

Vorgehensmodelle als Basis der Gestaltung durchgängiger CAD-Systeme

Steinmann, F.; Hübler, R.

1. Problemstellung

Für die Gestaltung einer durchgängigen Unterstützung des Entwurfsprozesses stehen gegenwärtig deskriptive Modelle des Entwurfsgegenstandes (Bauwerksmodell) im Mittelpunkt der Untersuchungen. Diese Modelle gestatten eine Weitergabe von Entwurfsergebnissen sowie das Ableiten von Repräsentationen. Die Gliederungen des Entwurfsprozesses unterteilen diesen pragmatisch nach organisatorischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten (Planbarkeit und Abrechenbarkeit). Dies führt zu einer Sequenz von Entwurfsphasen (HOAI). Diese Gliederungen berücksichtigen nicht das *Wie* des eigentlichen modellkreativen Schaffensprozesses. Für ein echtes *CADesign* bildet dessen Klärung jedoch die erforderliche Voraussetzung.

Im folgenden wird der Versuch unternommen, die Beschaffenheit von Entwurfsvorgängen aus kognitiver Sicht weitergehend zu beschreiben. Daraus resultierend werden Anforderungen an entsprechende Prozeßmodelle abgeleitet und ein System generischer Entwurfsaktionen vorgeschlagen. Sie bilden eine Grundlage für die

- Systematisierung computergestützter Entwurfshandlungen, insbesondere durch Ergänzung des deskriptiven um ein operationales Modell sowie deren erweiterte Interpretierbarkeit
- Erzeugung wissensbasierter Werkzeuge zur automatischen Modellgenerierung/-konfigurierung
- Implementation von leistungsfähigen UNDO- und TMS-Mechanismen.

2. Struktur von Entwurfsprozessen

Realistische Entwurfsaufgaben, selbst wenn sie gut abgrenzt und vollständig spezifiziert vorliegen, sind im allgemeinen zu komplex, um sie in einem Zug zu lösen. In einem Zug heißt hier, daß zu *einem* Entwurfsproblem *ein* Lösungsobjekt ganzheitlich assoziiert werden kann, welches der Spezifikation genügt. Neben der Abstraktion ist die Problemdekomposition eine Möglichkeit zur Beherrschung von Komplexität (Abb. 1). Dieser Prozeß kann rekursiv so lange wiederholt werden, bis entsprechend des Abstraktionsgrades der bearbeiteten Entwurfphase eine Lösung in einem Zug bestimmt werden kann. Diese Gliederung der Problemstruktur kann wiederum als hierarchischer Graph dargestellt werden, der im weiteren als Taskstruktur bezeichnet wird. Dieser Graph korrespondiert mit dem Graphen, den die Aggregationsrelation bildet.

Während dieser jedoch den Zustand des Bauwerksmodells zu einem bestimmten Zeitpunkt widerspiegelt, beschreibt die Taskstruktur den Entwurfsvorgang, in dem die erwartete Funktion von ansonsten noch abstrakten Objekten (→ Funktionselemente, Abb. 2) spezifiziert wird. Ein wesentlicher Teil des Problemlösungsprozesses besteht aus der Zuweisung von Realisierungselementen zu diesen Funktionselementen, die als Vergegenständlichung eines Entwurfsproblems fungieren.

Bestandteil jeder rekursiven Problemlösungsstrategie ist jedoch neben der Lösung des terminalen Problems die Synthese der Teillösung zur Gesamtlösung. Für die Erfassung des entsprechenden Konfigurierungsproblems liegen eine Reihe von Formalisierungen vor, die sich jedoch auf reduzierte Entwurfsprobleme (*Routine Design*) (etwa DÖRNER [DÖR91]) beziehen und nicht ohne weiteres auf den hier betrachteten Problembereich des Bauentwurfs übertragbar¹ sind. Hauptproblem ist, daß diese

Ansätze für den Konfigurationsprozeß eine bestimmte, a priori fixierte Taskstruktur vorsehen, da die Komponentenstruktur der zu konfigurierenden technischen Artefakte ebenfalls vorgegeben ist. Eine Funktionsbeschreibung liegt meist nur implizit vor, sie ist Teil der CAD-Lösung selbst. Das Vorgehen beim Konfigurieren folgt dabei einer Taskstruktur, die vom Entwickler eines unterstützenden Systems vorgegeben ist. Der Aufbau einer hierarchisch dekomponierbaren Funktionsspezifikation als Definition von Zielen für Entwurfstasks ist gegenwärtig nicht von CAD-Systemen unterstützt.

