

# **Inkompatibilitäten zwischen mentalen und rechnerinternen Modellen im rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß**

**E. A. Hartmann (Aachen) & E. Eberleh (Walldorf)**

Ausgehend von Johnson-Lairds (1983) Typologie wird eine Taxonomie mentaler Modelle vorgeschlagen. Diese dient zur Beschreibung möglicher Arten von Inkompatibilitäten zwischen mentalen und rechnerinternen Modellen mit dem Ziel, im Bereich der rechnergestützten Konstruktion (CAD) auftretende Benutzungsschwierigkeiten zu klassifizieren. Es wurde eine empirische Untersuchung in drei Phasen durchgeführt: (1) Erhebung vorhandener Probleme durch Interviews mit CAD-Benutzern, (2) Einordnung der Problembeschreibungen nach der theoriegeleiteten Systematik der Inkompatibilitäten durch mehrere Beurteiler und (3) Klassifizierung der Problembeschreibungen durch die Benutzer/innen. Aufgrund der so gewonnenen Daten wurden zwei Vergleiche durchgeführt: Übereinstimmung zwischen den Beurteilern (Objektivitätsprüfung) und zwischen den Beurteilern und den Benutzer/innen (Validitätsprüfung). Die Ergebnisse zeigen, daß eine objektive Klassifikation der erhobenen Problembeschreibungen anhand der Inkompatibilitätsklassen möglich ist. Weiterhin besteht ein globaler Zusammenhang zwischen der theoriegeleiteten Klassifikation und der Klassifikation durch die Benutzer/innen. Auch auf der Ebene einzelner Inkompatibilitätsklassen ließ sich eine zentrale theoretische Klasse von Inkompatibilitäten in den Urteilen der Benutzer/innen deutlich wiederfinden. Einzelne Inkompatibilitätsarten lassen sich zu Kriterien der DIN 66 234, Teil 8 in Beziehung setzen und stellen so einen Beitrag zu deren theoretischer Fundierung dar.

Im CAD-Konstruktionsprozeß stehen sich zwei Repräsentationen oder Modelle von Objektstrukturen und zulässigen Arbeitsvorgängen gegenüber: mentale auf Seiten des Benutzers und rechnerinterne innerhalb des CAD-Systems. Es stellt sich die Frage, ob sich bei der Benutzung solcher Systeme auftretende Probleme als Effekte von Inkompatibilitäten ("Unverträglichkeiten") zwischen diesen Modellen interpretieren lassen. Im folgenden wird eine Klassifikation von Inkompatibilitäten zwischen Wissensstrukturen eines CAD-Benutzers und rechnerinternen Objektdarstellungen (RID) sowie erste empirische Ergebnisse zur Objektivität und Gültigkeit des Beschreibungs- und Erklärungsansatzes vorgestellt.

## **1 Eine Taxonomie mentaler Modelle**

Aufbauend auf Johnson-Lairds (1983) Taxonomie werden zwei große Klassen mentaler Modelle unterschieden: physikalische und begriffliche. Physikalische Modelle beziehen sich auf wahrnehmbare bzw. vorstellbare Aspekte der realen Welt. Zu dieser Klasse von Modellen gehören: (1) Relationale Modelle. Sie enthalten Elemente, die Objekten der realen Welt entsprechen, Eigenschaften dieser Elemente entsprechen Eigenschaften der jeweiligen Objekte, Beziehungen zwischen Elementen Beziehungen zwischen den realen Objekten. (2) Kausale Modelle erlauben Aussagen über Ursache-Wirkung-Beziehungen. Dazu müssen über die Möglichkeiten relationaler

