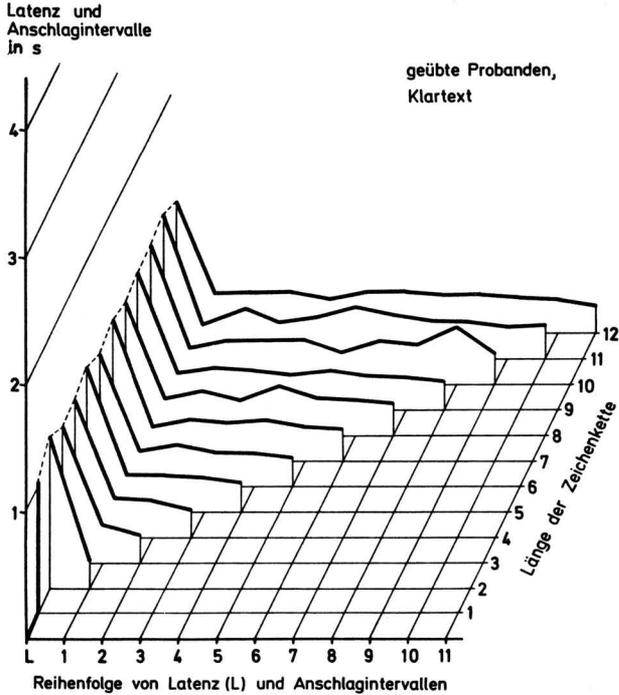


Bild 3c. Mittelwerte der Latenzen (L) und Anschlagintervalle (1-11) für Klartexte mit 1-12 Zeichen (geübte Probanden).

3.6 Diskussion der Ergebnisse und des Modells

Länge und Typ der Zeichenketten können als Belastungsfaktoren aufgefaßt werden. Für Zufallszeichenketten konnte die Abhängigkeit der Verarbeitungsstrategie vom Übungsgrad nachgewiesen werden. Die Ergebnisse weisen für die ungeübten Probanden auf die Strategie einer seriellen Verarbeitung hin: Die Probanden führen nacheinander die Teilprozesse Einlesen, Zwischenspeichern (während der Blickwendung zur Tastatur) und Ausgeben aus. Die Wiederholung dieses Ablaufs für Teile von Zufallszeichenketten mit 6 und mehr Zeichen läßt auf einen Speicherengpaß während der Blickwechsel schließen. Die geübten Probanden benutzen im Unterschied zu den ungeübten offensichtlich die Strategie einer parallelen Verarbeitung. Diese Probanden können blind schreiben und umgehen so den Speicherengpaß, der das Vorgehen der ungeübten Probanden bestimmt. Die geübten Probanden

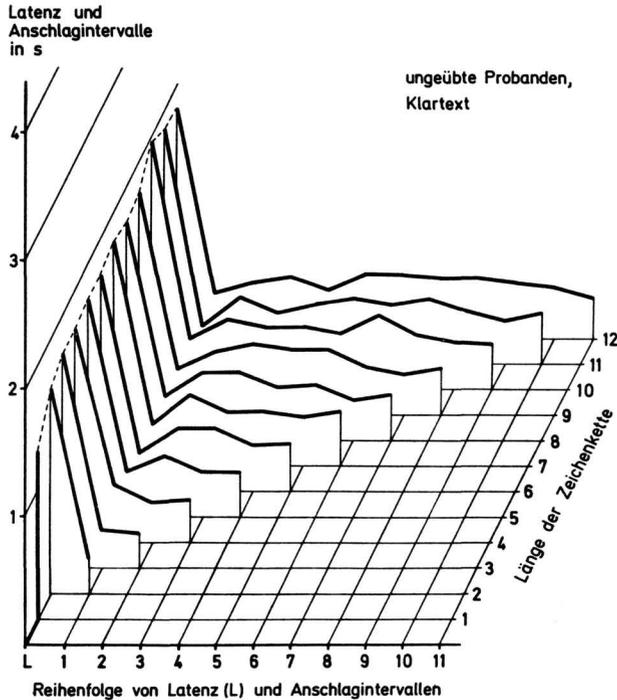


Bild 3d. Mittelwerte der Latenzen (L) und Anschlagintervalle (1-11) für Klartexte mit 1-12 Zeichen (ungeübte Probanden).

können bereits während der Ausgabe von Textmaterial folgendes Textmaterial wieder einlesen und zwischenspeichern [9].

Das Modell enthält als Hypothese eine veränderliche Verteilung von Verarbeitungskapazitäten mit der Folge eines Leistungsaustausches zwischen parallel ablaufenden Teilprozessen. Diese Annahme wird durch die Ergebnisse des Experiments unterstützt. Für die geübten Probanden ergeben sich bei sehr kurzen Zufallszeichenketten (bis zu ungefähr 4 Zeichen) kürzere Latenzen (Bild 3a). Bei längeren Zeichenketten weisen die gemessenen Latenzen auf einen asymptotischen Verlauf hin. Man kann daher bei den geübten Probanden einen individuellen Arbeitspunkt für ihren Zwischenspeicher annehmen, der durch eine betragsmäßig bestimmte, aber inhaltlich variable Informationsmenge definiert ist [1]. Dieser Arbeitspunkt kann jedoch bei sehr kurzen Zeichenketten nicht erreicht werden, weil dafür nicht genügend

Textmaterial zur Verfügung steht. Die Zwischenspeicherung benötigt daher weniger Kapazität, so daß die hier freiwerdende Kapazität dem Ausgabeprozess zugeteilt werden kann. Es findet ein Leistungsaustausch statt, resultierend in kürzeren Latenzen.