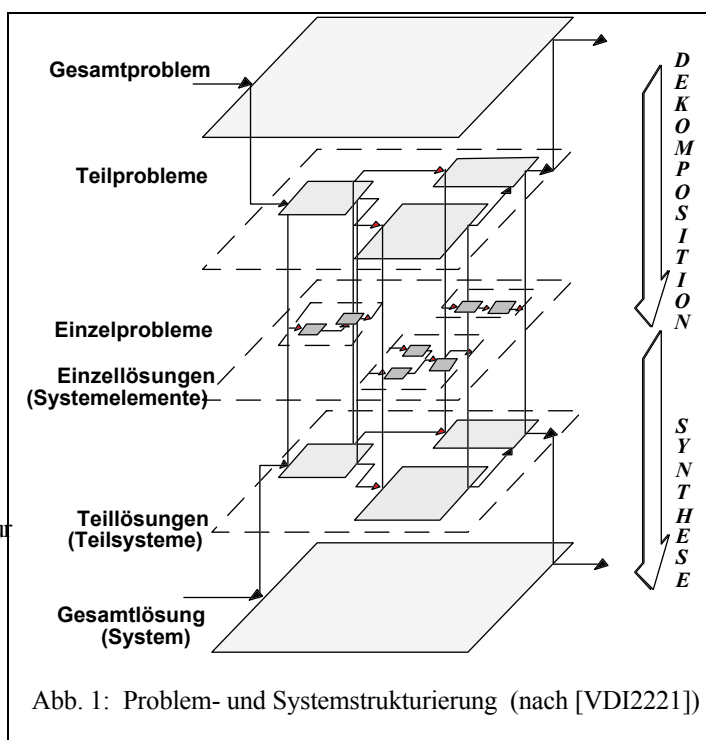


Abb. 1: Problem- und Systemstrukturierung (nach [VDI2221])

¹ dies bezieht sich auf Untersuchungen im Rahmen des FABEL-Projektes (vergl. [BAK93])

Für eine Charakterisierung des Entwurfsvorganges ist die Art und Weise, wie diese hierarchischen Strukturen aufgebaut werden, von großer Bedeutung. Am Beginn jedes Entwurfes steht eine umfassende, abstrakte Aufgabenstellung, die die Realisierung eines gesellschaftlichen Bedürfnisses zum Ziel hat. Mit dieser Entwurfsaufgabe ist der 'Top-Knoten' des hierarchischen Taskgraphen gegeben. Im Laufe eines Analyseprozesses wird diese allgemeine Entwurfsaufgabe in immer präzisere Teilprobleme dekomponiert. Jedoch kann dieser prinzipiell top-down organisierte Prozeß für bestimmte Teilprobleme durchbrochen werden, wenn sie von großer Bedeutung, oder leicht lösbar sind. Hier werden Problemstellungen definiert und gelöst, für die ein Gesamtproblem, in das diese Teillösungen strukturell einzuordnen wären, erst noch zu definieren wäre. Für heutige CAD-Systeme, soweit sie überhaupt über ein wirkliches Objektmodell verfügen, wird eine Komposition von Komplexobjekten bottom-up organisiert – das Erzeugen eines graphischen Elementes in einem CAD-System visualisiert ein konstruktives Element, für das kein expliziter Kontext in Form einer Entwurfstask existiert. Diese Tasks müssen jedoch mental beim Entwerfenden sehr wohl gegeben sein, da niemand zweckfrei eine Wand in einem CAD-System erzeugt. Er weiß, diese Wand gehört zu einem Raum, der zu einer Etage gehört, die zu einem Gebäude gehört. Der Entwerfer hat also mental eine Taskstruktur aufgebaut und damit korrespondiert eine Gebäudemodellstruktur. Genau dieser Prozeß wird aber durch CAD-Systeme nicht unterstützt. Dies ist auch die Begründung für die Ansicht, daß heutige CAD-Technologie nicht 'Design' sondern letztlich immer nur 'Drafting' unterstützt. Eine Hilfe bei Modellaufbau und -strukturierung selbst erfolgt nicht.

Eine analoge technische Nachbildung des top-down organisierten, mentalen Entwurfsprozesses ist jedoch ebensowenig wünschenswert. Der Entwerfende wäre gezwungen, alle, auch unbewußte Entwurfsaufgaben in Form von Objekten zu externalisieren. Durch die hohe Subjektivität dieser Vorgänge scheint dies unmöglich, zumal schwerwiegende Aufwands- und Akzeptanzprobleme zu erwarten wären. Eine CAD-Unterstützung muß deshalb eine *opportunistische* Entwurfsstrategie unterstützen, die sowohl top-down-orientierte als auch bottom-up-orientierte Handlungsanteile zu läßt und so dem beobachtbaren, scheinbar chaotischen Entwurfsvorgang zu folgen vermag (Abb. 3).