Modelle hinaus Sequenzen von "Zeitpunkten" repräsentierbar sein (vgl. de Kleer & Brown 1983). (3) Zeitliche Modelle stellen ein mögliches Repräsentationsmedium unserer akustischen Welt dar. Sie erlauben eine Repräsentation kontinuierlicher Zeitverläufe. (4) Räumliche Modelle sind (i. d. R. dreidimensionale) Abbildungen der wahrgenommenen Welt, wobei im Unterschied zu den bisher genannten Modellen die metrischen Eigenschaften des externen Raumes erhalten bleiben. In (5) sequentiellen Modellen ist darüber hinaus eine zeitliche Abfolge repräsentiert, die allerdings keine kontinuierlichen Abläufe abbildet. Man kann sich diesen Modelltyp am besten als eine Aneinanderreihung statischer "Momentaufnahmen" vorstellen. (6) Kinetische Modelle können weiterhin Prozesse in kontinuierlicher Zeit und in einem metrischen Raum darstellen. Die 2x3-Matrix in Abbildung 1 faßt diese Taxonomie systematisch zusammen, wobei sich die beiden Dimensionen auf mögliche räumliche und zeitliche Struktureigenschaften beziehen: topologisch oder metrisch im Raum, statisch, diskret oder kontinuierlich in der Zeit.

		in der Zeit		
		statisch	diskret	kontinuierlich
im Raum	topologisch	relational	kausal	zeitlich
	metrisch	räumlich	sequentiell	kinetisch

Abb. 1: Taxonomie physikalischer mentaler Modelle

Im Unterschied zu physikalischen Modellen können begriffliche Modelle auch abstrakte Sachverhalte abbilden. Hierzu zählen wir in Anlehnung an Johnson-Laird (1983) die folgenden: (1) Monadische Modelle bestehen aus Elementen, deren Eigenschaften den Eigenschaften von abstrakten Sachverhalten der realen Welt entsprechen. (2) Relationale Modelle können darüber hinaus abstrakte Relationen zwischen Objekten abbilden. (3) Metalinguistische Modelle erlauben die Zuordnung von sprachlichen Einheiten (z. B. Namen) zu den Elementen mentaler Modelle. Sie stellen sozusagen die "Brücke" zwischen wahrnehmungsnahem und sprachgebundenem Wissen dar. (4) Mengentheoretische Modelle dienen zur Abbildung von Klasseninklusionen (Menge-Teilmenge-Beziehungen).

Begriffliche Modelle stellen topologische, insbesondere relationale, Modelle höherer Ordnung dar. Sie lassen sich auf einer Dimension zunehmender "Mächtigkeit" des Repräsentationssystems anordnen (vgl. Abbildung 2 auf der folgenden Seite). "Mächtiger" Modelle können all jene Sachverhalte repräsentieren, die sich mit weniger "mächtigen" repräsentieren lassen, und darüberhinaus weitere Sachverhalte.

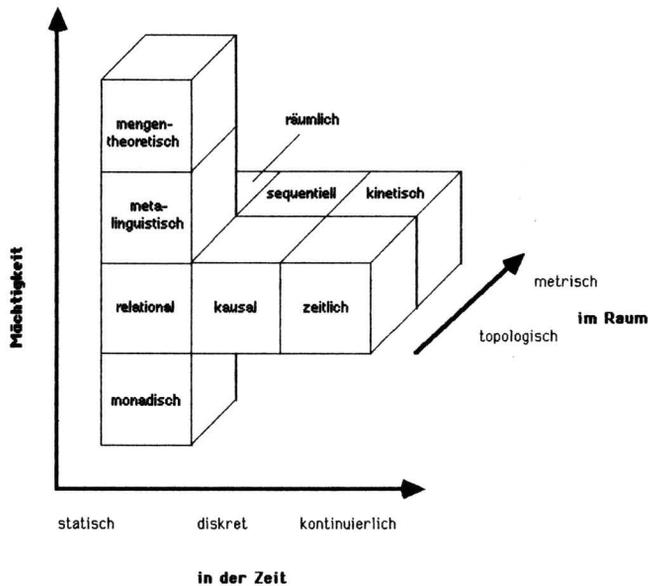


Abb. 2: Allgemeine Taxonomie mentaler Modelle

Der Schnittpunkt dieser Achse mit der Fläche der physikalischen Modelle liegt bei den relationalen Modellen: Physikalische und begriffliche relationale Modelle unterscheiden sich im Gegenstandsbereich, nicht in den Struktureigenschaften.

