

# MENTALE MODELLE ALS ZENTRALE FRAGESTELLUNG DER KOGNITIVEN ERGONOMIE. THEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN UND EINIGE EMPIRISCHE ERGEBNISSE

Michael J. Tauber, Heidelberg

## 1 Kognitive Ergonomie

Für eine breite interdisziplinäre Herangehensweise an Fragestellungen der Mensch-Rechner-Interaktion hat sich der Begriff Kognitive Ergonomie eingebürgert ([6], [14], [18]). Innerhalb der Kognitiven Ergonomie versucht man, Prinzipien für die Gestaltung von Mensch-Rechner-Systemen zu entwickeln, wobei die für menschliche kognitive Prozesse bedeutsamen Systemparameter zu analysieren, zu modellieren, experimentell zu untersuchen und zu bewerten sind. Dies ist nur durch eine strenge interdisziplinäre Arbeit zwischen Informatik und Psychologie erreichbar. Dabei sollte die in der Informatik übliche Vorgehensweise, einfach Systeme zu entwerfen und diese dann hinterher auf ihre Auswirkung auf die kognitiven Prozesse bei der Benutzung der Systeme zu untersuchen, verlassen und vielmehr in der interdisziplinären Zusammenarbeit der folgende Weg beschritten werden:

- Zu untersuchen ist generell, wie Benutzer Wissen über Systeme erwerben, um welche Art von Wissen es sich handelt und wie dieses Wissen während der Arbeit mit Systemen in internen kognitiven Prozessen sowie zur Steuerung extern beobachtbarer Handlungen angewendet wird.
- Aus solchen generellen Untersuchungen ist eine neue Entwurfstechnik abzuleiten, nämlich Top-Down von den

Erfordernissen der menschlichen Kognition hin zu einer Beschreibung des für den Benutzer relevanten virtuellen Verhaltens des Systems zu gelangen und von dieser aus das 'reale' System zu entwerfen und zu realisieren ([16]).

Für eine solche Top-down-Vorgehensweise sind die benutzerrelevanten Parameter des Systems zu explizieren, damit das System auf diese Parameter hin spezifiziert werden kann. Benutzerrelevant bedeutet, daß die einzelnen Parameter Komponenten kognitiver Prozesse (wie mental repräsentierte Begriffe und Begriffstrukturen) sind oder Eigenschaften des Systems sind, die die kognitiven Prozesse, zB. deren Aufbau, deren "Laufzeitverhalten" oder deren Stabilität, entscheidend beeinflussen. Das in diesem Beitrag skizzierte Konzept der "User's Virtual Machine" (UVM) ([11], [15], [16], [17]) beschreibt die kognitiv relevanten Parameter von Systemen und bietet eine neue und breite Basis für die gegenwärtig noch sehr heterogene Diskussion über die "Mentalen Modelle von Benutzern über Systeme".

## 2 Virtuelle Objektmanipulation mit der User's Virtual Machine

Zur Analyse, Beschreibung, Modellierung und Bewertung der bei der Arbeit mit Systemen ablaufenden kognitiven Prozesse benötigt man ein theoretisches Gerüst, mit dessen Hilfe Aspekte der Benutzung, die zur Zeit unter dem Begriff "Mentales Modell" diskutiert werden, beschrieben werden können. Unter dem Begriff mentales Modell werden Aspekte der mentalen Repräsentation von Systemen und der kognitiven Arbeitsprozesse während der Benutzung zusammengefaßt. Mentale Modelle sollen beschreiben, welches Wissen Benutzer über Systeme haben, welche Handlungen, gesteuert durch interne kognitive Prozesse, sie ausführen, wie sie das Systemverhalten vorhersagen resp. erklären, wie Benutzer Systeme verstehen, dieses Verständnis aufbauen und dann das System geübt benutzen.