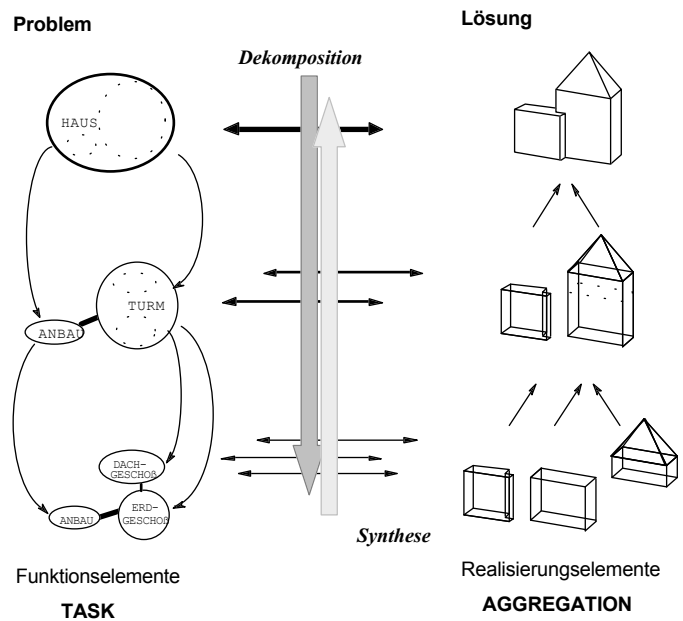


Abb.2 : Funktionelle Spezifikation als Dekompositionsprozess

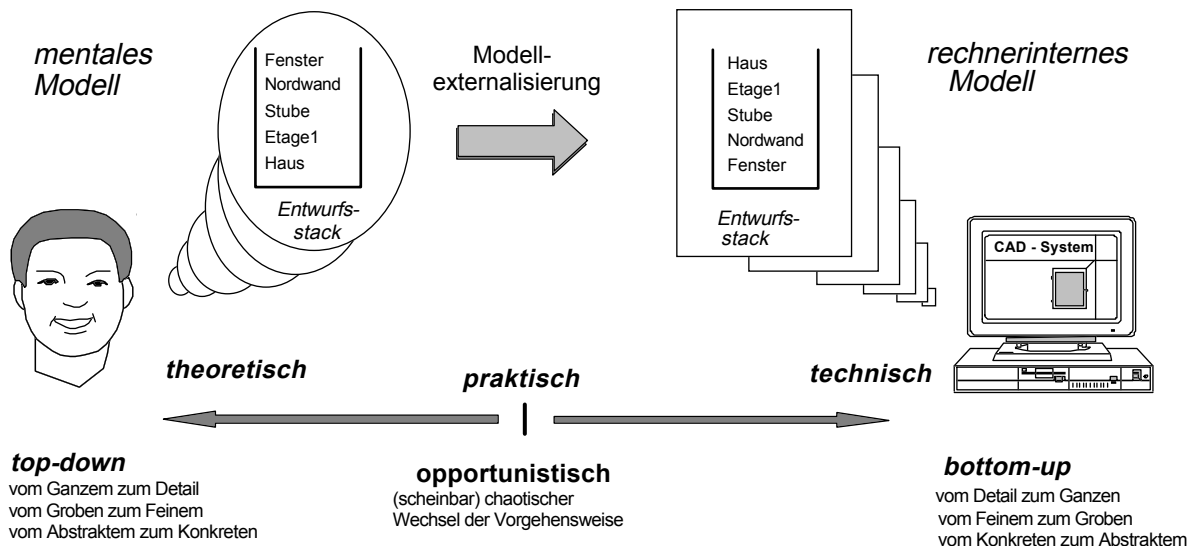


Abb. 3 : Pole der Entwurfsstrategie

Unabhängbare Grundlage hierfür ist die Existenz einer echten Aufbaustruktur. Das Ziel von CAD-System sollte sein, Modell im Rechner in gleicher Weise zu erstellen, wie das der Architekt mit seinem mentalen Modell tut. Natürlich beobachtbaren Prozeßsequenzen sollten am Modell ausführbar sein. Die Verfügbarkeit des operationalen Modells, das zu einem Entwurfsergebnis führt, ist weiterhin Grundlage für leistungsfähige UNDO-Mechanismen (ungesteuertes Backtracking) oder 'Truth Maintenance Systems' (gesteuertes Backtracking). ENCARNACAO [ENC90] fordert für Systeme die 'Conceptual Design' unterstützen : „...es (ist) notwendig, daß der Designer mit einem System arbeitet, welches die

Abfolge von Entwurfsoperationen in der Vielfalt der Entwurfspfade bewahrt, um irrelevante Pfade zu verwerfen oder neu aufzunehmen.“