Im Zusammenhang mit dem Gegenstandsgebiet "rechnerunterstützte Konstruktion" ist von Interesse, daß der Konstruktionstheoretiker Yoshikawa (1983) einen Ansatz zur Beschreibung der frühen Konstruktionsphasen vorschlug, der Ähnlichkeiten zum Konzept analoger mentaler Modelle aufweist. Yoshikawa geht aus von einer "Entitätsmenge", die analoge Repräsentanten aller dem Konstrukteur bekannten Objekte des relevanten Gegenstandsbereiches enthält. Innerhalb dieser Entitätsmenge lassen sich Teilmengen bilden. Hierbei unterscheidet Yoshikawa Funktionsmengen, die Objekte mit gleichen funktionalen Eigenschaften (z. B. "kann Kraft übertragen") zusammenfassen, und Eigenschaftsmengen, die Objekte mit gleichen physischen Eigenschaften (z. B. "ist zylindrisch") enthalten. Die Aufgabe des Konstrukteurs besteht nun darin, die als Schnittmenge mehrerer Funktionsmengen verstandene funktionale Spezifikation sukzessive so auf den Eigenschaftsraum abzubilden, daß die Lösung des Konstruktionsproblems als Schnittmenge mehrerer Eigenschaftsmengen identifizierbar wird. Funktionsmengen und Eigenschaftsmengen entsprechen dabei strukturell relationalen Modellen sensu Johnson-Laird (1983).

## 2 Inkompatibilitäten zwischen mentalem und rechnerinternem Modell

Folgende Klassen von Inkompatibilitäten lassen sich aus der in Kapitel 2 vorgeschlagenen Taxonomie ableiten (Beispiele für die einzelnen Inkompatibilitätsarten finden sich in Abschnitt 4): (1) taxonomische, (2) topologische, (3) metrische, (4) sequentielle und (5) zeitliche. Die einzelnen Inkompatibilitätsarten sind wie folgt definiert: Eine taxonomische Inkompatibilität liegt dann vor, wenn die beiden Modelle nach der allgemeinen Taxonomie mentaler Modelle (vgl. Abb. 2) von unterschiedlichem Typ sind. Taxonomische Inkompatibilitäten beziehen sich auf die Taxonomie insgesamt. Die Ableitung der folgenden vier Inkompatibilitätsarten beruht auf der Überlegung, daß auch dann Unterschiede zwischen den Modellen bestehen können, wenn sie vom gleichen taxonomischen Typ sind. Dies ist dann gegeben, wenn sich die in den jeweiligen Modellen repräsentierten Sachverhalte nicht entsprechen. Welche Arten von Sachverhalten dies sind, hängt von den Struktureigenschaften der Modelle ab. Diese Struktureigenschaften unterscheiden sich im Falle der physikalischen Modelle, wie in Abbildung 1 dargestellt, in räumlicher und zeitlicher Hinsicht, mit den Ausprägungen "topologisch" und "metrisch" resp. "statisch", "diskret" und "kontinuierlich".

Eine topologische Inkompatibilität liegt dann vor, wenn Eigenschaften von Objekten oder nicht-metrische Relationen ("hat-ein", "ist-ein", "gehört-zu" etc.) zwischen Objekten in den beiden Modellen unterschiedlich sind. Dies bezieht sich auch auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von Objekten. Von Streitz (1988) wird diese Situation als "Anlogie 2. Ordnung" beschrieben. Metrische Inkompatibilitäten beziehen sich auf mögliche Unterschiede zwischen Modellen, die beide metrische Abbildungen darstellen. (Wenigstens) zwei Fälle können hier unterschieden werden. Zum einen können die Dimensionen der Repräsentationsräume zwischen den beiden Modellen in ihrer Anzahl (z. B. zwei- vs. dreidimensional) differieren. Zum anderen können Größenverhältnisse zwischen den Objekten unterschiedlich sein. Bei sequentuellen Inkompatibilitäten entsprechen sich die zeitlichen Reihenfolgen von Ereignissen in den beiden Modellen nicht. Diese Ereignisse können z. B. einzelne Arbeitsschritte sein. Zeitliche Inkompatibilitäten liegen dann vor, wenn die zeitliche Metrik kontinuierlicher Prozesse bei gleichbleibender Reihenfolge variiert. Ein Beispiel ist die Simulation von Fertigungsprozessen o. ä. in nicht-realer Zeit.