Die Anschlagintervalle bei der Eingabe von Zufallszeichenketten verringern sich ab dem viertletzten Zeichen stetig (Bilder 3a und 3b). Der Einleseprozess ist hier offensichtlich beendet. Folglich wird der Inhalt des Zwischenspeichers bei den letzten Tastenanschlägen abgebaut. Daher kann auch in diesem Fall die damit freigesetzte Kapazität im Sinne eines Leistungsaustausches an den Ausgabeprozess übergeben werden.

4 Praktische Schlußfolgerungen

Es konnte gezeigt werden, daß verschiedene Teilprozesse selbst einer einfach erscheinenden Tätigkeit von geringem Entscheidungsaufwand mit dem Modell der prozeßimmanenten Mehrfachaufgaben erklärt werden können.

Bei der Gestaltung von interaktiver Software sollte man deshalb beachten, daß verschiedene Teilprozesse und somit verschiedene psychische und physische Funktionen des Benutzers sich in Wechselwirkung befinden. Wie beispielsweise in Bild 1 bereits angedeutet, wird die Eingabe aufwendiger Editierkommandos während einer Programmierarbeit zu einem Leistungsaustausch zu Lasten der internen Speicherung der in der Programmierung zuletzt bearbeiteten Problemstellung führen. Dadurch kann diese Speicherung gestört werden mit der Folge, daß der Programmierer nach der Ausführung der Mehrfachaufgabe (Eingabe eines Kommandos) auf externe Speicher zurückgreifen muß, um seine eigentliche Problemstellung weiter bearbeiten zu können: Er läßt sich die vor der Kommandoingabe bearbeiteten Programmzeilen noch einmal listen. Bei der Gestaltung von Software sollten solche um die Verarbeitungskapazität des Benutzers konkurrierenden Teilprozesse vor allem hinsichtlich der Schwierigkeit in ihrer Ausführung gegeneinander abgewägt werden.

5 Literatur

- [1] Butsch, R.L.C.: Eye Movements and the Eye-Hand Span in Typewriting. J. Educ. Psychol. 23 (1932) 104-121
- [2] Cooper, W.E.: The Psychology of Typewriting. In: Cooper, W.E. (Ed.): Cognitive Aspects of Skilled Typewriting. New York: Springer 1983, 8-14
- [3] Derrick, W.L.: The Relationship between Processing Resource and Subjective Dimensions of Operator Workload. In: Proceedings of the Human Factors Society, 25th Annual Meeting, Santa Monica 1981, 532-536
- [4] Inguenaud, J.: Aspects ergonomiques du logiciel et de la structuration du travail. Behaviour and Information Technology 3 (1984) 4, 313-318
- [5] Kühn, F.M.; Schmidt, K.-H.; Laurig, W.: Ein Modell für die Eingabetätigkeit an Tastaturen unter Berücksichtigung informatorischer Belastungsfaktoren. Z. Arb.Wiss. (1985), im Druck
- [6] Laurig, W.: Grundzüge der Ergonomie, Einführung. Berlin: Beuth 1982
- [7] Laurig, W.: Prospektive Ergonomie - Utopie oder Wirklichkeit. Köln: Arbeitgeberverb. der Metallindustrie 1984
- [8] Navon, D.; Gopher, D.: On the Economy of the Human Processing System. Psychol. Review 86 (1979) 3, 214-255
- [9] Salthouse, T.A.: Effects of Age and Skill in Typing. J. Exp. Psychol. 113 (1984) 3, 345-371
- [10] Sanders, A.F.: Psychologie der Informationsverarbeitung. Stuttgart: Verlag Hans Huber 1971
- [11] Shackel, B.: Man-Computer Interaction - The Contribution of the Human Sciences. Ergonomics 12 (1969) 4, 485-499
- [12] Shaffer, L.H.: Latency Mechanisms in Transcription. In: Kornblum, S. (Ed.): Attention and Performance (Vol.4). New York: Academic Press 1973
- [13] Sternberg, S.; Monsell, S.; Knoll, R.L.; Wright, C.E.: The Latency and Duration of Rapid Movement Sequences: Comparisons of Speech and Typewriting. In: Stelmach, G.E. (Ed.): Information Processing in Motor Control and Learning. New York: Academic Press 1978, 117-152

Dipl.-Ing. Frank M. Kühn
 o. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Laurig
 Dipl.-Psych. Klaus-H. Schmidt
 Institut für Arbeitsphysiologie
 an der Universität Dortmund
 Ardeystr. 67
 D-4600 Dortmund 1