3. Strukturierung von CAD-Prozeßmodellen

Aufbauend auf kognitiv begründeten Ansätzen zur Erfassung von Entwurfsprozessen, wie sie etwa bei BROADBEND [BRO73], ASIMOV [ASI62], MARCH [MAR84], GERO [GER89] bzw. TANK [TAN91] zu finden sind, werden im folgenden Grundelemente für die Gestaltung zukünftiger CAAD-Prozeßmodelle als Basis für zugehörige Werkzeugstützungen vorgeschlagen. Ein entsprechender Modellansatz muß einerseits allgemein genug sein, um den Entwurfsprozeß in allen und insbesondere auch den frühen Phasen abbilden zu können, da diese die Qualität des Bauwerks prägen. Adäquate Tools müssen andererseits speziell genug sein, um realistische Entwurfsmodelle der jeweiligen Domäne adäquat aufbauen zu können. Sie sollten auch scheinbar chaotischen Prozeßverläufen folgen können und so die Durchgängigkeit der Systeme gewährleisten. Die Tools sollten über die Möglichkeit der seiteneffektfreien Rücknahme von Entwurfsaktionen verfügen. Nur dann werden sie in der explorativen Weise genutzt werden, die die Entwurfstätigkeit des Architekten kennzeichnet. Es müssen also Entwurfshandlungen als operativer Teil des gegenständlichen Modells gespeichert sein. Sie sind eine Voraussetzung zur Implementation leistungsfähiger UNDO- sowie ATMS- bzw. JTMS-Mechanismen [PUP91].

Ausgangspunkt für die Gestaltung des operativen Modells bleibt das deskriptive Produktmodell und dessen Strukturierungsparadigma, d.h. ein Metamodell (z.B. die Objektorientierung). CAAD-Tools sollten Aktionen bieten, die sich am Modellerstellungs- und -veränderungsprozeß orientieren und die für ein bestimmtes Metamodell generisch sind. Dies bietet den Vorteil, daß alle Tools, welche sich dieser gemeinsamen Modellstrukturierung bedienen, auf einem gleichen oder doch ähnlichen Satz von Modellierungsfunktionen arbeiten. Bei Beibehaltung des Metamodells sind diese modellverändernden Aktionen generisch für alle Entwurfsphasen und könnten so zu einem einheitlichen Bedienkonzept führen. Dies verfolgt letztlich das gleiche Anliegen wie Style Guides zur Erstellung einheitliche GUI's (siehe etwa MS-Windows Style Guide [MSC95]).

Als Basis für CA(A)D-Systeme werden generische *atomare Designaktionen* vorgeschlagen. Diese Basisaktionen bieten ein Klassifikationsschema für Entwurfsoperationen, das die Funktionalität aller phasenspezifischen CAD-Tools strukturieren könnte. So könnten die kognitive Gliederung und die pragmatischen Gliederung des Entwurfsprozesses in einem einheitlichen Prozeßmodell des Entwurfs vereinigt werden (Abb. 4).

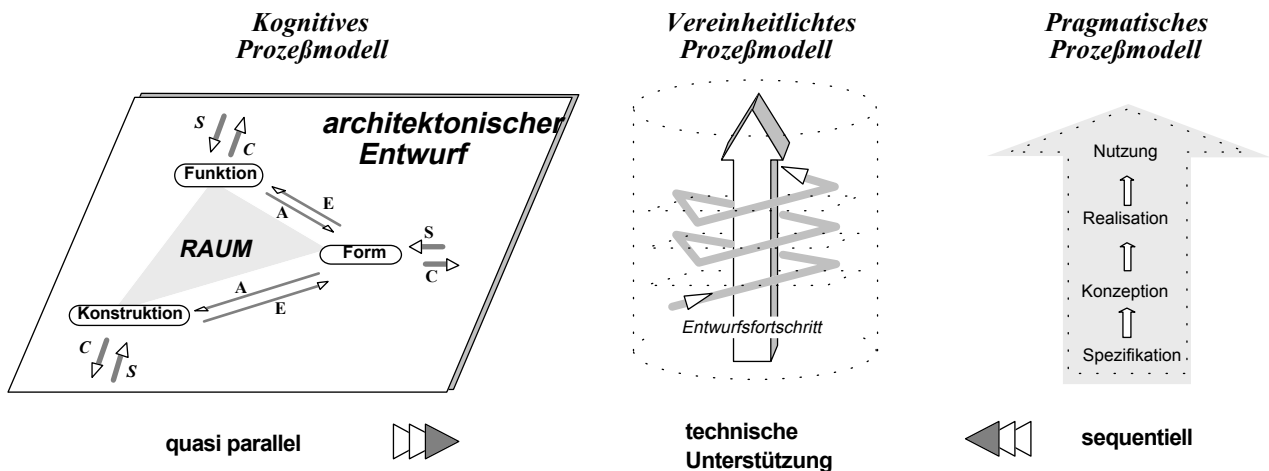


Abb. 4 : Vereinheitlichtes Prozeßmodell des Entwurfs

Aus Gründen der Austauschbarkeit und Abrechenbarkeit bleibt die vertikale Gliederung in sequentielle Entwurfsphasen weiterhin nötig. An den Phasengrenzen, wie sie etwa die HOAI vorsieht, können jeweils genormte, d.h. konsensfähige Repräsentationen zum Modellaustausch erzeugt werden. An diesen Grenzen findet Kommunikation statt. Die eigentlichen Designaktionen sind die Aktivitäten, die zur Konstituierung des deskriptiven Modells führen. Neben diesen Aktionen sind aber auch Tätigkeiten beobachtbar, die sich mit der Organisation des Modellaufbauprozesses befassen. Diese Aktionen dienen der Steuerung der Entwurfssequenz, d.h. der Selektion, Parametrisierung, Abarbeitung von Entwurfsoperationen und ggf. deren seiteneffektfreier Rücknahme. Somit ergibt sich die in Abb. 5 dargestellte Klassifikation von Entwurfsaktionen.