## 3 Empirische Untersuchung über Benutzungsprobleme bei CAD

Es wurde eine empirische Untersuchung durchgeführt zur Überprüfung der folgenden Hypothesen: (1) Kommt der vorgeschlagenen Klassifikation von Inkompatibilitäten ein wissenschaftlicher Erklärungs- und Beschreibungswert zu, sollten empirisch vorgefundene Schwierigkeiten im Umgang mit CAD-Systemen hinreichend objektiv einer der oben beschriebenen Inkom-

patibilitätsarten zugewiesen bzw. als nicht zum Gegenstandsbereich der Taxonomie zugehörig beurteilt werden können. (2) Kommt ihr darüber hinaus unmittelbare psychologische Realität zu, sollten unterschiedliche Arten von Inkompatibilitäten von Benutzer/inne/n unterschieden werden können. Im Idealfall sollte eine nach der oben beschriebenen Systematik vorgenommene Klassifikation mit einer Problemklassifikation durch die Benutzer/innen korrespondieren.

Die Untersuchung gliederte sich in drei Phasen: (1) Erhebung von systembedingten Problemen beim CAD-Konstruieren durch halbstrukturierte Interviews mit Benutzer/inne/n, (2) Klassifizierung der Problembeschreibungen anhand der vorgeschlagenen Taxonomie durch entsprechend unterrichtete Beurteiler, (3) Klassifizierung der Problembeschreibungen durch die Benutzer/innen in selbstgewählte Kategorien.

Insgesamt zehn Benutzer und vier Benutzerinnen von CAD-Systemen im Alter von 24 bis 49 (im Mittel 33) Jahren aus drei Betrieben und einem Hochschulinstitut in Aachen und Umgebung nahmen an der Untersuchung teil, davon drei nur in Phase 1 und zwei nur in Phase 3. Die übrigen Personen nahmen an den beiden genannten Phasen teil, so daß in der ersten Phase zwölf und in der dritten Phase elf Personen zur Verfügung standen. Fünf Personen waren Hochschulabsolventen (Dipl.-Ing. bzw. Dipl.-Ing. FH), die übrigen neun Techniker oder Technische Zeichner/inne/n. Die Dauer der Tätigkeit an einem CAD-System betrug zwischen drei Monaten und fünf Jahren (im Mittel ein Jahr und zehn Monate). Die Aufgabengebiete umfaßten konstruktive Tätigkeiten im engeren Sinn (fünf Personen), Planung und Optimierung von Anlagen, Erstellung von Zeichnungen, Schaltplänen etc..

In der ersten Untersuchungsphase wurden die Teilnehmer/innen aufgefordert, Schwierigkeiten zu schildern, die sich unmittelbar aus der Arbeit mit dem System ergeben. Nicht-systemabhängige Faktoren wie z. B. Arbeitsorganisation, Auslegung der Möbel, Raumklima etc. wurden ausdrücklich ausgeschlossen. Auf weitere Eingrenzungen des Gegenstandsbereiches wurde bewußt verzichtet. Auf diese Weise wurden (ohne Mehrfachnennungen) insgesamt 77 Problembeschreibungen erhoben. Drei Personen (Psychologiestudenten) klassifizierten in der zweiten Untersuchungsphase unabhängig voneinander die Problembeschreibungen nach der oben vorgestellten Taxonomie möglicher Inkompatibilitätsarten. Dabei wurde jede Problembeschreibung entweder einer der fünf Inkompatibilitätsarten zugeordnet oder als nicht zum Gegenstandsbereich der Taxonomie zugehörig beurteilt. In der dritten Phase wurde den Benutzer/inne/n zunächst der komplette Satz aller Problembeschreibungen vorgelegt. Sie wurden gebeten, die Beschreibungen der Reihe nach zu lesen und dabei die ihnen bekannten Probleme von den unbekannteren zu trennen. Die unbekannteren Problembeschreibungen wurden daraufhin entfernt. Die verbliebenen bekannten Problembeschreibungen sollten nun so auf Stapel verteilt werden, daß Gruppen subjektiv ähnlich erlebter Probleme einen Stapel bilden. Die Wahl der Ähnlichkeitskriterien, die Anzahl der Stapel und die Anzahl der Karten pro Stapel wurde freigestellt.