Dazu muß eine strenge Benutzersicht bei der Betrachtung des Systems gewählt werden, was bedeutet, daß die konzeptuelle (begriffliche) und die vom Benutzer wahrnehmbare und manipulierbare (physikalische) Welt des Systems mental relevant beschrieben werden muß. Zentraler Aspekt dazu ist, daß jede Benutzung des Systems als Aufgabenlösen/Problemlösen betrachtet werden muß. Eine Aufgabe/Problem ist definiert durch die Veränderung von Objektzuständen mit Hilfe von Operationen. Das Ziel, das bei einer Aufgaben-/Problemlösung verfolgt wird, ist die Transformation eines (Objekt)-Anfangszustandes in einen (Objekt)-Endzustand. Generell können die Objekte aus einer "physikalischen Realität" stammen und durch direkt am "realen Objekt" ausgeführte Handlungen verändert werden oder es handelt sich um mentale Prozesse, d.h. um mentale Operationen an mental repräsentierten Objektstrukturen. Eine besondere Stellung nimmt die Virtuelle Welt des Systems ein, die in Komponenten und Struktur nicht mit der Implementierung gleichzusetzen ist. Die für den Benutzer relevante Virtuelle Welt kann nur im Hinblick auf die Aufgabenlösung beschrieben werden ([11]), beinhaltet mentale Repräsentationen über die Art der vom System manipulierbaren Objekte sowie deren Manipulation und kann als jenes kognitives Begriffssystem aufgefaßt werden, mit dem Aufgaben-/Problemlösen mit Hilfe des Systems durch den Benutzer erklärt werden kann. Virtuelle Maschinen aus Benutzersicht sind als erstes gedachte Maschinen. Ihr Realitätsgehalt besteht darin, daß sie vollständig durch eine solche gedachte Begriffstruktur erklärbar sind. In Anlehnung an Oberquelle ([8]) wird das Verhältnis zwischen aufgaben-/problemlösenden Benutzer und der für diese Aufgabe relevanten Virtuellen Maschine (UVM, User's Virtual Machine, [16]) durch Abb.1 modelliert. Die UVM ist ein Ort für Objektmanipulation (Veränderung von Objektzuständen durch Operationen) und die kognitive Anforderung an den Benutzer ist die Formulierung einer Spezifikation an das System (Auftrag zur virtuellen Objektmanipulation) zur Erreichung eines Zieles (Auskunft).

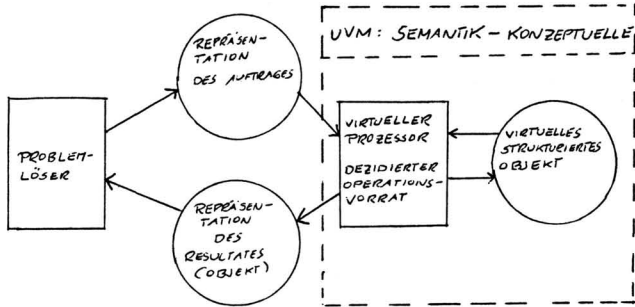


ABB. 1

Der mit der Zugrundelegung einer UVM verfolgte Ansatz betont vor allem die semantische Interpretation von Systemen durch Benutzer im Sinne einer Aufgabenbeschreibung.

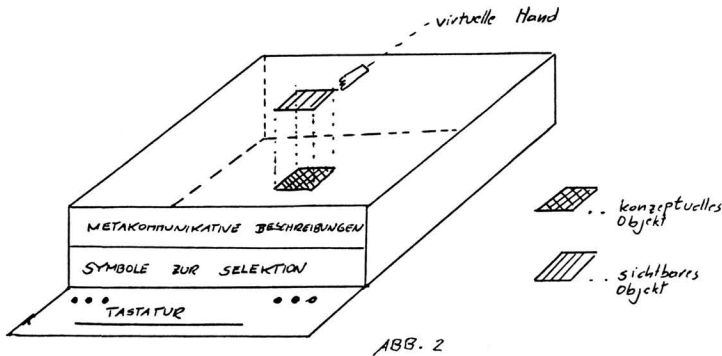
### 3 Entwurfsrelevante Parameter der UVM