4. Atomare Designaktionen

Die im weiteren vorgestellten Designaktionen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit bzw. vollständige Orthogonalität. Sie dienen der Illustration möglicher Prozeßstrukturierungen, insbesondere von synthetisierenden Tätigkeiten, als den eigentlich kreativen, Modelle schaffenden Teilprozessen.

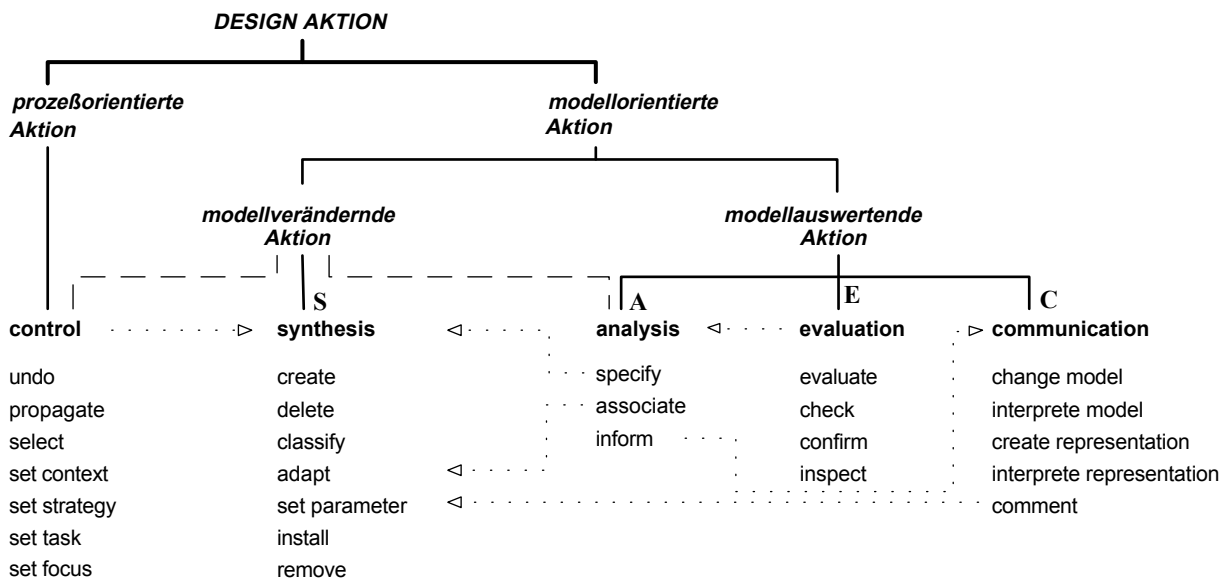


Abb. 5 : Klassifikationen von Designaktivitäten

SYNTHESIS

Synthetisierende Aktionen werden auch als Produktionen oder generierende Aktionen bezeichnet. Ihre Anwendung erzeugen das deskriptive Modell oder verändern es. Sie sind somit Werkzeuge eines schöpferischen Akts. Mit Hilfe dieser Operationen werden Lösungen bzw. eine Varietät von Lösungskandidaten erzeugt. RITTEL [RIT92] bezeichnet Varietätserzeugung (Synthese) und Varietätseinschränkung (Evaluierung) als Elementartätigkeiten des Entwurfs. Jedes CAD-Tool, das analoge Modelle aufbaut, verfügt notwendigerweise explizit oder implizit über Syntheseoperationen – explizit, wenn mit ihnen durch den Nutzer Modelle kreiert werden, implizit, wenn das Tool durch Interpretation eines externen Modells ein eigenes, internes Modell aufbaut. Sie sind im Sinne der Programmierung seiteneffektbehaftet, da ihre Ausführung eine Änderung des Modellzustandes bewirkt.

Produktionen sind zielgetrieben. Sie werden durch den Entwerfenden zweckgebunden zur Lösung einer Entwurfsaufgabe eingesetzt. Für eine CAD-Entwicklung gelingt jedoch eine formale, vollständige oder auch nur hinreichende Abbildung von Zielen (→ Funktionselemente) zu Lösungen (→ Realisierungselemente) nur für sehr spezielle Entwurfsaufgaben. Es handelt sich hierbei um einen abduktiven Prozeß, für den COYNE [COY90] feststellt, daß dieser Schluß „... eine Hypothese (generiert), die mögliche Voraussetzungen einer tatsächlichen oder erwünschten Erscheinung liefert. Im Bezug auf den Entwurfsprozeß stellen Hypothesen mögliche Lösungen der Entwurfsaufgabe dar, die einer Entwurfsinterpretation ausgesetzt werden.“