Anschließend wurden die Benutzer /innen gebeten, die einzelnen Stapel verbal zu charakterisieren.

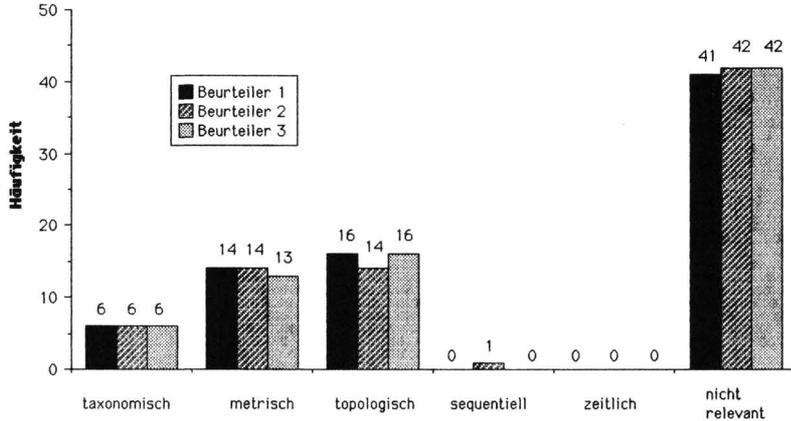


Abb. 3: Einteilung der Benutzungsprobleme in die Inkompatibilitätsklassen

Die Verteilung der Problembeschreibungen auf die theoretisch hergeleiteten Klassen ist für die drei Beurteiler in Abbildung 3 dargestellt. Aufgrund dieser Ergebnisse liegen in der erhobenen Stichprobe von Problembeschreibungen taxonomische, metrische und topologische Inkompatibilitäten sowie theorieirrelevante Probleme vor. Im folgenden wird daher von vier Inkompatibilitätsklassen (drei taxonomie relevanten und einer Restklasse) ausgegangen.

Für jede der drei taxonomie relevanten Klassen sei ein Beispiel angeführt: (1) Taxonomische Inkompatibilität: "In der Konzipierungsphase interessieren mich nur funktionale Aspekte, die genaue Geometrie ist für mich nicht von Belang. Wenn ich nun am CAD-System arbeite, bin ich jedoch gezwungen, eine exakte geometrische Gestalt einzugeben." Das mentale Modell in diesem Fall ist offenbar topologisch, genauer relational (vgl. auch Abschn. 2: Funktionsmodelle sensu Yoshikawa), das rechnerinterne jedoch metrisch. (2) Topologische Inkompatibilität: "Eine Linie wird über eine schon bestehende Linie gezeichnet. Wird nun die zuletzt gezeichnete Linie gelöscht, verschwinden beide Linien vom Bildschirm. Die untere Linie ist jedoch im Speicher noch vorhanden und wird wieder auf dem Bildschirm angezeigt, wenn der Befehl zum Neuaufbau des Bildschirmminhaltes gegeben wird." Die Eigenschaften "vorhanden" und "sichtbar" der Linie stimmen hier nicht mit dem mentalen Modell überein. (3) Metrische Inkompatibilität: "Beim Zeichnen mit mehreren Ansichten im 2D-Bereich wechseln die Achsrichtungen in Seitenansicht und Draufsicht. Dabei sind schwierige Umdenkprozesse notwendig, um in Seitenansicht und Draufsicht etwas zu verändern." Die Schwierigkeit resultiert hier aus der Inkompatibilität der

## Polaritäten von Raumdimensionen.

Die Übereinstimmung zwischen den drei Beurteilern stellt Tabelle 1 dar. Neben der prozentualen Übereinstimmung finden sich dort auch Cohen'sche Kappa-Koeffizienten, die den Anteil überzufälliger Urteilsübereinstimmung, relativiert an der maximal möglichen überzufälligen Übereinstimmung, angeben. Alle Werte sind statistisch hoch signifikant ( $\alpha \leq 0,001$ ).