Benutzerorientierte Spezifikationen von Systemen müssen die relevante Semantik (virtuelle Objektmanipulation), die Gestaltung der wahrnehmbaren Systemoberfläche, sowie die Beschreibung der Objektmanipulation durch den Benutzer an das System in Begriffen der semantischen Spezifikation wie der Oberfläche umfassen. Die Spezifikation der Semantik der UVM beschreibt die benutzerrelevanten Objekte (etwa Text, Zeile, Wort, String, Zeichen) und deren Struktur zueinander sowie die Menge der möglichen Operationen auf den strukturierten Objekten. Rohr & Tauber ([10], [17]) schlagen eine Repräsentationstechnik vor, die bestimmte semantische Primitive, aus denen mentale Repräsentationen von UVM's zusammengesetzt werden, beinhaltet. Solche sind die Unterscheidung in Themaobjekt (zu manipulierendes Objekt) und Referenzobjekt (Objekt zu dem das Themaobjekt in Relation steht) im Bereich der Objekte und die Klassifizierung von Manipulationen in Erschaffung und Vernichtung von Objekten, Transformation von Objekten sowie

Setzen und Verändern von Relationen zwischen Themaobjekten und Referenzobjekten.

Die von G.Rohr [10] in die Diskussion mentaler Modelle eingebrachte Unterscheidung in Systemstruktur und deren symbolische Repräsentation ist bereits für die Spezifikation der Semantik der UVM von Bedeutung: Strukturelle Aspekte semantischer Primitive sind die eben beschriebenen, symbolische etwa die Repräsentation eines Referenzobjektes als Ort, auf dem Themaobjekte "plaziert" (Setzen einer Relation zwischen Themaobjekt und Referenzobjekt) bzw. "transportiert" werden oder die Repräsentation von Relationen durch Attributierung von Themaobjekten. So können gleiche semantische Systemstrukturen mental unterschiedlichst symbolisch repräsentiert sein.

Neben der konzeptuellen Welt einer UVM, die durch eine oder mehrere mögliche symbolische Repräsentationen der Systemstruktur in das System "hineininterpretiert" wird, schaffen Designer Systemoberflächen, auf denen Systemobjekte meist durch Visualisierung wahrnehmbar und häufig auch durch den Benutzer manipulierbar werden. Durch die Visualisierung der Objekte und ihrer Struktur erfolgt eine erste Festlegung auf eine für den Benutzer verbindliche symbolische Repräsentation. Eine zweite geschieht durch die symbolische Benennung (Wörter, Bilder) von Objektmanipulationen, die Elemente einer Syntax der Beschreibung von Aufträgen werden. Solche Beschreibungen sind entweder festgelegt (Kommandosprache) oder als Symbole an der Oberfläche sichtbar und zur Konstruktion von benutzerseitigen Problembeschreibungen verwendbar. Abbildung 2 beschreibt schematisch das Verhältnis zwischen virtueller Systemwelt und deren Oberfläche.



Entsprechend Abbildung 1 lösen Benutzer Aufgaben, indem sie dem System Beschreibungen über virtuelle Objektmanipulationen spezifizieren. Solche Beschreibungen sind entweder die Delegation eines Prozesses mittels einer vom System ausführbaren und vom Benutzer in Begriffen der Semantik der UVM verstandenen symbolischen Repräsentation dieses Prozesses an das System (sprachlich orientierte Beschreibung) oder die direkte Ausführung des Prozesses durch den Benutzer durch die Manipulation (etwa Transport mit der Maus) eines Objektes an der Oberfläche (direkte Manipulation). Ist im ersten Fall das System die prozeßausführende Instanz, so ist es im zweiten der Benutzer und das System ist lediglich der Ort, auf dem sich eine solche Manipulation abspielt. Das häufig auch als direkte Manipulation bezeichnete Spezifizieren von Objekten durch Zeigen auf die Repräsentation auf der Oberfläche ist nur ein Teil der gesamten Problem-/Aufgabenbeschreibung und kann für die Delegation (sprachlicher Aspekt) wie für die direkte Manipulation (selbst Handeln) Verwendung finden.

#### 4 Verwenden Informatiker die richtigen Begriffe ?

Nach dem Vorliegen jener Entwurfsentscheidungen, die Auswirkung auf die kognitiven Prozesse bei der Benutzung haben, zeigt eine Analyse der in der Informatik gängigen Vorstellungen, daß diese teilweise für eine kognitiv-ergonomische Betrachtungsweise unangemessen sind.