Tätigkeit	Zeitanteile in [%]		
	von	Mittel	bis
A Informieren (A1 - Standortanalyse, A2 - Anlaufberatungen, A3 - Vorschriften, A4 - bekannte analoge Lösungen)	10	19	26
B Entwerfen (B1 - Funktionsbestimmung, B2 - Raumanordnung, Gestaltung, B3 - Konstruktionsprinzip)	33	48	59
C zeichnerische Dokumentation	12	23	32
D rechnerische Prüfung, Nachweise	0	2	5
E visuelle Prüfung, Kontrolle	1	4	8
F Ändern	1	7	18
G Listen	0	0.2	1
H Schriftwechsel	1	2	5

Abb. 6 : Tätigkeitsarten und deren Verteilung in den Leistungsphasen 1-3 ([WEN90])

Für abduktive Schlüsse sind keine formalen Theorien bekannt, ihr Einsatz ist somit weitgehend nutzerbestimmt.

$$\text{Funktionselemente} \xrightarrow{\text{Abduktion}} \text{Realisierungselemente}$$

Bezogen auf eine Darstellung von Tätigkeitsarten sowie eine Abschätzung ihres quantitativen Umfangs innerhalb der architektonischen Entwurfsphasen bei WENZEL [WEN90] (Abb. 6) betrifft das die Handlungsanteile **B2** : *Raum-anordnung, Gestaltung*, **B3** : *Konstruktionsprinzip*, **F** : *Ändern* mit einem Gesamtzeitanteil von 39%.

ANALYSIS

Voraussetzung für den abduktiven Prozeß der Produktion von Lösungskandidaten ist die Formulierung von erwünschten Erscheinungen als Randbedingungen (constraints) und Ziel- bzw. Optimierungskriterien einer Entwurfsaufgabe. Der Analyseprozeß ist also ein vorbereitender Prozeß des eigentlichen Entwurfs, der eine Problem- oder Bedarfsanalyse durchführt und eine konkrete Aufgabenstellung erzeugt.

In Abb.6 handelt es sich um die Tätigkeiten des ‘*sich Informierens*’ (**A**) und der *Funktionsbestimmung* (**B1**) als der eigentlichen Fixierung der gefundenen Anforderungen. Sie umfassen einen Zeitanteil von 37%. Im Rahmen des frühen architektonischen Entwerfens kommt diesen Designaktionen also eine große Bedeutung zu, da sie keineswegs trivial sind und einen erheblichen Anteil an Arbeitszeit binden. RITTEL formuliert : „*Das Problem beim Planen ist, zu verstehen was das Problem ist*“ ([RIT92]). Für eine systematische Entwurfstätigkeit (als Basis einer CAD-Stützung) und für die Organisationen einer kollektiven Entwurfstätigkeit ist eine Externalisierung dieser Aufgabenbeschreibung notwendig oder doch zumindest sinnvoll. Diese Externalisierung erfolgt wiederum in einem Modell, zu dessen Aufbau synthetisierende Aktivitäten erforderlich sind. Im Hinblick auf das eigentliche Modell des primär zu planenden Artefakts sind Analysetätigkeiten *nicht* modellverändernd.

Eine vollständige Spezifikation gelingt nicht, vielmehr erfolgt auch die Problemanalyse in einem rekursiven Prozeß der (meist) top-down bzw. (seltener) bottom-up organisiert ist. Für solch unvollständige Spezifikationen werden i.A. bereits Lösungskandidaten generiert, d.h. Analyse und Synthese erfolgen quasiparallel (opportunistische Designstrategie).

Die Analyse bedient sich einer induktiven Schlußweise. Sie leitet mit den Randbedingungen die für den jeweiligen Entwurfs gültigen Regeln aus einer Vielzahl von bekannten Entwurfsproblemen ab. COYNE [COY90] erklärt Analyse als Lernprozeß, bei dem Wissen W_i zur Designinterpretation I (Bewertung) aus Fällen $\{D\}$ (alte Entwürfe) mit bekannter Interpretation durch Induktion abgeleitet wird:

$$W_i = f_{\text{Induktion}}(\{D\}, I)$$

Da der Vorrat an bekannten Entwurfsproblemen vom Subjekt abhängig ist, sind auch induktive Schlüsse notwendigerweise subjektiv. So läßt sich bei induktiven mathematischen Beweisen formal zwar die Richtigkeit des prozedural Vorgehens nachweisen, die Anwendung des Verfahrens garantiert jedoch keinen Erfolg.