	Beurteiler 2	Beurteiler 3			
Beurteiler 1	87%	92%	<table border="1"> <tr> <td>Prozent Übereinstimmung</td> </tr> <tr> <td>Cohens Kappa</td> </tr> </table>	Prozent Übereinstimmung	Cohens Kappa
Prozent Übereinstimmung					
Cohens Kappa					
	0,81	0,88			
Beurteiler 2		94%			
		0,92			

Tab. 1: Übereinstimmung zwischen den Beurteilern

Anhand der Klassifikationen der Benutzer/innen wurden Ähnlichkeitswerte für alle Paare von Problembeschreibungen bestimmt (vgl. Rubin 1967, S. 108). Anschließend wurde eine partitionierende Clusteranalyse mit  $k=4$  Clustern durchgeführt. Die Anzahl der Cluster wurde aufgrund der Ergebnisse der konstruktgeleiteten Klassifikation festgelegt (s. o.). Als Optimierungskriterium wurde in Anlehnung an Rubin (1967, S. 116) die mittlere Itemstabilität gewählt. Die gefundene Clusterlösung läßt sich grob wie folgt charakterisieren: In Cluster 1 finden sich u. a. Probleme, die daraus resultieren, daß Objekte auf dem Bildschirm dargestellt werden, die (zumindest an dieser Stelle) nicht erwartet werden, weil sie z. B. gelöscht, verschoben oder an einer anderen Stelle eingegeben wurden. Dieser Teilgruppe wurde in der theoriegeleiteten Klassifikation als "topologisch" klassifiziert. Weitere Items beziehen sich z. B. auf das "Herausholen" einer Detailzeichnung oder die Zuordnung der Bemaßung zu einem Objekt. Vorherrschend sind in Cluster 2 solche Fälle, wo durch die Bildschirmdarstellung der "Überblick" über die Zeichnung bzw. die Vorstellung des technischen Objektes beeinträchtigt wird. Andere Problembeschreibungen beziehen sich auf die CAD-spezifische Arbeitsweise, die sich u. a. durch (über)große Genauigkeit und "Beschreiben" statt "Zeichnen" auszeichnet. In diesem Cluster befinden sich alle taxonomischen Inkompatibilitäten. In Cluster 3 sind v. a. Schwierigkeiten vertreten, die aus der Anwendung eines 3D-Systems für Arbeitsaufgaben im 2D-Bereich oder aus der Arbeit mit mehreren Ansichten resultieren. In Cluster 4 finden sich fast ausschließlich Beeinträchtigungen durch mangelnde Systemgeschwindigkeit oder schwer zu erlernende und zu behaltende Befehle. Die hier vertretenen Problembeschreibungen gehören bis auf eine nicht zum Gegenstandsbereich der Taxonomie.

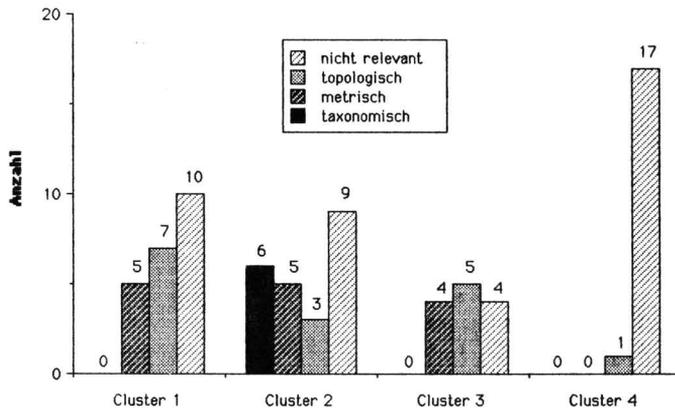


Abb. 4: Verteilung der theoretischen Klassen innerhalb der Cluster

Abbildung 4 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der theoriegeleiteten Klassifikation und dem Ergebnis der Clusteranalyse anhand der Daten von Beurteiler 1. Aufgrund der hohen Übereinstimmung zwischen den Beurteilern ergibt sich für die beiden anderen Beurteiler ein sehr ähnliches Bild; auf die Darstellung wurde daher aus Platzgründen verzichtet. Die statistische Prüfung zeigt für alle drei Beurteiler hochsignifikante Zusammenhänge ( $\alpha \leq 0,001$ ;  $0,64 \leq CC_{\text{korr}} \leq 0,66$ ).