Zentrales und unbestrittenes Anliegen des Ingenieurs ist die Entwicklung benutzergerechter Systeme, das Vorgehen ist aber zumeist einseitig. Dem Entwerfer eigene symbolische Repräsentationen werden meist nicht expliziert, sondern implizit dem System zugrundegelegt. Die funktionale (dh. aufgabenbezogene) Komponente des Systems, die die wesentlichen semantischen Aspekte der UVM bestimmt, wird aus der Mensch-Maschine Schnittstelle herausgenommen und als fest vorgegeben betrachtet. Das Problem der Ergonomie reduziert sich dann auf Aspekte der symbolischen Repräsentation in der Oberfläche wie in der Darstellung des Systems. Häufig wird das Problem der Mensch-Maschine-Schnittstelle auf syntaktische Fragen (Sprachen) reduziert oder es werden symbolische Repräsentationen, die dem Ingenieur bis jetzt eher fremd waren, aber für Benutzer die Semantik der UVM besser erklären, abgelehnt. So unterscheidet etwa Müller ([5]), ein ergonomischen Fragen sehr aufgeschlossener Informatiker, zwischen "ergonomischen" und "funktionalen" Anforderungen an Mensch-Maschine Schnittstellen oder spricht "Visuellen Hilfsmitteln nur subjektiven Wert zu".

Ohne einen interdisziplinären Zugang, wie er in der Kognitiven Ergonomie besprochen wird, bei dem alle für die menschliche Kognition relevanten Systemaspekte expliziert werden müssen, damit sie analysiert und bewertet werden können, sind die von den Informatikern gestellten Fragen nicht lösbar. Eine Analyse des Begriffes Mensch-Maschine Schnittstelle zeigt, daß es dafür in der Informatik keine sauberen Definitionen gibt, und zumeist darunter nur einzelne Oberflächenaspekte subsummiert werden. Vielmehr sollte man einem von Moran ([4]) gemachten Vorschlag folgen und die UVM, definiert durch ihre benutzerrelevanten Parameter, als Mensch-Maschine-Schnittstelle bezeichnen (im Detail vgl. dazu [4], [11], [16] und [17]).

## 5 UVM-Approach und gegenwärtige Mental-Model-Diskussion

Die zur Zeit gängigen Begriffe aus der Mental-Model-Diskussion ([2]) werden durch das vorgelegte Konzept auf eine einheitliche Grundlage gestellt. So sind etwa "Konzeptuelle Modelle" von Designern ([6]) als explizierte Spezifikationen von Systemstruktur und deren symbolischen Repräsentation durch Designer, "Notional Machines" ([3]) als symbolische Repräsentation einer semantischen Systemstruktur (Objekte, Operationen), "black-boxes vs.glass-boxes" ([1]) als die konzeptuelle Beschreibung virtueller Objektmanipulationen und deren Sichtbarmachung an der Systemoberfläche und etwa "Surrogates" ([13], [19]) als mentale Prozesse in Termen virtueller Objektmanipulation aufzufassen.

## 6 Einige empirische Ergebnisse

Die hier explizierten theoretischen Ausführungen sind Grundlage für die Experimente, die am wissenschaftlichen Zentrum der IBM in Heidelberg im Bereich der Kognitiven Ergonomie durchgeführt werden. So fand z.B. G.Rohr bei einer Vergleichsuntersuchung zwischen der Verwendung von Wortsymbolen und Bildsymbolen für Kommandos in einer Schnittstelle für einen Texteditor, bei der die Bildsymbole Aspekte der UVM (Objekte, Referenzobjekte, Plätze, Transporte,...) repräsentieren, während die Wortsymbole keine Aussagen über einen virtuellen Prozess machten, sondern eher global ein Teilziel einer Aufgabe markieren, daß "Bildgruppen" eher mentale Vorstellungen über die UVM in Konzepten wie Objekt und Platz entwickeln und deutlich bessere Leistungen bei der verlangten Editieraufgabe zeigen als "Wortgruppen", die eher mentale Vorstellungen über die Komposition typischer Aufgabenabläufe durch Sequenzen aus Kommandos entwickeln. Bei den Versuchspersonen handelte es sich um Anfänger, die entsprechende semantische Konzepte erst zu entwickeln hatten ([9], [10]).