EVALUATION

Beim Evaluieren ist zu prüfen, ob Produktionen Lösungskandidaten generiert haben, die der Spezifikationen genügen. Im Rahmen einer formal logischen Betrachtung des Entwurfsprozesses können die spezifizierten Constraints als gültige Regeln eines Entwurfsproblem es betrachtet werden, während die Lösungskandidaten als Hypothese interpretiert werden können. Evaluierung ist damit ein deduktiver Prozeß, der die Gültigkeit der Hypothese im Rahmen der gültigen Regeln feststellt ([COY90]).

$$\text{Realisierungselemente} \xleftarrow{\text{Deduktion}} \text{Funktionselemente}$$

Während die ‘klassische Logik’ lediglich eine Verifikation der Hypothese vorsieht, lassen funktionale Erweiterungen, wie der LAMBDA-Kalkül, auch eine Validierung zu und gestatten somit in einem Optimierungsprozeß das Ordnen einer Menge von Lösungskandidaten. Die Funktionselemente als Ergebnis der Spezifikation integrieren Bewertungswissen, da sie auf der Interpretation basieren, mit der sie aus einer Fallbasis abgeleitet wurden.

$$\text{Güte} := f_{\text{Deduktion}}(\text{Funktionselemente}, \text{Realisierungselemente})$$

Auf Grund der gut formalisierten Konzepte, die einer Evaluierung zugrunde liegen (wie Logik und Optimierung), lassen sich Evaluierungsprozesse technisch besser unterstützen als Analyse oder Synthese. Eine generelle Unterstützbarkeit ist jedoch keineswegs gegeben. Als Probleme seien hier beispielhaft genannt, daß

- Funktions- und Realisierungselemente für die Evaluierung durch Software formalisiert sein müssen
- Funktionselemente und Realisierungselemente einer gemeinsamen Modellstrukturierung folgen müssen, um eine Zuordenbarkeit zu gewährleisten
- Deduktion im logischen. Sinne Monotonie voraussetzt (bei Evaluierung im Entwurfsprozeß i.a. nicht gegeben)
- Gütekriterien häufig nicht skalar sind (eindeutige Vergleichbarkeit von Lösungskandidaten nicht gegeben).

In Abb. 6 sind zu dieser Klasse von Designaktivitäten die Tätigkeiten **D** : *rechnerische Prüfung, Nachweise* und **E** : *visuelle Prüfung, Kontrolle* mit einem Gesamtzeitanteil von nur 6% zu zählen. Ihr wahrer Anteil dürfte aber höher liegen, da sie implizit in den eigentlichen Entwurfstätigkeiten (**B2, B3**) enthalten sind. In späteren Planungsphasen dürfte darüber hinaus ihr Anteil ebenfalls erheblich höher sein.

COMMUNICATION

Kommunikation ist keine Entwurfstätigkeit im eigentlichen Sinne, da sie weder inhaltliche Modellveränderungen bewirkt, Voraussetzungen zum Entwerfen schafft, noch Modellbewertungen erstellt. Sie umfaßt alle Prozesse der Informationstransformation und -interpretation, um eine koordinierte Abfolge von Entwurfsaktionen sowie deren benötigte Rückbeziehbarkeit über Phasengrenzen zu ermöglichen.

In der Untersuchung von WENZEL (Abb. 6) handelt es sich um die Tätigkeiten **C** : *zeichnerische Dokumentation*, **G** : *Schriftwechsel* und **H** : *Listen* mit ca. 25% Gesamtanteil in der frühen Entwurfsphase.

Ein Kommunikationsprozeß setzt mindestens zwei Kommunikanden voraus, was die Rolle der Kommunikation im Entwurfsprozeß beleuchtet. Sie ist immer dann notwendig, wenn Personen oder automatisierte Prozesse mit verschiedenen deskriptiven Modellen (bei Personen a priori gegeben) am Entwurfs- und Herstellungsvorgang beteiligt sind (Kooperation). Kommunikation wird also insbesondere an Phasengrenzen des sequentiellen Entwurfsmodell (etwa HOAI) notwendig.

CONTROL

'Control'-Aktionen sind prozeßorientierte Aktionen, die sich mit der Organisation des Entwurfsablaufs befassen. Ihre Ausführung haben keine Modellveränderungen zur Folge. In formallogischen Prozeßmodellen werden Steueraktionen nicht benötigt, da in ihnen einerseits das Entwurfsergebnis nicht von der Abfolge der Entwurfsaktionen abhängt und andererseits der Aufwand zum Erzeugen des deskriptiven Modells nicht betrachtet wird. Im praktischen Entwurfsalltag spielt jedoch das Management von Ressourcen in Form individueller oder kollektiver Arbeitsleistung sowie von technischen Ressourcen (z.B. CAD-Komponenten) eine große Rolle. Terminliche Zwänge beeinflussen die Qualität von Entwurfsergebnissen beträchtlich und die Koordination der Ingenieurgewerke ist ebenfalls im Rahmen des Planungsprozesses zu leisten. In späteren Planungsphasen treten mit Projektplanung und -management handlungsbezogene Modelle in den Vordergrund.