#### 4 Diskussion und Folgerungen

Das erste wesentliche Anliegen dieser Untersuchung war die Klärung der Frage, ob sich vorhandene Probleme bei der Benutzung von CAD-Systemen aufgrund der vorgeschlagenen Taxonomie hinreichend objektiv klassifizieren lassen. Die Ergebnisse der Untersuchungsphase 2 lassen es zu, diese Frage positiv zu beantworten (vgl. Tab 1). Weiterhin erscheint der Anteil taxonomierelevanter Probleme von über 40% angesichts der sehr offenen Fragestellung bei der Erhebung der Problembeschreibungen nicht als gering; die vorgestellte Taxonomie bezieht sich lediglich auf Benutzungsprobleme durch Inkompatibilitäten zwischen mentalen und rechnerinternen Modellen, was selbstverständlich nur eine unter mehreren Ursachen für auftretende Probleme sein kann. Der gewählte kognitionspsychologische Ansatz stellt somit einen sinnvollen Ausgangspunkt zur Erfassung und Erklärung vieler Benutzungsprobleme bei CAD-Systemen dar.

Hinsichtlich der Kontingenz zwischen theoriegeleiteter Klassifikation und der Klassifikation durch die Benutzer stellt sich die Situation differenzierter dar. Wenn auch ein allgemeiner Zusammenhang von nicht unerheblicher Größe besteht, ist doch das Ergebnis bei der Betrachtung der einzelnen Kategorien teilweise weniger eindeutig. Die als taxonomische Inkompatibilitäten

klassifizierten Items finden sich vollständig in einem Cluster. Dies ist deshalb erfreulich, weil diese Klasse in einem besonders direkten Bezug zur vorgeschlagenen Taxonomie steht. Weiterhin ist auch eine "Grenze der Taxonomie" in der Clusterstruktur erkennbar: In Cluster 4 finden sich praktisch keine taxonomie-relevanten Items. Die topologischen und metrischen Inkompatibilitäten verteilen sich hingegen auf drei der insgesamt vier Cluster. Auf der Ebene einzelner Probanden finden sich jedoch durchaus Hinweise auf die Existenz "topologischer Klassen". Sie bildeten Klassen mit Elementen, die von den Beurteilern als topologische Inkompatibilitäten klassifiziert worden waren und bezeichneten diese in einer Weise, die der Definition einer topologischen Inkompatibilität recht nahe kommt ("Es ist etwas nicht mehr da, was eigentlich da ist" bzw. "Die Zugehörigkeit von Elementen ist nicht klar"). Im Falle der metrischen Inkompatibilitäten scheint die Verteilung der einzelnen Items auf mehrere Cluster u. a. darauf zurückzuführen zu sein, daß die Benutzer hier wesentlich differenzierter urteilten. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da viele verschiedene Aspekte der Konstruktionsarbeit mit metrischen Repräsentationen technischer Objekte in Beziehung stehen.