In einem anderen Experiment wiederum wurde gezeigt, daß auch Wortgruppen, die Kommandos entsprechend Konzepten des virtuellen Prozesses gruppierten, und vor allem objekt-zentrierte Repräsentationen über die UVM entwickelten, die Gesamtaufgabe besser verstehen, als Personen, die Repräsentationen über einzelne typische Aufgabenabfolgen aufbauen ([12]).

#### Literaturverzeichnis

- [1] du Boulay, B., O Shea, T. & Monk, J.: The black box inside the glass box: presenting computer concepts to novices. Int.J.Man-Machine Studies, 14, 1981, 237-249.
- [2] Carroll, J.M.: Mental models and software human factors: an overview. Research report, IBM Watson Research Center, Yorktown Heights, 1984.
- [3] Mayer, R.E.: A psychology of learning BASIC. Comm.ACM, 22, (11), 1979, 589-593.
- [4] Moran, T.P.: The command language grammar: a representation for the user - interface of interactive computer systems. Int.J.Man-Machine Studies, 15, 1981, 3-50.
- [5] Müller, G.: Entscheidungsunterstützende Endbenutzersysteme. Teubner, Stuttgart, 1983
- [6] Norman, D.A.: Steps toward a cognitive engineering: Design rules based on analyses of human error. Proceedings 'Human Factors in Computer Systems', March 15-17, 1982, Gaithersburg Maryland, S.378-382.
- [7] Norman, D.A.: Some observations on mental models. Gentner, D. & Stevens, A. (Hrsg.): Mental models. Erlbaum Ass. Hillsdale N.J. 1983.
- [8] Oberquelle, H.: Objektorientierte Informationsverarbeitung und benutzergerechtes Editieren, IFI-HH-62/79, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, 1979
- [9] Rohr, G.: Understanding visual symbols. Proceedings of the IEEE-Workshop on Visual Languages, Hiroshima December 1984, IEEE-Computer Society Press, Silver Spring, 1984.
- [10] Rohr, G.: Mental models: On the relation between structure and its symbolic representation in human-computer interaction. Zeitschrift für Psychologie, (in Druck).
- [11] Rohr, G. & Tauber, M.J.: Representational frameworks and models for human-computer interfaces. In Veer, G.C. et al. (Hrsg.): Readings on cognitive ergonomics - mind and computers, Springer, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo, 1984.

- [12] Rohr, G. & Tauber, M.J.: Building up mental models - Some empirical results. Unveröffentlichtes Vortragsmanuskript. Workshop "Human-Computer Interaction", West-European Conference on the Psychology of Work, Aachen, April 1985
- [13] di Sessa, A.: A principled design for an integrated computational environment. Human-Computer Interaction, 1 (1), 1984.
- [14] Streitz, N.A.: Cognitive ergonomics: An approach for the design of user-oriented systems. In Klix, F.(Hrsg.): Man-Computer Interaction (MACINTER) I. North-Holland Amsterdam, 1985.
- [15] Tauber, M.J.: An approach to metacommunication in human-computer interaction. In Klix, F.(Hrsg.): Man-Computer Interaction (MACINTER) I. North-Holland Amsterdam, 1985.
- [16] Tauber, M.J.: Top down design of human-computer systems from the demands of human cognition to the virtual machine - An interdisciplinary approach to model interfaces in human-computer interaction. Proceedings of the 1985 IEEE-Workshop on "Languages for Automation: Cognitive Aspects in Information Processing" in Palma de Mallorca (June 1985), IEEE-Computer Society Press, Silver Spring, 1985.
- [17] Tauber, M.J.: Mental models: Manipulation of virtual objects with the help of virtual machines. Zeitschrift für Psychologie, (in Druck).
- [18] Veer, van der G.C., Tauber, M.J., Green, T.R.G. & Gorny P. (Hrsg.): Readings on cognitive ergonomics - mind and computers. Lecturer Notes in Computer Sciences, Vol.178, Springer, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo, 1984.
- [19] Young, R.M.: Surrogates and mappings: two kind of conceptual models for interactive devices. In Genter, D. & Stevens, A. (Hrsg.): Mental models. Erlbaum, Hillsdale N.J., 1983.

Dr.Michael J.Tauber  
 IBM Wissenschaftliches Zentrum  
 Tiergartenstr.15  
 D-6900 Heidelberg