Aussagen über den tatsächlichen Umfang für die Organisation im frühen Entwurf lassen sich nur schwer gewinnen. Wenzel führt derartige Arbeitsanteile nicht auf. Aufwendungen für Überlegungen wie 'Welche Teilaufgabe löse ich als nächstes?' werden nicht getrennt aufgeführt, sondern der selektierten Aufgabe zugeordnet. Ihr Aufwand dürfte jedoch beträchtlich sein, wie etwa der hohe Anteil entsprechenden Programmcodes in wissensbasierten Systemen zur Konfiguration zeigt.

Für CAD-Unterstützung spielt der angestrebte Unterstützungsgrad eine entscheidende Rolle dafür, in welchem Umfang Kontrolloperationen angeboten werden sollen. Ausgehend von der Programmierbarkeit, der Art des Modellbezugs und davon wer auf Kontrolloperationen zurückgreifen kann unterscheidet GÜNTER [GÜN92]:

- *Strukturorientierte Kontrolle*
- *Benutzerorientierte Kontrolle*
- *Starre Kontrolle*
- *Datenorientierte Kontrolle*
- *Fallorientierte Kontrolle*
- *Programmierbare Kontrolle.*

Wichtigste Kontrollaktionen für die in frühen Phasen bevorzugten assistierenden CAD-Systeme ist der benutzerorientierte Kontrolltyp 'UNDO'.

5. Schlußfolgerung

Die angestrebte Vereinheitlichung von Basistätigkeiten im Entwurf verspricht eine Reihe von Vorteilen :

- Unterstützung von Analyseaktionen, d.h.expliciter Aufbau eines Funktions-/ Anforderungsmodells als Basis einer gezielten ganzheitlichen Evaluierung von Entwürfen
- Unterstützung der eigentlich kreativen Schaffensprozesse (Synthese von Produktmodellen)
- Unterstützung von Entscheidungsrücknahmen mit Hilfe der Protokollierung von Operationsfolgen, die modellzustandsverändernd wirken
- Einheitliches Bedienkonzept entsprechender Software durch die Normung oder wenigsten Klassifizierbarkeit der Aktionen über Phasen bzw. Gewerkegrenzen hinweg.

Kreativität ist immer 'das Gehen neuer Wege'. Software, die kreative Entwurfsphasen unterstützen will, kann (darf) folglich nicht komplett vorgedacht werden. Entsprechende Systeme besitzen den Charakter von '*design assistants*'. Sie bieten dem Nutzer die Möglichkeit, adäquate Modelle des Artefakts analoge seines mentalen Schaffensprozesses zu

kreieren und für diese Modelle ein Mindestmaß an Plausibilität und Systematik zu sichern. Damit ist das Ziel *nicht* das Automatisieren von Kreativität sondern das Begleiten von kreativen Prozessen. Der vorgeschlagene Satz von Entwurfsaktionen wäre hierzu eine geeignete Basis.

Literatur

- [ASI62] Asimow, M.: „Introduction to design“, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1962
- [BRO73] Broadbent, G.: „Design in architecture“, Wiley & Sons London, 1973
- [COY90] Coyne, R.; Roseman, M.; Gero, J. et al.: „Knowledge based design systems“, Addison Wesley, Reading, 1990
- [DÖR91] Dörner, H.: „Modelle für das wissensbasierte Konfigurieren“, Habilitationsschrift, Universität Halle, 1991
- [ENC90] Encarnação, J.L.; Lindner, R.; Schlechtendahl, E.G.: „Computer Aided Design“, Springer Verlag, Berlin / New York, 1990
- [GER89] Gero, J.S.; Roseman, M.A.: „A conceptual Framework for knowledge-based Design at Sydney University's Design Computing Unit“, in Gero, J.S. (ed.): „Artificial Intelligence in Design“, Springer, Berlin / New York, 1989
- [GÜN92] Günther, A.: „Flexible Kontrolle in Expertensystemen für Planungs- und Konfigurierungsaufgaben“, Dissertation Universität Hamburg 1991, KI-Dissertationsreihe Nr.3, infix-Verlag, 1992
- [MAR84] March, L.: „The logic of design“, in Cross, N. (Hrsg.): „Development in design methodology“, Wiley, London, 1984
- [MSC95] Microsoft Corp.: „Die Windows Oberfläche – Leitfaden zur Softwaregestaltung“, Microsoft - Press, Unterschleißheim, 1995
- [PUP91] Puppe, F.: „Einführung in Expertensysteme“, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1991
- [RIT92] Rittel, H.W.J.: „Planen, Entwerfen, Design“, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1992
- [TAN91] Tank, W.: „Wissensbasiertes vs. assoziatives Konfigurieren“, in Günther, A.; Cunis, R.: Beiträge zum 5. Workshop „Planen und Konfigurieren“, LKI-M 1/91, Universität Hamburg, 1991
- [VDI2221] „VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985
- [WEN90] Wenzel, D.: „Untersuchung des architektonischen Entwurfes im industriellen Wohnungsneubau unter dem Gesichtspunkt der Konzeption von Hilfsmitteln für das Entwerfen“, Dissertation, Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar, 1990