Eines der von den Benutzern beschriebenen Probleme soll an dieser Stelle noch einmal näher besprochen werden. Es bestand darin, daß den Konstrukteur in der Konzipierungsphase (Funktionsfindung, Prinzipiarbeit) lediglich funktionale Aspekte interessieren, das CAD-System jedoch die Eingabe einer exakten geometrischen Gestalt verlangt (s. o.). Interpretiert wurde dies dahingehend, daß in dieser Phase topologische mentale Modelle vorliegen (vgl. hierzu auch Yoshikawas Konzeption topologischer Eigenschafts- und Funktionsmodelle in Abschn. 2, die sich ebenfalls auf frühe Konstruktionsphasen bezieht). Diese Überlegung führt zu einem Aspekt der Gestaltung von CAD-Systemen. Verschiedentlich wurde gefordert, eine Möglichkeit zur Freihandeingabe von Skizzen zu schaffen (vgl. z. B. Wærn 1989, Kap. 11). Im Rahmen des ESPRIT-Projekts 1217 (1199) "Human Centered CIM" (Rasmussen et al. 1987) wurde ein "elektronischer Skizzenblock" als CAD-Eingabegerät entwickelt. Vor dem Hintergrund der oben ausgeführten Überlegungen erscheint eine solche Lösung als sinnvoll, da sie es dem Konstrukteur gestattet, Entwürfe funktionaler Strukturen in gewohnter Weise zu fixieren, ohne ein präzises metrisches Modell generieren zu müssen. Über ein solches Eingabegerät hinaus sollte eine CAD-interne "Ideenbank" zur Archivierung solcher Skizzen vorhanden sein. Weiterhin ist nicht nur davon auszugehen, daß die Art der konstruktiven Aufgabe Struktur und Inhalt des mentalen Modells beeinflußt. Vielmehr kann mit einiger Sicherheit angenommen werden, daß verschiedene Personen je nach ihren individuellen Arbeits- und Denkgewohnheiten unterschiedliche mentale Modelle generieren werden. Daraus ist zu folgern, daß bei der Gestaltung von CAD-Systemen im Sinne der hier vorgestellten Taxonomie unterschiedliche Methoden der Darstellung rechner-interner Modelle auf der Benutzeroberfläche sowie der Erzeugung und Manipulation dieser Modelle vorgesehen werden müssen. Während des Entwicklungsprozesses sind die von den zukünftigen Benutzern üblicherweise verwendeten Modellarten zu identifizieren, etwa durch Untersuchungen am bisherigen Arbeitsplatz oder an Prototypen des Systems.

Die hier vorgestellte Systematik der Inkompatibilitäten ist keineswegs auf den Anwendungsbereich CAD beschränkt. Untersuchungen in anderen Gegenstandsbereichen wären wünschenswert. Ein Ziel solcher Untersuchungen könnte es sein, die vorgeschlagene Systematik der Inkompatibilitätsarten als "konzeptuelles Raster" zur Identifikation potentieller Inkompatibilitätsquellen während des Gestaltungsprozesses nutzbar zu machen.

Abschließend soll der hier vorgeschlagene Ansatz in Beziehung gesetzt werden zu den in der DIN-Norm 66234, Teil 8, aufgeführten Kriterien der Dialoggestaltung. Taxonomische Inkompatibilitäten (bzw. die Vermeidung derselben) entsprechen in etwa dem Aspekt der Aufgabenangemessenheit. Topologische Inkompatibilitäten korrespondieren mit mangelnder Erwartungskonformität. Vielleicht könnte die in dieser Arbeit entwickelte Konzeption einen Beitrag zur bisher mangelhaften theoretischen Fundierung dieser Gestaltungsrichtlinien leisten.

### Literatur

- Johnson-Laird, P. N. (1983). Mental Models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness. Cambridge: Cambridge University Press.
- de Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In Gentner, D. & Stevens, A. (Eds.), Mental Models. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Rasmussen, L. B., Tøttrup, P., Andersen, E., Andersen, K. M. & Hansen, F. (1987). Work Culture and CAD Requirements. ESPRIT Project 1217 (1199) Human-Centered CIM Systems, Deliverable R 12. o. O.
- Rubin, J. (1967). Optimal classification into groups: an approach for solving the taxonomy problem. Journal of Theoretical Biology, 15, 103-144.
- Streitz, N. A. (1988). Metaphors, analogies, and mental models: implications for the design of adaptive user-system interfaces. In Mandl, H. & Lesgold, A. (Eds.), Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems. New York: Springer.
- Waern, K.-G. (1988). Cognitive aspects of computer aided design. In Helander, M. (Ed.), Handbook of Human-Computer Interaction. Amsterdam: North-Holland.
- Waern, Y. (1989). Cognitive Aspects of Computer Supported Tasks. New York: Wiley.
- Yoshikawa, H. (1983). Designer's designing models. In Hubka & Andreassen (Eds.), Computer Aided Design, Konstruktionsmethoden, Design Methods. Proceedings of ICED 83. Zürich: Heurista.

\* \* \*

Dipl.-Psych. Ernst A. Hartmann  
RWTH Aachen  
Hochschuldidaktisches Zentrum  
Rolandstr. 7-9  
5100 Aachen

Dr. Edmund Eberle  
SAP AG  
Abt. SAA-C  
Max-Planck-Str. 8  
6909 Walldorf